



L'alimentation à base de concentrés ou de pâturage affecte la digestion, la croissance de même que la qualité de la carcasse et de la viande du chevreau

Thèse

Marie-Ève Brassard

Doctorat en sciences animales
Philosophiæ doctor (Ph. D.)

Québec, Canada

© Marie-Ève Brassard, 2019

**L'alimentation à base de concentrés ou de pâturage
affecte la digestion, la croissance, de même que la qualité
de la carcasse et de la viande du chevreau**

Thèse

Marie-Ève Brassard

Sous la direction de :

Dany Cinq-Mars, directeur de recherche

Robert Berthiaume, codirecteur de recherche

Résumé

Le premier objectif de cette thèse était d'évaluer l'effet de différentes vitesses de dégradation de l'énergie et de la protéine au niveau du rumen sur la prise alimentaire, le bilan azoté, la synthèse de protéines microbiennes dans le rumen (PMic) ainsi que la cinétique des nutriments chez le chevreau en croissance. Huit chevreaux Boer ont été distribué dans un dispositif expérimental en carré latin avec le type de grains (orge vs maïs) en parcelle principale (carré). La dégradabilité de l'énergie (grains traités vs non traités) et la dégradabilité de la protéine [tourteau de soya (TS) vs tourteau de soya chauffé (TSC)] dans le rumen formant les parcelles secondaires selon un arrangement factoriel des traitements 2×2 . L'orge a été roulé et le maïs a été craqué. Les chevreaux recevant le maïs ont eu une excrétion urinaire de purines plus importante lorsqu'ils recevaient le TS plutôt que le TSC alors que le contraire a été observé avec l'orge ($P \leq 0,01$). Le grain non traité couplé au TS a permis une plus grande excrétion de purines que lorsque couplé au TSC alors que la dégradabilité de la protéine dans le rumen n'a eu aucun effet lorsque le grain était traité ($P \leq 0,03$). Les résultats de cette expérience ont montré que la synthèse de PMic pourrait être maximisée en combinant des grains lentement fermentescible (maïs ou grains entiers) avec une source de protéines rapidement dégradables (TS) dans le rumen. Avec l'orge, un grain plus rapidement fermenté dans le rumen, une synthèse de PMic supérieure a été observée lorsque couplée à une source de protéines lentement dégradables (TSC).

Chaque céréale a des caractéristiques particulières. Ainsi, la seconde expérience de cette thèse a été réalisée afin de comparer les effets du maïs et de l'orge sur les performances de croissance, la qualité de la viande et le profil en acides gras (AG) du gras musculaire. Vingt-quatre chevreaux Boer ont été séparés en blocs selon leur poids et assignés à l'un des traitements qui consistaient en différentes proportions orge:maïs dans le concentré : 1) 100:0, 2) 50:50 et 3) 0:100. Quinze de ces chevreaux ($n = 5$ chevreaux/traitement) ont été abattus. L'ajout d'orge dans le concentré a provoqué une augmentation linéaire de la consommation de concentré ($P < 0,01$) et une tendance à l'augmentation du gain moyen quotidien (GMQ; $P = 0,08$). Les qualités de la carcasse et de la viande n'ont pas été influencées par les traitements et une viande de bonne qualité a été obtenue. Les proportions d'AG n-3 et n-6 ont augmenté de façon linéaire ($P < 0,01$), alors

que le ratio AG n-6/n-3 a diminué de façon linéaire ($P < 0,01$) avec l'inclusion de maïs dans la ration.

Finalement, la race est aussi un paramètre connu pour influencer la production et la qualité de la viande. Le but de la dernière expérience de cette thèse était d'évaluer l'effet de la race et du régime alimentaire sur la croissance, les caractéristiques de la carcasse et la qualité de la viande chez le chevreau. Quarante chevreaux de race bouchère (Boer) ou laitière (Alpine et Saanen) ont été séparés en blocs selon leur poids et nourris avec une ration à base de pâturage en rotation intensive ou une ration à base de concentrés. Les chevreaux de race bouchère ont eu un GMQ supérieur aux chevreaux de race laitière ($P < 0,01$), alors que le régime alimentaire n'a pas eu d'effet sur la croissance des chevreaux des deux races. Pour la majorité des découpes, les chevreaux de race bouchère ont accumulé plus de gras et moins de muscle lorsqu'ils recevaient la ration à base de concentrés plutôt qu'à base de pâturage alors que ces paramètres étaient peu influencés par le régime alimentaire chez les chevreaux de race laitière (régime $\times$ race, $P \leq 0,07$). Les chevreaux nourris de la ration à base de concentrés avaient un potentiel glycolytique inférieur menant à un pH ultime supérieur de la viande ainsi qu'un ratio n-6/n-3 presque 4 fois plus grand que celui des chevreaux au pâturage ($P < 0,01$). Ce ratio a été 1,4 fois plus grand pour les chevreaux de race laitière comparé aux chevreaux de race bouchère ($P < 0,01$). Le pâturage en rotation intensive a permis un gain de poids moyen quotidien semblable à celui obtenu avec la ration à base de concentrés, une accumulation de gras interne moins importante dans la carcasse et une viande de bonne qualité. De plus, les chevreaux de race laitière représentent une alternative intéressante afin de produire de la viande de chèvre.

Abstract

It has been suggested that microbial protein synthesis in the rumen would be optimized when dietary carbohydrates and proteins have synchronized rates and extent of degradation. The first objective of this thesis was to evaluate the effect of varying ruminal degradation rate of carbohydrates and nitrogen sources on intake, nitrogen balance, microbial protein yield in the rumen, and digestive kinetics of nutrients in the rumen of growing kids. Eight Boer goats were used. The treatments were arranged in a split-plot Latin square design with grain sources (barley or corn) forming the main plots (squares). Grain processing methods (rolled barley and cracked corn vs unprocessed grains) and levels of protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs heat-treated soybean meal (HSBM)] formed the subplots in a 2×2 factorial arrangement for a total of eight dietary treatments. Kids fed corn had higher excretion of purine derivatives (PD) when coupled with SBM compared with HSBM and the contrary occurred with barley-fed kids ($P \leq 0.01$). Unprocessed grain offered with SBM led to a higher PD excretion than with HSBM whereas protein degradability had no effect when processed grain was fed ($P \leq 0.03$). Results of this experiment with high concentrate diets showed that microbial N synthesis in the rumen could be maximized in goat kids by combining slowly fermented grains (corn or unprocessed grains) with a highly degradable protein supplement (SBM). With barley, a more rapidly fermented grain, a greater microbial protein synthesis in the rumen was observed when supplementing a low degradable protein (HSBM).

Each cereal used in animal feeding has distinct characteristics. Therefore, the second experiment of this thesis was conducted to compare the impact of corn and barley on growth performance, meat quality, and muscle fatty acid (FA) composition of goat kids. Twenty-four Boer males were blocked by body weight (BW) and allotted randomly within block to one of three experimental diets. Treatments consisted in varying ratios of barley to corn in the concentrate: 1) 100:0, 2) 50:50, and 3) 0:100. Fifteen randomly selected kids ($n = 5$ kids/treatment) were slaughtered to evaluate carcass traits and meat quality. Inclusion of barley in diet linearly increased concentrate intake ($P < 0.01$) and tended to increase average daily gain (ADG; $P = 0.08$). There was no significant difference on carcass traits and meat quality among dietary treatments, and overall good meat quality was obtained.

Proportions of n-3 and n-6 FA increased linearly ($P < 0.01$), whereas the n-6/n-3 FA ratio linearly decreased ($P < 0.01$) in meat fat as corn inclusion increased in the diets.

Finally, breed is a parameter also known to influence meat production and quality. The aim of the last study of this thesis was to evaluate the effects of breed and feeding regimen on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of male goat. Forty meat (Boer) or dairy (Alpine and Saanen) goat kids were blocked within breed according to BW. Kids within each block were then randomly allotted to intensive rotational grazing or a concentrate-based diet. Meat kids had a greater ADG than dairy kids ($P < 0.01$), but feeding treatments did not affect growth rate. For most of the primal cuts, meat kids accumulated more fat and less lean when they were fed concentrate in comparison with pasture, whereas these parameters were less influenced by dietary treatments in dairy kids (feed $\times$ breed, $P \leq 0.07$). Pasture-fed kids had higher glycolytic potential resulting in lower meat ultimate pH. However, Warner-Bratzler shear force was higher for grazing kids compared with concentrate-fed kids ($P < 0.01$). Concentrate-fed kids showed an almost 4-fold greater n-6/n-3 FA ratio in meat fat compared with pasture-fed kids, whereas this ratio was 1.4-fold greater for dairy kids in comparison with meat kids ($P < 0.01$). Intensive rotational pasture allowed similar average daily gain in comparison with concentrate-based diet, less internal fat accumulation in the carcass, and good meat quality. Furthermore, dairy breeds represented a valuable alternative for producing goat meat.

Table des matières

Résumé	iii
Abstract.....	v
Table des matières	vii
Liste des tableaux	xi
Liste des figures.....	xiv
Liste des abréviations	xv
Remerciements	xviii
Avant-propos	xx
Introduction	1
Chapitre 1 Revue des travaux antérieurs	3
1.0 Race de chevreau utilisé pour l’engraissement.....	3
1.0.1 Race bouchère.....	3
1.0.2 Race laitière	5
1.1 Métabolisme et physiologie de la nutrition dans le rumen	6
1.1.1 Glucides	7
1.1.2 Protéine.....	9
1.1.3 Lipides	11
1.2 Synchronisme protéine-énergie	12
1.2.1.0 Méthode des différents patrons d’alimentation.....	14
1.2.1.1 Méthode basée sur la dégradabilité ruminale des nutriments des aliments servis	15
1.2.2 Effet du synchronisme dans le rumen sur la digestibilité.....	16
1.2.3 Effet du synchronisme dans le rumen sur le taux de passage.....	17
1.2.4 Effet du synchronisme dans le rumen sur les performances et la production de PMic	18
1.3 Alimentation du chevreau de boucherie et effet sur les performances de croissance	20
1.3.1 Alimentation à base de concentrés	20
1.3.1.0 Apport énergétique.....	20
1.3.1.0.1 Traitement de la source énergétique contenue dans les concentrés	22
1.3.1.1 Apport protéique	25

1.3.1.1.1	Traitement de la source protéique contenue dans le concentré.....	26
1.3.2	Alimentation au pâturage.....	28
1.3.2.0	Divers objectifs d'alimentation au pâturage.....	29
1.3.2.1	Modes de gestion du pâturage.....	30
1.3.2.1.1	Gestion extensive des pâturages	30
1.3.2.1.2	Gestion intensive des pâturages	31
1.3.2.2	Pâturage et concentrés.....	35
1.4	Rendement et qualité de la carcasse.....	36
1.4.1	Croissance et développement de la chèvre	40
1.4.1.0	Organes	41
1.4.1.1	Os	42
1.4.1.2	Muscle	43
1.4.1.3	Gras	43
1.4.1.4	Gras interne	44
1.4.1.5	Gras sous-cutané	46
1.4.1.6	Gras intermusculaire	47
1.4.1.7	Gras intramusculaire	47
1.5	Qualité de la viande	48
1.5.1	Changement du muscle en viande	49
1.5.1.0	Composition	50
1.5.1.0.1	Eau et protéine	50
1.5.1.0.2	Profil en acides gras intramusculaire	53
1.5.1.1	Potentiel glycolytique et pH ultime.....	56
1.5.1.2	Couleur.....	58
1.5.1.3	Tendreté.....	59
1.6	Hypothèses et objectifs de la thèse	61
1.7	Références.....	64
Chapitre 2 Effects of grain source, grain processing and protein degradability on rumen kinetics and microbial protein synthesis in Boer kids		78
2.0	Résumé.....	78
2.1	Abstract.....	78
2.2	Introduction.....	79
2.3	Materials and methods	80

2.3.1	Animals and diets	80
2.3.2	Apparent nutrient digestibility, N balance, and ruminal microbial N synthesis 84	
2.3.3	Determination of indigestible DM and NDF	84
2.3.4	Chemical analyses and particle size distribution.....	85
2.3.5	Calculations and statistical analysis	86
2.4	Results.....	87
2.5	Discussion	98
2.5.1	Grain sources	98
2.5.2	Grain source × Protein degradability.....	99
2.5.3	Grain processing × Protein degradability	100
2.6	Conclusion	102
2.7	Literature cited	103
Chapitre 3 Effects of level of barley and corn in concentrate-fed Boer kids on growth performance, meat quality, and muscle fatty acid composition		107
3.0	Résumé.....	107
3.1	Abstract.....	107
3.2	Introduction.....	108
3.3	Materials and Methods.....	109
3.3.1	Animals and diets	109
3.3.2	Carcass traits and meat quality	110
3.3.3	Statistical analysis	111
3.4	Results and Discussion	112
3.4.1	Performance.....	112
3.4.2	Carcass traits and meat quality	114
3.4.3	Fatty acid composition of the LTL muscle.....	116
3.4.4	Conclusion	120
3.5	Acknowledgements.....	121
3.6	Literature cited	122
Chapitre 4 Effect of concentrate or intensive rotational grazing diets on growth performance, carcass characteristics and meat quality of goat kids of meat or dairy breeds		127
4.0	Résumé.....	127
4.1	Abstract.....	127
4.2	Introduction.....	127

4.3	Materials and methods	129
4.3.1	Animals and diets	129
4.3.2	Carcass and non-carcass measurements	133
4.3.3	Meat quality analysis	134
4.3.4	Muscle chemical composition	135
4.3.5	Statistical analysis	135
4.4	Results.....	135
4.5	Discussion.....	150
4.6	Literature cited.....	159
	Conclusions	165

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Principales races utilisées en production laitière et bouchère caprine et les principaux croisements étudiés dans la littérature pour la production de viande de chèvre ..	6
Tableau 1.2 Principales conclusion d'études ayant pour sujet les différences probables entre différentes espèces de ruminants dont la chèvre	7
Tableau 1.3 Patrons d'alimentation des divers ingrédients en g/kg de la ration selon le ratio N:MO pour une ration synchronisée, intermédiaire et non-synchronisée à base d'orge ou de pulpe de betterave (Adapté de Richardson et al., 2003).....	15
Tableau 1.4 Composition des concentrés selon la vitesse de dégradation des glucides et des sources de protéines dans le rumen (Adapté de Schmidely et al., 1996).	16
Tableau 1.5 Taux de passage, temps de rétention, et volume ruminal de vaches consommant une ration totale mélangée contenant du maïs et de l'orge en combinaison avec du tourteau de soya (TS) et du tourteau de soya extrudé (TSE) (Adapté de Casper et al., 1999).	18
Tableau 1.6 Effet de la gestion des pâturages selon la charge animale faible (F), modérée (M), élevée (E), ou élevée avec accès à un pâturage à la dérobée (D), sur le poids des femelles et le gain moyen quotidien (GMQ) des femelles et des chevreaux (Adapté de Yiakoulaki et al., 2007)	35
Tableau 1.7 Composition moyenne en eau, en protéine brute (PB) et en gras du muscle <i>longissimus dorsi</i> (LD) de différentes races de chèvres.	52
Tableau 1.8 Composition en acides gras du gras intramusculaire et abdominal chez la chèvre, le mouton, le bœuf et le porc (Adapté de Park et Washington, 1993).....	53
Tableau 1.9 Teneurs en gras et en acides gras de la viande de chèvre produite à partir de diètes contenant différentes proportions de graines de lin (Adapté de Abuelfatah et al., 2016).....	55
Table 2.1 Chemical analysis and physical assessment of diet ingredients.	82
Table 2.2 Daily amount of concentrate fed to kids on a dry matter basis ¹	83
Table 2.3 Effects of grain source (G: barley vs. corn), grain processing (P: unprocessed vs. processed), and protein degradability [D: untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on intake and apparent digestibility of nutrients in kids fed concentrate-based diets.....	89
Table 2.4 Effects of grain source (barley vs. corn), grain processing (unprocessed vs. processed), and protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on N balance in kids fed concentrate-based diets.....	90

Table 2.5 Effects of grain source (barley vs. corn), grain processing (unprocessed vs. processed), and protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on ruminal pH, ammonia N (NH ³ -N), and volatile fatty acids (VFA) in kids fed concentrate-based diets.	93
Table 2.6 Effects of grain source (barley vs. corn), grain processing (unprocessed vs. processed), and protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on rumen digestible organic matter (RDOM) intake, purine derivatives (PD) excretion in urine, and microbial N yield in rumen of kids fed concentrate-based diets.	94
Table 2.7 Effects of grain source (barley vs. corn), grain processing (unprocessed vs. processed), and protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on rumen pool size and digestion kinetics in kids fed concentrate-based diets	95
Table 2.8 Effects of grain source (barley vs. corn), grain processing (unprocessed vs. processed), and protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on potential degradability of rumen ingesta and faecal output of digestible and indigestible fraction of DM and NDF in kids fed concentrate-based diets... ..	97
Table 3.1 Chemical composition of experimental diet ingredients.....	110
Table 3.2 Growth performance of Boer kids fed 100% barley- (BBD), 50% barley- and 50% corn- (BCBD), or 100% corn- (CBD) based diet.....	113
Table 3.3 Carcass traits and meat quality of Boer kids (<i>n</i> = 5 per dietary treatment) fed..	115
Table 3.4 Fatty acid intake of Boer kids (<i>n</i> = 5 per dietary treatment) fed 100% barley- (BBD), 50% barley- and 50% corn- (BCBD), or 100% corn- (CBD) based diet.	117
Table 3.5 Fatty acid composition of <i>longissimus thoracis et lumborum</i> muscle fat in Boer kids (<i>n</i> = 5 per dietary treatment) fed 100% barley- (BBD), 50% barley- and 50% corn- (BCBD), or 100% corn- (CBD) based diet.	119
Table 3.6 Profile of <i>trans</i> 18:1 isomers in the fat of the <i>longissimus thoracis et lumborum</i> muscle of Boer kids (<i>n</i> = 5 per dietary treatment) fed 100% barley- (BBD), 50% barley- and 50% corn- (BCBD), or 100% corn- (CBD) based diet.....	120
Table 4.1 Composition and digestibility of the legume-grass mixture during the grazing season and feed ingredients used in the indoor dietary regimen	131
Table 4.2 Daily amount (g of DM) of concentrate fed to kids reared indoors.	132
Table 4.3 Effect of intensive rotational grazing or concentrate-based diet on intake of dairy and meat kids	137

Table 4.4 Effect of intensive rotational grazing or concentrate-based diet on growth performance of dairy and meat kids	137
Table 4.5 Effect of intensive rotational grazing and concentrate-based diet on non-carass components of dairy and meat kids as a proportion of empty body weight (EBW)	139
Table 4.6 Effect of intensive rotational grazing and concentrate-based diet on half-carass proportions of primal cuts of dairy and meat kids.....	139
Table 4.7 Effect of intensive rotational grazing or concentrate-based diet on proportions of separable tissue of primal cuts of dairy and meat kids	142
Table 4.8 Effect of intensive rotational grazing and concentrate-based diet on meat quality attributes of dairy and meat kids.....	143
Table 4.9 Effect of intensive rotational grazing or concentrate-based diet on fatty acid composition of meat fat of dairy and meat kids.	147

Liste des figures

Figure 1.1 Classification des glucides selon leurs caractéristiques de dégradation dans le rumen (Lanzas et al. 2007).	8
Figure 1.2 Classification des protéines alimentaires selon leurs caractéristiques de dégradation dans le rumen (Sniffen et al. 1992).....	10
Figure 1.3 Théorie du synchronisme dans le rumen entre l'énergie et la protéine (Adapté de Johnson, 1976).....	13
Figure 1.4 Relation entre le potentiel glycolytique et le pH ultime (pHu) de la viande du <i>longissimus dorsi</i> (LD) de bœuf (Adapté de Wulf et al., 2002).	57

Liste des abréviations

AAL = acide α -linoléique
ADF= acid detergent fiber
ADG = average daily gain
AG = acide(s) gras
AGMI = acide(s) gras monoinsaturé(s)
AGPI = acide (s) gras polyinsaturé (s)
AGV = acides gras volatils
AL = acide linoléique
ATP = adénosine triphosphate
BBD= barley-based diet
BCBD= barley- and corn-based diet
BF = biceps femoris
BW= body weight
CBD= corn-based diet
CLA= conjugated linoleic acid
CP= crude protein
cm = centimètre (s), centimetre (s)
CVMS= consommation volontaire de matière sèche
d = day
dDM= potentially digestible dry matter
dNDF= potentially digestible neutral detergent fiber
DM= dry matter
DMI= dry matter intake
ET= erreur type
FA= fatty acid(s)
g = gramme(s)
GMQ = gain moyen quotidien
h = heure(s)
ha = hectare(s)
HSBM= heat-treated soybean meal
iDM= indigestible dry matter
iNDF= indigestible neutral detergent fiber
IU= international unit
IVDMD= in vitro dry matter digestibility
IVOMD= in vitro organic matter digestibility
j= jour
kg = kilogramme (s)
k_p= taux de passage
LD = longissimus dorsi
LTL= longissimus thoracis et lumborum
mg= milligram (s), milligramme (s)
ml= millilitre (s)
mm= millimètre (s) ou millimeter (s)
mmol = millimole (s)
MS = matière sèche

MO = matière organique
 n= number of experimental unit, nombre d'unités expérimentales
 n-3= oméga 3, omega-3
 n-6= oméga 6, omega-6
 N= nitrogen
 N= Newton
 NDF= neutral detergent fiber, fibre soluble au détergent neutre
 NH₃= ammoniac
 NH₃-N= ammoniacal nitrogen
 OM= organic matter
 PB= protéine brute
 PD= purines derivatives
 PDR = protéine (s) dégradables dans le rumen
 pHu = pH ultime, ultimate pH
 PMic = protéine microbienne
 PNDR = protéine (s) non-dégradable (s) dans le rumen
 PV = poids vif
 PVV = poids vif vide
 RDOM= rumen digestible organic matter
 RRT= rumen retention time ou temps de rétention dans le rumen
 SBM= soybean meal
 ST= semitendineux
 TAG = triacylglycérol (s)
 TS = tourteau de soya
 TSC= tourteau de soya chauffé
 TSE= tourteau de soya extrudé
 µm= micromètre (s), micrometer (s)
 µmol= micromole(s)
 VFA= volatil fatty acids
 WBSF= Warner-Bratzler shear force
 WSC= water soluble carbohydrates

À toi papa
Ça y est, enfin!!!
*Tous ces bons soupers à refaire le monde
en ta compagnie me manquent terriblement*
xxx

Remerciements

Mon long passage aux études graduées n'aurait pas été le même sans vous qui m'avez entourée et soutenue dans cette belle aventure.

Je tiens d'abord à souligner ma reconnaissance envers vous tous chers collègues du département. Votre écoute, vos bons mots, vos trucs, vos encouragements et vos « Pis Marie, c'est quand la soutenance? » ont résonné souvent dans ma tête et m'ont certainement aidée à traverser les derniers mois de rédaction. C'est un privilège de vous côtoyer à tous les jours.

Il faut aussi souligner l'apport très précieux du Centre de recherche en sciences animales de Deschambault et de son personnel, plus particulièrement Daniel et Gilbert sans qui les phases animales auraient été définitivement moins colorées.

Je veux remercier mon précieux comité. Merci de m'avoir suivi et soutenue dans cette belle aventure avec les chevreaux, avec tous les défis que cela posait et avec toutes les surprises qui sont survenues. Les discussions que j'ai eues avec chacun d'entre vous m'ont certainement permis d'apprendre beaucoup mais aussi d'évoluer en tant que personne. Je dois aussi souligner plus particulièrement, la présence et l'incalculable apport de M. Yvan Chouinard tout au long de mes études graduées. Cher Yvan, merci de m'avoir aidée à accomplir ce grand projet. Ta rigueur et ton insatiable curiosité sont assurément un exemple pour moi.

Je veux aussi souligner le travail de mon codirecteur M. Robert Berthiaume. Merci Robert de m'avoir reçue dans ton laboratoire alors que mes notions de labo remontaient à celles du cégep. Merci aussi pour tous ces précieux échanges riches d'explications claires et de pistes de réflexion.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon directeur, M. Dany Cinq-Mars pour sa contribution. Merci Dany de m'avoir transmis tes nombreuses connaissances de l'espèce caprine. J'étais loin d'imaginer en entrant dans ton bureau lorsque j'entrevois la possibilité de faire une maîtrise que mon besoin de nouveaux défis me mènerait ici. Je dois te remercier aussi pour la latitude que j'ai eue. Il ne fait aucun doute que je sors grandie de cette expérience puisque du début à la fin, tu m'as permis de repousser des limites professionnelles et personnelles que je croyais infranchissables.

Bien que tous ceux qui ont commencé cette belle aventure en même temps que moi sont maintenant gradués, Nadia, Vincent, Éric, Valérie, je veux tout de même vous remercier d'avoir partagé avec moi ces années de bonheur et d'angoisse! Rachel, c'est sans contredit les collectes et les incubations en ta compagnie qui ont semées l'idée que des études graduées serait toute une expérience. Merci pour cette belle amitié et pour ton incroyable support personnel et professionnel!

Ma reconnaissance va aussi à ma belle-famille. Merci pour votre support, pour votre intérêt et pour votre temps. Je vous aime tellement.

Merci aussi à mes parents et à mes 2 grands fous de frères. Merci les gars d'être aussi têtus, ça m'a définitivement rendu service et permis de développer aussi cette belle qualité pour traverser toutes ces années aux études graduées. Je vous adore. Maman, même si le chemin que j'ai choisi a parfois été incertain, merci de m'avoir toujours encouragée à continuer par tes mots, ton soutien, ton temps et ta si précieuse présence. Je t'aime énormément.

Simon, mon amour, sans toi ce bel accomplissement n'aurait pas été possible. Merci d'avoir été mon roc, de m'avoir ramenée à l'essentiel quand l'angoisse me pognait aux tripes, de m'avoir soutenue et guidée dans les tempêtes et d'avoir permis que plusieurs de mes rêves (et oui y'en reste encore pleins, attention!!!) se réalisent en même temps. Je t'aime.

Avant-propos

Cette thèse visait à établir l'effet de l'alimentation à base de concentrés ou de pâturage sur les processus digestifs, la croissance, ainsi que la qualité de la carcasse et de la viande chez le chevreau de boucherie. L'auteure de cette thèse est l'auteure principale de tous les chapitres (l'introduction, la revue des travaux antérieurs, les 3 articles qui y sont intégrés et la conclusion). Plus spécifiquement, l'auteure principale a collaboré à l'écriture de chacun des protocoles des expériences, a réalisé les phases animales et la collecte de données, les analyses de laboratoire, l'analyse statistique des données et l'écriture de chacun des 3 manuscrits. Bien sûr, l'auteure a été épaulée dans sa démarche par chacun des coauteurs des articles selon leur expertise personnelle et cela tout au long de son parcours. L'auteure a été étroitement guidée à toutes les étapes de la réalisation de ses travaux par son directeur M. Dany Cinq-Mars et son codirecteur M. Robert Berthiaume.

Le chapitre 2 de cette thèse est paru dans *Journal of Animal Science* selon la référence suivante le 1^{er} novembre 2015 : Brassard, M.-È., P. Y. Chouinard, R. Berthiaume, G. F. Tremblay, R. Gervais, R. Martineau et D. Cinq-Mars. 2015. Effects of grain source, grain processing, and protein degradability on rumen kinetics and microbial protein synthesis in Boer kids. *J. Anim. Sci.* 93:5355–5366.

Le chapitre 3 de cette thèse est paru dans *Canadian Journal of Animal Science* selon la référence suivante et était disponible sur le Web le 28 juillet 2017: Brassard, M.-È., P. Y. Chouinard, R. Gervais, É. Pouliot, C. Gariépy et D. Cinq-Mars. 2018. Effects of level of barley and corn in concentrate-fed Boer kids on growth performance, meat quality, and muscle fatty acid composition. *Can. J. Anim. Sci.* 98:156–165.

Le chapitre 4 de cette thèse: Brassard, M.-È., P. Y. Chouinard, G. F. Tremblay, R. Berthiaume, R. Gervais, É. Pouliot, L. Tessier, C. Gariépy et D. Cinq-Mars. Effect of concentrate or intensive rotational pasture feeding on growth performance, carcass characteristic and meat quality of goat kids of meat or dairy breeds, sera soumis pour publication au *Journal of Animal Science*.

Introduction

L'histoire de l'espèce caprine et de son lien avec l'homme débute il y a très longtemps, entre autres, par les nombreuses correspondances entre le symbole de la chèvre et les différents dieux vénérés par les religieux. D'ailleurs, la chèvre est reconnue comme étant le premier animal de ferme domestiqué pour produire des consommables pour l'homme (Boyazoglu et al., 2005). La population mondiale de chèvre a atteint 1 milliard de têtes en 2016 (FAO, 2018). Le cheptel nord-américain fluctue depuis les années 1960 et comptait un peu plus de 2 millions de têtes en 2016. Au Canada, selon le recensement réalisé la même année, on comptait 230 000 chèvres sur le territoire, toutes races confondues (Statistique Canada, 2018).

Les particularités de la chèvre qui en font une consommatrice de fourrages mais aussi de plantes arbustives, la rendent adaptable à toutes les régions du globe. On la retrouve autant comme unique animal de la famille broutant ce qu'elle peut trouver, qu'au sein d'une exploitation comptant des centaines d'animaux élevés à l'intérieur sous un mode de gestion intensif. Pourtant, la viande de chèvre est un produit peu connu de la population québécoise, même si la demande ne cesse d'augmenter notamment grâce à l'immigration (MAPAQ, 2011). La viande de chèvre demeure un produit ayant une grande valeur nutritionnelle et possédant un profil en acides gras (AG) qui répond aux besoins des consommateurs de plus en plus soucieux de leur santé (Webb et al., 2005).

Bien que l'on retrouve l'espèce caprine partout sur la planète et que l'Homme la côtoie depuis longtemps, la chèvre de boucherie comme sujet de recherche dans les études publiées dans les revues scientifiques, n'apparaît qu'à partir des années 1980 (Shrestha et Fahmy, 2007). Ainsi, les effets de l'alimentation sur la croissance et la qualité de la viande de chèvre de race Boer ne sont plus à prouver. Il reste que bien des avenues n'ont pas encore été explorées, de surcroît au sein de réalité comme celle qui prévaut dans la province.

Ainsi, cette thèse résume les travaux réalisés pour évaluer les processus digestifs, la croissance ainsi que la qualité de la carcasse et de la viande obtenue grâce à des rations créées avec des aliments utilisés dans les conditions du Québec. Ces travaux s'inscrivent comme étant une des suites logiques aux diverses expériences déjà réalisées dans le domaine. D'abord, le premier chapitre résume l'avancement des connaissances en production caprine sur les concepts importants en lien avec les expériences de cette thèse. Ensuite, les 3 expériences réalisées font l'objet de manuscrits relatant les aspects précis, étudiés dans cette thèse. En effet, dans le second chapitre, il est question de la théorie du synchronisme énergie-protéine, qui a été vérifiée chez le chevreau de boucherie en croissance. Le troisième chapitre fait état d'une expérience menée afin de mieux comprendre l'effet de l'alimentation à base de concentrés sur la croissance et la qualité de la viande. Puis, le quatrième chapitre décrit une expérience ayant permis de comparer la croissance ainsi que la qualité de la carcasse et de la viande de caprins de race laitière et de race bouchère alimentés avec des concentrés ou des pâturages. Finalement, une conclusion générale met en lumière les aspects importants de ces travaux.

Chapitre 1 Revue des travaux antérieurs

1.0 Race de chevreau utilisé pour l'engraissement

Il existe plus de 570 races de chèvre sur le globe résultat, entre autres, des nombreux mouvements de population (Shrestha et Fahmy, 2005). En fait, les races indigènes et des races qui ont été développées grâce aux croisements sont utilisées pour la production de fibre ou de lait. Les races tropicales, qui ne servent pas à la production de ces deux produits, ont été développées pour la production de viande (Shrestha et Fahmy, 2007).

1.0.1 Race bouchère

Au Canada, on utilise des races spécialement développées pour la production de viande caprine. L'élevage répond à un marché où la viande est vendue le plus souvent à la ferme sous forme de découpes primaires, de découpes prêtes à être consommées ou de produits transformés. La race Boer est sans contredit celle qui prédomine pour la production de viande. Développée dans les années 1920 par des producteurs africains, elle est née de croisements entre les races indigènes des tribus Hottentot et Bantu et des chèvres Nubienne et Indienne importées (Shrestha et Fahmy, 2005). Elle est reconnue pour son gain moyen quotidien (GMQ) supérieur à celui des autres race bouchères et le rendement en viande de sa carcasse peut atteindre 55%. Par contre, les études ont démontré que son potentiel génétique optimal ne s'exprime qu'avec des rations contenant des fourrages de bonne qualité ou des concentrés (Shrestha et Fahmy, 2005). En effet, grâce à une simulation, Blackburn (1995) a montré que l'avantage de la race Boer, pour ce qui est du poids de chevreaux vendu par femelle, diminue au profit de la race Spanish lorsque la qualité des fourrages diminue. Le GMQ était semblable entre les chevreaux de race Spanish et Boer avec une ration de faible valeur nutritive contenant exclusivement un foin de sorgho et de dactyle (Ngwa et al., 2009). Malgré que la race Boer soit moins avantageuse lorsqu'il est question de traits maternels (Wang et al., 2017), les chevreaux Boer ont des GMQ supérieurs aux chevreaux de race Kiko lorsque soumis à une gestion d'élevage intensive avec une ration contenant 80% de concentrés (Solaiman et al., 2011).

En 2013, le Québec comptait 3650 chèvres de boucherie présentes dans des exploitations de plus de 10 chèvres (Forest et al., 2014). Le Canada comptait en 2017 environ 33 500 chèvres Boer enregistrées au sein de la Société canadienne de la chèvre de boucherie depuis sa fondation en 1995 (SCEA, 2017).

Tel que mentionné plus haut, la chèvre de race Kiko est aussi utilisée pour la production de viande. Cette race développée en Nouvelle-Zélande est le fruit de croisement entre des chèvres indigènes et des chèvres de race Anglo-Nubienne (Porter et Mason, 2002). Elle est populaire puisqu'elle possède des caractéristiques semblables à la race Boer comme par exemple un poids vif (PV) similaire de la femelle adulte. De plus, les chèvres de cette race performant mieux, pour ce qui est de la reproduction et de la santé, que les chèvres de race Boer (Wang et al., 2017). La Société canadienne de la chèvre de boucherie rapporte l'enregistrement d'aussi peu que 153 chèvres Kiko en 2017 (SCEA, 2017).

La chèvre Savannah serait la descendante directe des races de chèvres indigènes que l'on retrouve maintenant majoritairement en Afrique (Shrestha et Fahmy, 2005). On rapporte que les chèvres de cette race offrent certaines caractéristiques que l'on recherche pour la production de viande comme la rusticité, la résistance aux maladies, la fertilité et la fécondité. Par contre, les GMQ pré- et post-sevrage des jeunes ainsi que la qualité de la carcasse sont présentement peu convaincants, résultat d'un faible potentiel génétique, de la suppression du potentiel génétique par les conditions environnementales et de régies défavorables ou d'une interaction entre ces facteurs (Casey et Webb, 2010). La viande de chèvre Angora est aussi disponible. Puisque cette race de chèvre est d'abord utilisée pour son mohair, les jeunes mâles et les femelles de réforme sont abattus pour la production de viande (Casey et Webb, 2010). Cette race est parfois utilisée lors de croisement avec la race Boer et le plus souvent en croisement terminaux avec des races de chèvres de l'Inde ou de l'Afrique (Shrestha et Fahmy, 2007). La chèvre de race Spanish, qui est une chèvre qui origine du Mexique, est aussi utilisée en Amérique du Nord pour la production de viande (Wang et al., 2017). Son phénotype et ses performances variables sont le résultat de la sélection et de croisements avec des chèvres Nubienne et Toggenbourg. Cette race représenterait moins que 20% de la population mondiale de chèvres, mais performe bien

lorsqu'élevée avec des fourrages de faible ou moyenne valeur nutritive comparée à la chèvre Boer (Shrestha and Fahmy, 2005).

1.0.2 Race laitière

Dans plusieurs régions du monde, la chèvre est utilisée pour nourrir une ou quelques familles vivant sur une ferme de petite taille. Ainsi, la viande caprine est un des produits disponibles, en plus du lait et des produits laitiers issus de l'animal. Dans ce cas, des races à 2 fins ou encore des races dites plus laitières sont aussi utilisées pour produire de la viande (Casey et Webb, 2010).

Certaines races de chèvre laitière de grande taille, comme la race Alpine, Toggenbourg ou Saanen, ont parfois été utilisées en croisement avec des races indigènes de petite taille pour augmenter le rendement en viande (Shrestha et Fahmy, 2007). Goonewardene et al. (1998) ont réalisé une étude ayant pour objectif d'évaluer l'effet, sur la croissance et la carcasse, de croisements terminaux avec des mâles de race Alpine et Boer. Les auteurs ont observé qu'en fait, la race de la mère est très importante pour ce qui est des performances de croissance des chevreaux dans les 100 premiers jours de vie. En effet, les chevreaux nés de mères de race Alpine en croisement avec l'un ou l'autre des mâles ont eu un poids au sevrage supérieur suivis de près par les chevreaux de mères Saanen alors que les chevreaux de mères de race Spanish étaient les plus légers. Les caractéristiques des carcasses comme le rendement et la surface de l'œil de longe de chevreaux de croisement Alpin $\times$ Alpin, Alpin $\times$ Spanish et Boer $\times$ Alpin ont été semblables (Solaiman et al., 2012). Il faut noter que ces résultats s'appliquent à des chevreaux abattus à environ 25 kg de PV. Il serait intéressant de voir les résultats à un poids d'abattage plus élevé étant donné que le poids d'abattage cible rencontrant les demandes des consommateurs peut être différent selon le marché prévalent à un endroit spécifique. En effet, la nationalité et les croyances religieuses du consommateur peuvent influencer ses demandes pour la viande caprine. Par exemple, les consommateurs de viande de chèvre Québécois visent un chevreau environ 2 fois plus lourd à l'abattage.

En France, la viande de chèvre est un sous-produit de la production laitière (Shrestha et Fahmy, 2007). C'était le cas aussi aux États-Unis dans les années 90, où la source première de viande de chèvre était les mâles laitiers et les chèvres de réforme issues de la production laitière (Glimp, 1995). Même au Canada, le potentiel de la race Alpine (race laitière) est étudié puisque peu de mâles Boer sont disponibles pour la production de viande caprine (Stanford et al., 1995).

Bien que la production de viande se réalise avec des chèvres et boucs de race pure, les croisements, autant pour la production d'animaux F1 que pour les croisements terminaux sont encore peu utilisés dans la province (Tableau 1.1).

Tableau 1.1 Principales races utilisées en production laitière et bouchère caprine et les principaux croisements étudiés dans la littérature pour la production de viande de chèvre

Race		Croisement	
Bouchère	Laitière	Mâle F1	Race pure
Boer (BO)	Alpine (AL)	BO × KK	BO × AL
Kiko (KK)	Saanen (SA)	BO × SP	BO × SA
Spanish (SP)		BO × AN	
Angora (AN)			

1.1 Métabolisme et physiologie de la nutrition dans le rumen

Les chèvres sont, à certains égards, connues pour être différentes des autres ruminants domestiqués. En effet, les chèvres font partie des sélectionneurs intermédiaires, qui préfèrent consommer les feuilles, pousses, fruits et brindilles plutôt que de consommer, et d'être efficace à digérer, des fourrages comme le sont la vache et jusqu'à un certain point le mouton (Hofmann, 1989). En conditions sauvages, les chèvres vont donc se nourrir d'un mélange de fourrages et d'arbustes selon la disponibilité saisonnière de ces aliments. Les chèvres ont des repas plus longs puisqu'elles prennent plus de temps à sélectionner que les vaches et les moutons (Dulphy et al., 1990). De plus, les propriétés physicomécaniques de leur tractus digestif, entre autres la musculature moins développée de leur rumen, confirme leur statut intermédiaire entre les ruminants qui consomment exclusivement de l'herbe et ceux qui consomment presque exclusivement des arbustes (Clauss et al., 2003). Les

chercheurs continuent à s'interroger sur ces différences, entre autres, au sujet des microorganismes du rumen (Kronberg and Walker, 1993), de la biohydrogénation des gras (Chilliard et al., 2007), de la digestibilité, du taux de passage (k_p) et du temps de rétention dans le rumen (RRT; Huston et al., 1986) ainsi qu'au sujet des stratégies d'alimentation et de leur effet sur le gain (Tableau 1.2; Agastin et al., 2014). Même si certains éléments sont propres à la race caprine, les principes de base de la nutrition animale sont communs à tous les ruminants.

Tableau 1.2 Principales conclusion d'études ayant pour sujet les différences probables entre différentes espèces de ruminants dont la chèvre

Principales conclusions	Auteurs et date de l'étude
Variation de la population microbienne et de l'environnement ruminal entre la chèvre et le mouton	Kronberg et Walker, 1993
Biohydrogénation dans le rumen et expression du gène de la Δ -9 désaturase dans la glande mammaire différent entre la chèvre et la vache	Chilliard et al., 2007
Sélection de la diète, taux de fermentation et temps de rétention différente de la vache, le mouton et la chèvre au pâturage	Huston et al., 1986
Espèce et stade physiologique n'ont pas d'effet sur le GMQ ou le rendement carcasse chez la vache et la chèvre	Agastin et al., 2014

1.1.1 Glucides

Les glucides sont la première source d'énergie dans les rations des ruminants. Ces glucides, qui se retrouvent dans l'alimentation des animaux de ferme comme la chèvre, sont en fait des chaînes de carbone complexes dites de réserve, comme l'amidon, ou de structure, comme la cellulose et l'hémicellulose (Cheeke, 2005). Les différents types de glucides contenus dans un aliment influencent l'équilibre ruminal et les microorganismes du rumen. Il existe un système de classification des glucides qui permet de quantifier et de qualifier leur dégradation dans le rumen (Sniffen et al., 1992). Ce système a été révisé en

2007 pour devenir encore plus descriptif et tenir compte des vitesses de dégradation dans le rumen et des nouvelles méthodes de laboratoires disponibles (Figure 1.1; Lanzas et al., 2007).

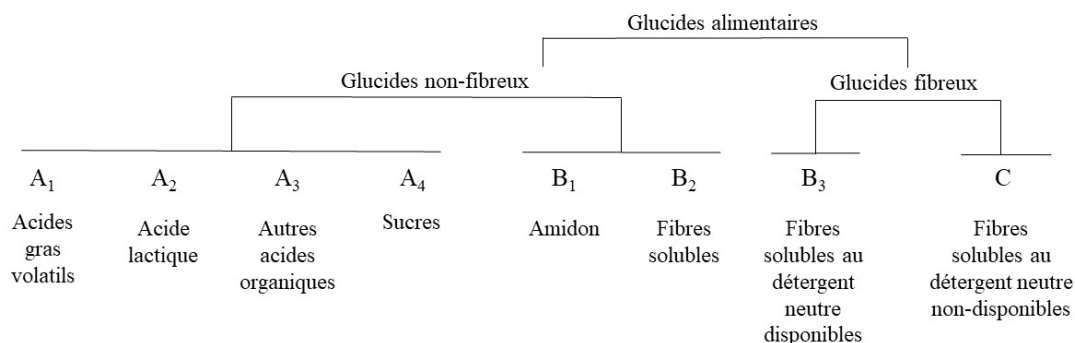


Figure 1.1 Classification des glucides selon leurs caractéristiques de dégradation dans le rumen (Lanzas et al. 2007).

Cette nouvelle classification divise toujours les glucides en 2 grandes classes soit les glucides fibreux et non-fibreux. La fraction C représente la fibre qui n'est pas dégradée et complètement indigestible pour le ruminant. La fraction B₃ ne regroupe que la fibre soluble au détergent neutre qui est disponible pour le ruminant soit l'essentiel des parois cellulaire, la cellulose et l'hémicellulose qui sont dégradés lentement dans le rumen. La vitesse de dégradation dans le rumen de la fraction B₁ (amidon) dépend de plusieurs facteurs dont, entre autres, le type de grain et son traitement, dont il sera question plus tard. La fraction B₂ qui représente la fibre soluble, regroupe les substances pectiques et les β -glucanes. Finalement, la fraction A se subdivise en 4 différentes fractions soient, les acides gras volatils (AGV) (A₁), qui ont une vitesse de dégradation établie à 0, l'acide lactique (A₂), les autres acides organiques (A₃) et les sucres (A₄). Les sucres regroupent les monosaccharides, disaccharides et oligosaccharides (Lanzas et al., 2007). Sans trop faire de raccourci, on retrouve des glucides structuraux majoritairement dans les fourrages et des glucides de réserve dans les grains.

Même si ce n'est pas notre réalité au Québec, il est important de souligner que la chèvre est un ruminant, somme toute, bien adapté aux conditions difficiles d'élevage

comme le désert ou les tropiques (Alexandre et Mandonnet, 2005). Les chèvres sont donc réputées pour tirer profit des plantes tropicales, très productives, de types C4 qui contiennent des glucides fibreux peu digestibles en plus grande quantité comparé aux graminées C3 (Cheeke et Dierenfeld, 2010). Ces chèvres, particulièrement celle de race Bedouin, ont une capacité de recyclage de l'urée ainsi que la faculté de maintenir une densité microbienne supérieure sur les particules d'aliments qui leur permettent de mieux tirer profit d'aliments à basse valeur nutritionnelle (Silanikove, 2000).

Les glucides alimentaires lorsqu'ils arrivent dans le rumen sont fermentés complètement ou en partie par les microorganismes présents, principalement les bactéries (Cheeke et Dierenfeld, 2010). En effet, les enzymes sécrétées par les bactéries scindent les glucides en oses qui sont ensuite transformés en pyruvate et finalement en AGV. Cette transformation effectuée par les bactéries produit de l'énergie sous forme d'adénosine triphosphate (ATP) qui est utilisée par celles-ci pour leur propre métabolisme. Ce sont les AGV qui sont alors absorbés par la muqueuse des papilles du rumen comme source d'énergie pour l'animal. Les bactéries cellulolytiques s'attaquent aux glucides fibreux contenus principalement dans les fourrages servis au ruminant. L'AGV majeur alors produit est l'acide acétique. Les bactéries amylolytiques ont plutôt comme substrat l'amidon contenu dans les grains. Ces bactéries produisent principalement de l'acide propionique. Les glucides qui n'auront pas été digérés par les microbes du rumen seront possiblement digérés par les microorganismes de l'intestin, plus précisément du cæcum.

1.1.2 Protéine

Dans l'optique de la nutrition animale et plus précisément de celle de la chèvre qui est un petit ruminant, la protéine alimentaire est en fait une source d'azote et d'acides aminés. Il existe 2 grandes classes de source d'azote pour le ruminant soit la protéine vraie, qui représente des chaînes d'acides aminés de différentes longueurs et contenant divers acides aminés et l'azote non-protéique, qui contient de l'azote mais pas sous forme de chaînes d'acides aminés, comme l'urée par exemple. Il y a aussi dans la protéine alimentaire de l'azote non-disponible à l'animal. Comme pour les glucides, un système de

classification des sources protéiques selon leur disponibilité dans le rumen a été proposé (Figure 1.2; Sniffen et al., 1992).

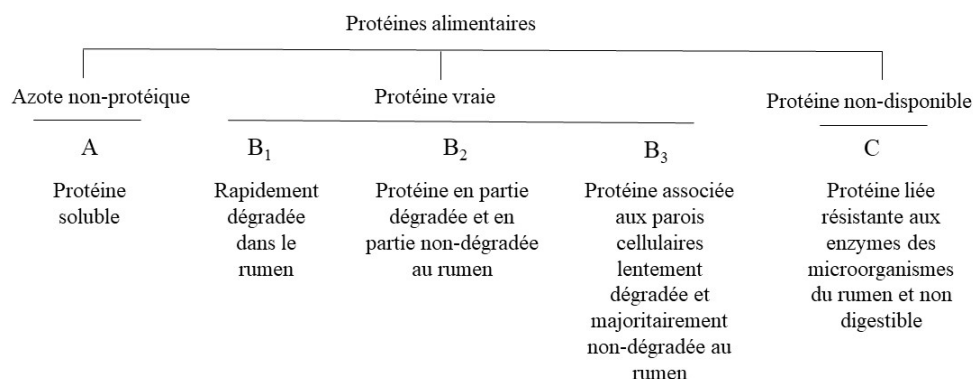


Figure 1.2 Classification des protéines alimentaires selon leurs caractéristiques de dégradation dans le rumen (Sniffen et al. 1992).

L'azote non protéique est soluble et représente la fraction A de la protéine. Elle est donc très rapidement disponible pour les microorganismes du rumen ($>300\%/h$). La protéine vraie (fraction B) se divise en 3 sous-fractions : la fraction B₁ soit la protéine rapidement dégradée dans le rumen ($120-400\%/h$), la fraction B₂ dont une partie est dégradée par les microorganismes ($3-16\%/h$) et une autre partie quittera le rumen indemne et la fraction B₃ composée de protéines associées aux parois cellulaires et qui est lentement dégradée ($0.06-0.55\%/h$). Une proportion importante de la fraction B₃ va quitter le rumen sans avoir été dégradée. Enfin, la fraction C est caractérisée par la protéine liée à la fibre et représente la protéine qui n'est pas disponible pour l'animal (Sniffen et al., 1992).

La teneur en protéine des aliments pour animaux varie. En fait, les fourrages en contiennent une proportion très variable selon qu'ils soient des graminées ou des légumineuses et selon plusieurs caractéristiques liées à leur production telles que le cultivar, le stade de développement à la récolte et la conservation. Certains concentrés en contiennent beaucoup comme par exemple les tourteaux et certains sous-produits comme les drèches.

La protéine alimentaire, tout comme les glucides, est digérée par les bactéries. En fait, elles dégradent les protéines en oligopeptides puis en acides aminés. La chaîne carbonée de l'acide aminé est fermentée et le groupement amine est désaminé pour produire de l'ammoniac (NH_3). Ce NH_3 est utilisé pour la reproduction des microorganismes du rumen, source de protéine pour le ruminant. Les bactéries peuvent aussi utiliser les sources d'azote non-protéique comme l'urée. Cet azote est rapidement disponible pour les bactéries parce qu'il est très soluble. À l'opposé, une certaine proportion de protéine alimentaire, que l'on dit non dégradable, pourra s'échapper du rumen et être digérée dans l'intestin (Cheeke et Dierenfeld, 2010). Il est possible de traiter la protéine pour la rendre moins dégradable dans le rumen tout en demeurant digestible dans l'intestin. Ces procédés seront discutés plus loin.

1.1.3 Lipides

Les lipides sont aussi une source d'énergie pour les animaux. On retrouve les lipides dans les fourrages, le plus souvent dans les feuilles sous forme de galactolipides ou de phospholipides mais aussi dans les concentrés, comme le maïs et la fève de soya, sous forme de triacylglycérols (TAG). Les lipides qui se retrouvent sous forme de TAG sont composés d'un glycérol et de 3 AG. Les AG, qui sont des chaînes carbonées, peuvent être saturés, c'est à dire que tous les groupements sont saturés en hydrogène. Il existe des AG monoinsaturés (AGMI) qui ne comportent qu'un seul lien double entre 2 carbones adjacents ou des AG polyinsaturés (AGPI) comportant plusieurs liens doubles séparés par un groupement méthyle (Cheeke, 2005). La double liaison peut avoir 2 conformations différentes soit la conformation *cis* ou la conformation *trans*. Parmi les AGPI, l'acide linoléique conjugué (18:2 *c9t11*; ALC), qui est produit en grande partie dans le rumen grâce à la Δ^9 -désaturase à partir de l'acide *trans*-vaccénique (18:1 *t11*), comportent 2 liens doubles qui ne sont pas séparés par un groupement méthyle. Plusieurs isomères de l'ALC sont étudiés pour leurs bienfaits multiples sur la santé humaine. Par exemple, l'ALC protégerait contre certains cancers, réduirait l'athérosclérose et pourrait influencer la composition corporelle, l'homéostasie du glucose et la modulation du système immunitaire (McGuire et McGuire, 2000).

Le fait que les AG soient saturés ou non et le fait qu'ils soient de conformation *cis* ou *trans*, leur confèrent certaines propriétés. Par exemple, les AG de conformation *cis* ont un point de fusion inférieur à celui des AG de conformation *trans*. Dans un même ordre d'idée, les AG insaturés ont un point de fusion inférieur à celui des AG saturés (McDonald et al., 2011). Ces caractéristiques sont importantes car elles ont un impact sur le point de fusion des AG accumulés dans les tissus adipeux des chevreux comme le gras interne, le gras sous-cutané et le gras intramusculaire.

À leur arrivée dans le rumen, les lipases bactériennes hydrolysent les lipides alimentaires en AG et en glycérol ou en galacto-glycérol. Le glycérol et le galactose sont fermentés en AGV. Les AG insaturés seront généralement hydrogénés avant de quitter le rumen. La biohydrogénation pourra être partielle laissant s'échapper vers l'intestin des AG insaturés. Une isomérisation du lien double de conformation *cis* est aussi possible ce qui a pour résultat la formation d'AG de conformation *trans*. Les bactéries, les protozoaires et les champignons présents dans le rumen peuvent incorporer ou synthétiser des lipides (Doreau et Chilliard, 2007). À ce chapitre, il faut aussi souligner la synthèse d'AG à chaînes impaires et ramifiées. L'odeur caractéristique spécifiquement retrouvée avec les produits de la chèvre et du mouton, est le résultat de la présence d'AG à chaînes impaires et ramifiées (4-methyloctanoic, 4-methylnonanoic, 4-ethyloctanoic, 4-ethylheptanoic) synthétisés à partir du méthylmalonate (Webb et al., 2005). Généralement, les AG libres quittent le rumen pour être digérés et absorbés dans l'intestin (Cheeke and Dierenfeld, 2010).

1.2 Synchronisme protéine-énergie

Il faut lors de l'élaboration des programmes alimentaires pour ruminants s'assurer de répondre adéquatement aux besoins de l'animal selon son stade physiologique mais aussi en tenant compte des aliments disponibles pour l'ajout à la ration. Ainsi, il faut connaître la teneur en nutriments des aliments servis mais aussi leurs caractéristiques afin de pouvoir appliquer la théorie du synchronisme. C'est qu'en fait, la théorie du synchronisme va au-delà du simple fait de répondre aux besoins de l'animal. En effet, il faudrait aussi, selon cette théorie, s'assurer qu'à la fois l'énergie et la protéine soient

disponibles simultanément pour les microbes présents dans le rumen (Johnson, 1976). Selon cette théorie, il faut fournir aux bactéries du rumen une source de glucides et de protéines qui possède une dégradabilité semblable dans le rumen pendant une période de temps similaire (Figure 1.3). L'utilisation des nutriments par l'animal est alors optimale, augmentant ainsi la synthèse de protéine microbienne (PMic) au niveau du rumen (Johnson, 1976). En plus des expériences *in vivo* dont il sera question, cette théorie a aussi fait l'objet d'expérience *in vitro* (Henning et al., 1991).

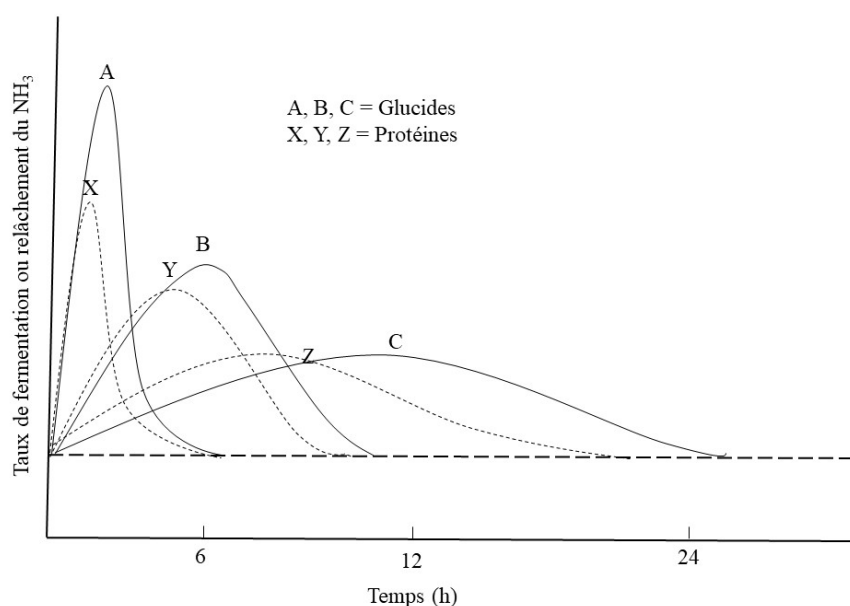


Figure 1.3 Théorie du synchronisme dans le rumen entre l'énergie et la protéine (Adapté de Johnson, 1976).

1.2.1 Méthodologie utilisée pour l'étude de la théorie du synchronisme

Afin d'étudier cette théorie et ses effets sur l'animal, 2 types de méthodologies sont utilisées plus fréquemment par les chercheurs. En effet, il est possible de changer le patron d'alimentation des animaux, c'est-à-dire de servir les mêmes aliments mais à différents moments de la journée pour créer artificiellement des moments où les apports entre l'énergie et la protéine sont synchronisés ou non dans le rumen. Il est aussi possible de servir des aliments différents en même temps qui permettent, selon leur dégradabilité ou leur vitesse de passage dans le rumen, de fournir un apport synchronisé ou non en protéine

et en énergie. Notons aussi que les rations qui sont dites synchronisées peuvent être des rations où les nutriments sont disponibles rapidement dans le rumen grâce à leur grande dégradabilité ou plus lentement due à leur lente dégradation.

1.2.1.0 Méthode des différents patrons d'alimentation

La méthode des différents patrons d'alimentation repose sur un indice de synchronisme calculé, prenant en compte les taux de dégradation par heure (h) dans le rumen de la protéine et de la matière organique (MO) des différents aliments servis aux animaux (Sinclair et al., 1993). Ces taux de dégradation des nutriments sont évalués de façon expérimentale puis utilisés pour prédire un indice de synchronisme où la valeur de 1 indique un parfait synchronisme et, une valeur inférieure à 1, une dégradabilité dans le rumen qui n'est pas simultanée (Richardson et al., 2003). Ainsi, les rations qui sont formulées pour un synchronisme optimal entre la source de protéine et celle d'énergie gardent tout au long de la journée un ratio stable entre ces 2 nutriments alors que les rations formulées pour être non synchronisées voient la valeur de ce ratio varier de façon importante suite aux repas. Bien sûr, l'apport total par jour des nutriments doit être semblable entre les différentes rations. Cette méthode permet d'éviter les biais possibles causés par des différences de lot d'aliments ou de disparité entre les rations comportant des ingrédients différents.

Par exemple, dans une étude réalisée avec des agneaux, Richardson et al. (2003) ont choisi cette méthode avec de l'orge ou de la pulpe de betterave comme source d'énergie et de la paille de blé pour fourrage (Tableau 1.3). La ration synchronisée consistait à servir aux agneaux la même quantité de tous les aliments durant le repas du matin et du soir. La ration intermédiaire consistait à servir la source de protéine lentement dégradable (tourteau de colza) surtout le matin et les sources rapidement dégradables (distillerie de malt et urée) en partie ou totalement au repas du soir. La ration sans synchronisme consistait à servir aux agneaux toutes les sources de protéines lors du repas du matin pour n'en servir aucune le soir.

Tableau 1.3 Patrons d'alimentation des divers ingrédients en g/kg de la ration selon le ratio N:MO pour une ration synchronisée, intermédiaire et non-synchronisée à base d'orge ou de pulpe de betterave (Adapté de Richardson et al., 2003).

	Synchronisée	Intermédiaire		Non-synchronisée	
	AM et PM	AM	PM	AM	PM
Ration à base d'orge					
Indice de synchronisme	0,86	0,76		0,63	
Paille de blé	320	180	460	84	556
Orge	420	420	420	420	420
Distillerie de malt	164	256	72	328	0
Tourteau de colza	60	120	0	120	0
Urée	12	0	24	24	0
Minéraux	24	24	24	24	24
Ration à base de pulpe de betterave					
Indice de synchronisme	0,85	0,76		0,61	
Paille de blé	300	336	264	157	443
Pulpe de betterave	412	300	524	291	533
Distillerie de malt	60	0	120	120	0
Tourteau de colza	199	340	58	398	0
Urée	5	0	10	10	0
Minéraux	24	24	24	24	24

1.2.1.1 Méthode basée sur la dégradabilité ruminale des nutriments des aliments servis

Il est aussi possible de tester cette théorie en modifiant la disponibilité dans le rumen de la protéine ou de l'énergie par le choix des aliments servis. Comme pour la méthode des patrons d'alimentation, les rations synchronisées peuvent avoir un apport en protéine et en énergie plus ou moins rapidement disponible pour les microbes du rumen. Ainsi, en utilisant des chèvres taries, Schmidely et al. (1996) ont comparé 4 types différents de concentrés servis en supplément à la ration de base contenant la même proportion de luzerne déshydratée et d'ensilage de betterave, de l'orge et du tourteau de soya. Pour obtenir les rations, les auteurs ont mélangé selon des proportions distinctes plusieurs aliments (Tableau 1.4). Les concentrés contenaient des aliments caractérisés par i) une dégradation rapide de la protéine et de l'amidon, ou ii) une lente dégradation de la protéine avec une rapide dégradation de l'amidon, ou iii) une lente dégradation de la protéine et de l'amidon, ou finalement iv) une fibre très rapidement digestible et une lente dégradation de

la protéine. Ce genre d'expérience a aussi été réalisé avec des concentrés contenant une seule source de protéine et une seule source de glucides (Casper et al. 1999).

Tableau 1.4 Composition des concentrés selon la vitesse de dégradation des glucides et des sources de protéines dans le rumen (Adapté de Schmidely et al., 1996).

Dégradation des glucides	Amidon rapide		Amidon lent	Fibre rapide
Dégradation des protéines	Rapide	Lente	Lente	Lente
Composition (% MS)				
Blé	20	25	—	—
Orge	17	25	—	—
Avoine	10	25	—	—
Sorgho	—	—	25	—
Maïs moulu	—	—	50	—
Fin gluten de maïs	—	5	5	—
Gros gluten de maïs	—	—	—	5
Gourgane	25	—	—	—
Pois	20	—	—	—
Écales de soya	—	—	—	35
Pulpe de betterave	—	—	—	20
Tourteau de soya	—	12	12	12
Tourteau de noix de coco	—	—	—	20
Mélasses	5	5	5	5
Minéral	3	3	3	3

1.2.2 Effet du synchronisme dans le rumen sur la digestibilité

Pattanaik et al. (2003) ont remarqué une interaction entre la dégradabilité de l'amidon et la dégradabilité de la protéine dans le rumen pour des rations servies à de jeunes veaux dont la source de protéine et d'énergie contenue dans le concentré était synchronisée ou non. En effet, la digestibilité de la matière sèche (MS) et de la fibre ADF et NDF ont augmenté lorsque le concentré à base de tourteau d'arachide (protéine rapidement dégradable) contenait du maïs chauffé avec de la vapeur (énergie rapidement dégradable) plutôt que du maïs moulu (énergie lentement dégradable), et ce, pour une même consommation volontaire de matière sèche (CVMS). Ces augmentations de digestibilité seraient liées au meilleur synchronisme entre la protéine et l'énergie, couplée d'une disponibilité plus grande de l'amidon lorsque le maïs est chauffé (Pattanaik et al.,

2003). Rien de tel n'a été observé avec les autres rations où le concentré contenait un mélange de tourteau de graine de coton et de tourteau d'arachide (protéine moyennement dégradable) ou de la farine d'os et de sang avec du tourteau d'arachide (protéine peu dégradable), avec l'une ou l'autre des sources d'énergie. Au contraire, Rotger et al. (2006) n'ont observé aucun effet sur la digestibilité, la production d'AGV, ni sur la teneur en NH_3 du contenu ruminal de taures alimentées avec des rations où la source de protéine et d'énergie étaient synchronisées ou non. Par contre, dans l'essai *in vitro* réalisé par les mêmes chercheurs, la digestibilité de la MO a eu tendance à être supérieure pour les rations synchronisées (orge et tourteau de tournesol ainsi que maïs et TS) comparées aux rations non synchronisées (orge et TS ainsi que maïs et tourteau de tournesol).

1.2.3 Effet du synchronisme dans le rumen sur le taux de passage

L'équipe de Casper et al. (1999) ont utilisé une source d'énergie rapidement dégradable soit l'orge et une moins dégradable soit le maïs avec une source de protéine rapidement dégradable, soit le TS, et une plus lentement dégradable, soit le TSE (tourteau de soya extrudé) pour observer le k_p en fonction du synchronisme de la ration. Ainsi, le k_p de la phase solide, et inversement le RRT, avait tendance à être plus rapide lorsque les vaches recevaient le concentré synchronisé avec une dégradabilité rapide de la source d'énergie et de protéine dans le rumen (Tableau 1.5). Ce k_p évoluant vers des valeurs intermédiaires pour le concentré non synchronisé et synchronisé avec la dégradabilité lente de la protéine dans le rumen. Finalement, le concentré non synchronisé avec la source d'énergie lente et la source de protéine rapide menait au k_p le plus lent. Selon Casper et al. (1999), le taux de dégradation des glucides non-structuraux plus rapide pour l'orge comparé au maïs pourrait être une piste de réflexion. Par contre, la cause de l'augmentation du k_p avec le TSE en combinaison avec le maïs mais pas avec l'orge reste nébuleuse pour les auteurs. Surtout que les k_p sont habituellement corrélés avec la CVMS, qui elle, a été semblable indépendamment des rations. La piste évoquée serait un ratio de glucides non-structuraux par rapport à la protéine dégradable dans le rumen (PDR), supérieur avec des rations mieux synchronisées et donc pour les concentrés contenant le maïs avec le TSE et l'orge en combinaison avec le TS. Alors que les 2 autres concentrés affichant un ratio inférieur (maïs avec TS et orge avec TSE) seraient moins synchronisés.

Tableau 1.5 Taux de passage, temps de rétention, et volume ruminal de vaches consommant une ration totale mélangée contenant du maïs et de l'orge en combinaison avec du tourteau de soya (TS) et du tourteau de soya extrudé (TSE) (Adapté de Casper et al., 1999).

Paramètres	Ration totale mélangée				ET ^w
	Maïs + TS	Maïs + TSE	Orge + TS	Orge + TSE	
Phase liquide					
k _p , %/h ^y	11,2	11,0	11,1	11,9	0,40
RRT, h ^z	9,0	9,2	9,1	8,6	0,34
Volume ruminal, l	78,4	81,4	81,7	92,3	3,32
Phase solide					
k _p ,%/h	3,4 ^b	3,9 ^{ab}	4,2 ^a	3,8 ^{ab}	0,20
RRT, h	30,5 ^a	26,2 ^{ab}	24,5 ^b	27,4 ^{ab}	1,56
Remplissage du rumen, kg MS	7,8	7,5	6,7	7,1	0,48

^w ET = Erreur type, ^x PB= Protéine brute, ^y k_p = taux de passage, ^z RRT= temps de rétention dans le rumen

^{a,b} Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes sont différentes ($P < 0,05$).

Par contre, le k_p des solides hors du rumen de mouton n'a pas été influencé par le synchronisme des rations lorsqu'étudié grâce à la méthode des patrons d'alimentation (Sinclair et al., 1995). Il faut dire qu'en plus d'avoir utilisé une méthodologie différente avec une espèce différente, Sinclair et al. (1995) ont utilisé des rations à base de paille de blé plutôt que de l'ensilage de maïs et du foin de luzerne.

1.2.4 Effet du synchronisme dans le rumen sur les performances et la production de PMic

Chez la vache laitière, les rations synchronisées comparées aux rations non synchronisées n'ont eu d'effet ni sur la production de lait, ni sur la production de PMic (Casper et al., 1999). De façon similaire, le synchronisme des nutriments étudié grâce aux différents patrons d'alimentation n'a pas eu d'influence sur le GMQ, le bilan azoté, ni la production de PMic chez les ovins (Sinclair et al., 1993, 1995; Richardson et al., 2003). Dans le même ordre d'idée, Valkeners et al. (2006), qui ont étudié le synchronisme avec des bovins en croissance, n'ont observé aucun effet sur la croissance, la synthèse de PMic et l'azote retenu des rations synchronisées ou non. Par contre, des agneaux recevant des rations où la source de protéine et d'énergie étaient synchronisées ont eu une efficacité d'utilisation de l'énergie et des dépôts de gras supérieurs (Richardson et al., 2003). Cette

observation a été appuyée par l'observation d'une augmentation linéaire de l'énergie retenue et de l'énergie totale contenue dans la carcasse avec un meilleur synchronisme. Witt et al. (1999), dans une étude avec des béliers, avaient aussi observé un dépôt de gras ainsi qu'un GMQ supérieur pour les béliers recevant la ration synchronisée. Selon eux, ce phénomène était expliqué par une amélioration du métabolisme énergétique de l'animal.

Chez la chèvre, une ration non synchronisée, contenant une source d'énergie rapidement fermentescible (fibre très rapidement digestible) couplée d'une source de protéine à fermentation lente, a provoqué la plus importante et la plus longue chute de pH ainsi que la plus importante production d'AGV après l'introduction des concentrés lorsque comparée aux autres rations synchronisées ou non (Schmidely et al., 1996). Ceci étant provoqué par la vitesse de fermentation de la source d'énergie. Alors que la ration synchronisée contenant la source d'énergie et de protéine à dégradation lente a été la moins acidotique, elle a mené à la plus faible production d'AGV dans le rumen. À ce compte, les rations contenant une source d'amidon lentement dégradable semblent satisfaisantes pour le maintien d'un environnement adéquat pour les microorganismes du rumen.

Il est difficile de statuer quant aux avantages potentiels apportés par des rations formulées en respectant la théorie du synchronisme puisque les résultats divergent. Il est impossible de conclure sans équivoque que la théorie du synchronisme, vérifiée par l'une ou l'autre des méthodes de mesure, permette une plus grande production de PMic ou une amélioration des performances chez le bovin ou l'ovin (Cabrita et al., 2006; Cole et Todd, 2008; Hall et Huntington, 2008). Chez le caprin, l'information à ce sujet est presque inexistante. De nombreux paramètres extrinsèques à l'animal comme l'échantillonnage des aliments offerts, la caractérisation de ces aliments, mais aussi des paramètres intrinsèques à l'animal comme le recyclage de l'azote, l'utilisation des nutriments par l'animal et l'état de son système immunitaire peuvent influencer les résultats obtenus (Hall et Huntington, 2008). Il serait possible aussi que les microorganismes du rumen s'adaptent à la stratégie utilisée pour pallier au manque de synchronisme imposé (Cole et Todd, 2008).

1.3 Alimentation du chevreau de boucherie et effet sur les performances de croissance

Le gain des animaux est influencé par la ration qu'ils reçoivent. En fait, la production de viande de chèvre peut se faire selon divers systèmes d'alimentation en passant d'une gestion extensive de rations dont la qualité varie dans le temps à un élevage en confinement avec des rations dont le contenu est stable et qui répondent parfaitement aux besoins des animaux (Goetsch et al., 2011). Selon le continent, le pays ou même la région, les chevreaux sont alimentés au pâturage, reçoivent des fourrages, des grains ou des sous-produits typiques du territoire où ils sont engraisés.

1.3.1 Alimentation à base de concentrés

Les chevreaux élevés pour la viande bénéficient généralement d'un apport en concentrés. Ryan et al. (2007) ont observé des chevreaux Boer alimentés à volonté avec une ration contenant une quantité croissante de concentré (50, 70, et 90%). Les auteurs ont noté une diminution de la CVMS, une augmentation de l'efficacité alimentaire et une augmentation du GMQ avec une valeur maximale pour les chevreaux recevant 70% de concentrés. Des GMQ supérieurs ont aussi été observés pour des chevreaux Boer nourris à volonté avec une ration contenant 50% de concentrés avec pour fourrages de la luzerne déshydratée comparé à une ration ne contenant que du foin de sorgho et de dactyle (Ngwa et al., 2009). De façon semblable, plus les chevreaux croisés (Small East Africain × Norwegian) castrés et âgés de 9 mois consommaient de concentrés (0, 33, 66, et 100% de concentrés accessibles) moins ils consommaient de foin et plus leur GMQ était grand (Mushi et al., 2009). En Amérique du Nord, et plus spécifiquement aux États-Unis, les principaux suppléments (protéiques et énergétiques) qui composent les concentrés pour chevreaux sont les mêmes que ceux utilisés pour les ovins ou les bovins (Goetsch et al., 2011).

1.3.1.0 Apport énergétique

L'apport énergétique dans les concentrés servis aux chevreaux pour la production de viande vient en grande partie des céréales. En fait, c'est leur contenu en amidon qui fournit

les précieux glucides. Chacun des grains communément utilisés en alimentation animale contient un amidon ayant une dégradabilité différente dans le rumen. Ainsi, il est possible de classer les grains selon la dégradabilité ruminale croissante de l'amidon soit l'avoine, suivi du blé, de l'orge, du maïs et enfin du millet (Herrera-Saldana et al., 1990). Le même ordre de classement s'applique aussi à la dégradabilité ruminale de la protéine pour chacun de ces grains. La solubilité de l'amidon dans le cas de l'avoine et la matrice protéique présente dans l'amidon du maïs et du millet explique les différences de dégradabilité selon ces mêmes auteurs. En effet, McAllister et al. (1993) ont démontré que c'est la résistance de la matrice de protéine contenue dans l'endosperme du grain qui affecte la dégradabilité de celui-ci dans le rumen. Ils ont observé que la matrice du maïs serait plus résistante aux bactéries que celle de l'orge. Ce résultat étant encore vrai même lors d'analyses réalisées sur les granules d'amidon plutôt que sur le grain lui-même. Plusieurs facteurs influencent le taux et l'ampleur de la digestion de l'amidon dans le grain comme par exemple la source d'amidon, la composition de la ration, la CVMS, les altérations mécaniques ou chimiques que le grain a subies, ainsi que l'adaptation des microorganismes du rumen à la ration (Rooney et Pflugfelder, 1986).

Plusieurs études ont été réalisées dans le but de comparer entre eux différentes céréales et d'observer leurs effets sur les performances des animaux. Yang et al. (2012) ont remplacé le blé contenu dans une ration pour chevreux par du maïs. Les céréales représentaient 25% de la ration et composaient, avec le TS, les concentrés servis aux animaux, alors que les résidus de maïs, servis comme fourrage, représentaient 60% de la ration. Les auteurs ont observé un GMQ supérieur pour les chevreux recevant le maïs comparé au blé pour une CVMS semblable. L'amidon contenu dans le maïs, moins dégradé dans rumen à cause de la matrice de protéine qui l'entoure, était donc digéré dans l'intestin favorisant une meilleure utilisation des glucides chez l'animal selon les auteurs. Dans un même ordre d'idée, le GMQ d'agneaux a été inférieur lorsque du blé était servi plutôt que du maïs ou du sorgho. De plus, la CVMS était également diminuée par l'ajout de blé à la fraction fourrage de la ration apportée par les écales de graines de coton (Hart et Doyle, 1985).

Malgré que chaque céréale possède ses caractéristiques propres, certaines substitutions, c'est-à-dire le remplacement en partie ou en totalité d'une céréale par une autre, sont possibles sans effet sur les performances des animaux. En effet, Hadjipanayiotou (2004) a observé que la production et la composition du lait chez des chèvres Damascus a été semblable lorsqu'il a remplacé $\frac{2}{3}$ de l'orge servi par du maïs. La substitution du maïs par du millet a aussi été possible sans impact sur la production ni sur la CVMS avec des chèvres en début lactation de race Alpine et Saanen (Gelaye et al., 1997). Par contre, le GMQ et la digestibilité de la MS, de la fibre, de la protéine et de l'énergie de la ration ont eu tendance à diminué par la substitution partielle ou totale du maïs par le millet dans des rations servies à des chevreaux en croissance (Gelaye et al., 1997). Aussi, Terrill et al. (1998) ont remarqué une diminution de la digestibilité de la ration chez des chevreaux matures de 2 ans lorsqu'alimentés avec 50% ou 100% de millet en remplacement du maïs. Au Canada, c'est majoritairement le maïs et l'orge qui sont utilisés pour l'alimentation des agneaux (Petit, 2000) et probablement des chevreaux. Par contre, ce genre d'étude n'a pas encore été réalisée avec les caprins sur le territoire canadien.

1.3.1.0.1 Traitement de la source énergétique contenue dans les concentrés

Le traitement des grains pour en augmenter l'utilisation par le bétail est réalisé depuis nombre d'années. Rouler, craquer ou moudre le grain brise le péricarpe, ce qui est nécessaire afin de permettre la colonisation de l'endosperme du grain par les microorganismes du rumen (McAllister et al., 1990). L'objectif visé est d'augmenter l'utilisation du grain par l'animal, plus spécifiquement en augmentant la dégradabilité de l'amidon dans le rumen (Hale, 1973), pour que cela se traduise par une augmentation des performances. Le traitement physique du grain, comme par exemple le briser grâce au procédé de mouture, ne permettrait pas d'augmenter la digestibilité de la ration chez le mouton ou la chèvre. Lorsque des grains ronds sont servis aux petits ruminants, le temps de rumination est 2 fois plus long comparé aux grains moulus ce qui leur permet de bien briser les grains (Ørskov, 1976). Ørskov (1979) souligne que l'orifice réticulo-omasale des petits ruminants, tout comme celles des jeunes veaux, force le grain à être régurgité et ruminé, contrairement à l'ouverture des bovins qui permet plus facilement le passage de grains

entiers. Les grains peuvent aussi être traités physiquement et cela en présence de vapeur. Dans ce cas, appliquer de la chaleur et de l'humidité au grain a pour effet de modifier la structure de l'amidon pour le gélatiniser. Ainsi, les nouvelles propriétés de l'amidon le rendre alors plus susceptible à l'attaque des enzymes bactériennes (Rooney et Pflugfelder, 1986). La vapeur est aussi souvent utilisée lorsque les grains sont mis en comprimés par le procédé communément appelé « cubage ». La vapeur permet d'utiliser les propriétés adhésives de certains grains (Cheeke, 2005). Tout comme le gluten de blé qui a une consistance gluante au contact de la vapeur, l'orge, le triticale et le seigle ont aussi cette capacité qui aide au cubage. Par contre, le maïs, le sorgho, le millet et le riz n'ont pas cette capacité. Il faut noter aussi que l'orge, l'avoine et le seigle deviennent visqueux lors du contact avec l'eau augmentant ainsi la qualité du cube. Chez la chèvre, la qualité du cube peut être importante pour éviter le triage lors de la consommation (Cheeke, 2005). Par contre, le traitement par cubage n'est pas nécessaire dans toutes les situations pour le mouton ou la chèvre. En effet, dans sa revue des travaux, Campling (1991) fait une distinction entre les animaux dont les rations contiennent presque exclusivement du grain, où le traitement ne serait pas nécessaire, et celles qui contiennent des fourrages, où le traitement des grains permettrait une augmentation de la digestibilité de l'amidon et même une augmentation des performances.

Chez le bovin, le traitement sec ou humide des grains est profitable mais dépend du grain utilisé, du rapport fourrage-concentré de la ration (McDonald et al., 2011) et de la CVMS (Campling, 1991). De fait, le traitement à la vapeur du maïs, du millet et du blé comparé au traitement physique a diminué la CVMS mais n'a pas eu d'effet sur le GMQ augmentant ainsi l'efficacité alimentaire de bovins en engraissement (Owens et al., 1997). Contrairement à ce qui a pu être observé pour les bovins laitiers et en croissance, (Campling, 1991), chez la chèvre comme chez le mouton (Petit, 2000), le traitement physique des grains ne serait pas nécessairement associé à une augmentation des performances. Economides et al. (1990) ont réalisé plusieurs essais dans le but de vérifier si, chez les bovins, les ovins et les chevreaux, les grains avaient avantage à être traités. Dans un premier essai, une ration contenant presque exclusivement des concentrés sous forme moulue a été comparée à une ration sous forme cubée, où les ingrédients étaient

moulus puis cubés (5 mm), et à une ration sous forme entière. Dans ce dernier cas, le grain était servi entier avec les autres ingrédients sous forme de cubes de 2 mm. Subséquemment, 3 autres essais ont été réalisés pour comparer la ration cubée et la ration contenant les grains entiers. Dans toutes les rations, le concentré était composé de 64% d'orge, 16% de sorgho, 14% de TS, 4% de son de blé et des minéraux. Les chevreaux recevant la ration moulue ont obtenu les plus faibles GMQ, soit moins de 150 g/j, alors que ceux consommant la ration cubée ont eu de meilleures performances que ceux consommant le grain rond (259 vs. 203 ± 5 g/j). Les auteurs soulignent l'effet favorable de la gélatinisation de l'amidon lors du cubage qui augmente la disponibilité des glucides pour les bactéries du rumen (Theurer, 1986). À l'opposé, d'autres expériences évoquent la prudence lors du choix du traitement du grain pour les rations de petits ruminants. En effet, avec des rations à base de grain, un traitement trop important peut même mener à des conséquences néfastes. Un gras sous-cutané mou, sans amélioration importante de la digestibilité de la ration, a été observé chez des agneaux recevant une ration contenant des grains ayant subi un traitement de cubage comparé à une ration contenant des grains ronds (Ørskov et al., 1974). De plus, dans l'optique des rations à base de grains servies aux petits ruminants en croissance, l'augmentation de la fermentation de l'amidon dans le rumen par un traitement trop important du grain peut mener à de l'acidose et à une surcharge du rumen (Ørskov, 1979). L'ajout d'un supplément de grain aux fourrages a permis l'augmentation de la CVMS de moutons, mais un traitement excessif des grains a diminué la digestibilité de la fibre, un résultat plutôt indésirable. Cette diminution de la digestibilité a été plus importante avec l'orge cubée que l'orge ronde (Ørskov et Fraser, 1975).

En définitive, la nécessité d'un traitement semble dépendre de l'espèce, de l'état physiologique de l'animal et de la ration. Bien que plusieurs chercheurs traitent du sujet chez le bovin et l'ovin en croissance, il en existe peu chez les caprins et certains obtiennent des résultats contradictoires. Il devient donc difficile de juger de la texture des grains permettant des performances optimales chez le chevreau de boucherie.

1.3.1.1 Apport protéique

La protéine métabolisable est reconnue et utilisée pour formuler des rations de différentes classes de bétail mais a peu été étudiée chez la chèvre (Luo et al., 2004). En fait, cette méthode d'évaluation des besoins maintient que l'apport total en protéines, afin de répondre aux besoins du chevreau, est représenté par la PDR, qui favorise la synthèse de PMic, mais aussi par la protéine non dégradable dans le rumen (PNDR), dont l'absorption des acides aminés a lieu dans l'intestin et par la protéine endogène. En effet, la PMic serait de grande qualité pour les ruminants grâce à sa composition en acide aminés et sa digestibilité (Broderick, 1989 cité par Asih et al., 2011). La dégradation des protéines alimentaires dans le rumen dépend de leur dégradabilité et de leur solubilité, du k_p des aliments et aussi de l'environnement ruminal qui influence l'activité microbienne (Jarrige, 1999). Lorsque la dégradation ruminale des protéines est rapide, les microorganismes ne peuvent utiliser tout l'azote disponible et des pertes sont inévitables. Afin de limiter l'excès d'azote pouvant entraîner un gaspillage ou même des problèmes métaboliques, on peut servir au chevreau une source de protéine moins dégradable ou non dégradable, ou encore traiter la source de protéine de la ration.

L'apport croissant de protéine brute (10,2, 14,2, 18,3 et 23,6% PB) dans des rations contenant 70% de concentrés servies à des chevreaux Boer ou Spanish a permis une augmentation du GMQ. En effet, les rations de 14,2% de PB et plus ont mené aux GMQ les plus élevés pour une CVMS semblable entre les chevreaux. Ces gains étaient néanmoins inférieurs à 100 g/j. Ainsi, selon Prieto et al. (2000), il ne serait pas nécessaire de supplémenter au-delà de 14% de PB dans la ration dans ces conditions. Dans le même sens, un apport en PNDR de différentes sources (farine de sang, fin gluten de maïs, farine de poisson, farine de plume et TS) avec une teneur en PB de 19% dans la ration, n'ont pas eu d'effet bénéfique sur la CVMS ou la synthèse de PMic lorsque comparé à des rations semblables ayant une teneur en PB de 13% (Soto-Navarro et al., 2006). L'inclusion d'urée ou de TS à des rations avec des teneurs en protéines allant de 9 à 15%, servies à des chevreaux croisés Boer $\times$ Spanish, n'a pas permis d'augmenter la synthèse de PMic. En fait, la plus importante quantité de PMic synthétisée a été atteinte avec la ration de base contenant 9% PB sans autre source de protéine que celle contenue dans le maïs et les

écaillés de graines de coton (Soto-Navarro et al., 2003). Il semble, selon les auteurs, que l'augmentation de l'apport en PDR chez les chevreaux de boucherie ne soit pas nécessaire avec des rations à base de concentrés lorsque l'apport en PB de la ration est suffisant. Ainsi, le recyclage de l'azote serait plus important que le bénéfice d'un ajout de supplément protéiques plus dégradables. Justement, les caprins ont une capacité plus grande à recycler l'azote que les autres ruminants, surtout avec des rations contenant peu de protéine brute (Silanikove et al., 2000).

Plusieurs sources protéiques sont utilisées dans l'alimentation des petits ruminants comme les chèvres. Les sources communément utilisées en alimentation animale le sont aussi pour la chèvre, comme par exemple le TS. Il peut être favorable de traiter les sources protéiques afin d'en augmenter la proportion qui s'échappe du rumen sans avoir été digérée par les bactéries. En fait, il faut savoir prendre avantage des ruminants et de leur capacité de production de PMic mais aussi d'optimiser l'apport de protéine au petit intestin (Chalupa, 1975).

1.3.1.1.1 Traitement de la source protéique contenue dans le concentré

Le traitement thermique de la source protéique est déterminé par la température, la durée d'application et l'humidité (Chalupa, 1975). Il semble que l'intensité de la dénaturation des protéines par la chaleur est liée à la température, mais aussi à la durée du traitement (Plaisance et al., 1997). Un essai réalisé par Faldet et al. (1992) où des fèves de soya ont été soumises à un chauffage à 140, 150 et 160°C pendant 10, 30, 60, 90 et 120 min a permis d'étudier cette relation. La proportion de PNDR a augmenté de façon linéaire pour chacun des traitements thermiques avec l'augmentation de la durée du traitement passant de 33,9% pour le plus faible traitement (140°C pendant 10 min) à 75,1% pour le plus important (160°C pour 120 min). Une expérience réalisée avec des taures a permis de constater l'augmentation linéaire de la quantité d'azote s'échappant du rumen pour le TS non traité et traité à 115, 130 et 145 °C (Plegge et al., 1985). Par contre, la quantité de PMic synthétisée n'a pas été influencée par le traitement à la chaleur. Un traitement thermique du TS pendant 45 min à 121°C a permis une augmentation du GMQ, de l'efficacité alimentaire et de la digestibilité de la MO chez des agneaux alors que le même traitement pendant 90

min n'a pas eu cet effet (Sherrod et Tillman, 1962). L'azote retenu et le GMQ ont été significativement augmentés pour les agneaux qui ont reçu le TS traité à 149°C pour une durée de 4 h comparé à ceux qui ont reçu le TS non traité (Glimp et al., 1967), mais seulement pour les rations contenant 12,1% PB. En effet, les auteurs soulignent que cette amélioration n'a pas eu lieu avec les rations contenant 17,2% PB, ce qui suggère l'importance encore plus grande d'augmenter la PNDR lorsque la ration contient moins de protéines brutes.

Le traitement à la chaleur de la source de protéine ne provoque pas toujours des effets positifs. Le traitement du tourteau de canola à 150°C pendant 150 min n'a eu aucun effet sur le GMQ et les caractéristiques de la carcasse chez des agneaux, comparé au tourteau de canola non traité, bien que la dégradabilité dans le rumen de la protéine du canola soit passée de 78,5 à 19,8% (Plaisance et al., 1997). En fait, un traitement à la chaleur à une température trop élevée ou encore pendant trop longtemps peut même endommager la protéine et la rendre indigestible pour l'animal (Plegge et al., 1985). On parle alors d'accroître la fraction C de la protéine, comme discuté plus haut (Figure 1.2). Ceci serait expliqué par une grande augmentation de la quantité d'azote liée à la fibre (Plegge et al., 1982), résultat de dommages thermiques rendant l'azote indigestible (Owens et Bergen, 1983). Lorsque les atteintes à la protéine sont trop importantes, les GMQ sont diminués (Nakamura et al., 1994). Le traitement à la chaleur du TS servi à des moutons à une température cible de 185°C a diminué la digestibilité apparente de la ration et l'absorption de l'azote, alors que ça n'a pas été le cas pour un traitement à 102, 128, 144 et 159°C (Plegge et al., 1982). De plus, un traitement à la chaleur excessif aurait un effet significativement négatif sur la disponibilité de la lysine dans l'intestin. Comme cet acide aminé est plus sensible à la chaleur, un tel traitement pourrait le transformer en un produit indigestible de la réaction de Maillard, pouvant le rendre limitant pour l'animal (Demjanec et al., 1995).

Il est aussi possible d'ajouter différents sucres avant de faire subir à la source de protéine un traitement à la chaleur. Un traitement thermique employé seul peut permettre d'augmenter la PNDR alors que l'ajout de sucre au traitement thermique peut occasionner

une diminution de la digestibilité de la source protéique (Petit et al., 1999). La réaction de Maillard peut être mise à contribution de façon plus importante dans la protection de la protéine de la dégradation par les bactéries du rumen. En effet, lorsque du xylose est ajouté au TS avant d'être chauffé à 90°C pendant 1h, la solubilité et la dégradabilité de la protéine sont significativement diminuées sans augmentation de la protéine indigestible (Mosimanyana et Mowat, 1992). Toujours dans le but d'éviter la dégradation des protéines par les microorganismes du rumen, les sources protéiques peuvent aussi être traitées chimiquement. Plusieurs traitements sont possibles dont certains comme ceux avec le formaldéhyde, l'hydroxyde de sodium, le sang, ou l'hydrolysate de poisson, ont démontré leur efficacité *in vitro* (Mir et al., 1984). *In vivo*, la CVMS et le GMQ de chevreaux en croissance de race Saanen × Beetal et Alpine × Beetal recevant du tourteau de graines de moutarde traité au formaldéhyde ont été supérieurs en comparaison avec ceux recevant le tourteau non traité. Par contre, le traitement de la source protéique n'a eu aucun effet sur la synthèse de PMic (Sahoo et Walli, 2008). Chez le mouton, l'acide acétique comme traitement chimique pour diminuer la solubilité et la dégradabilité de la protéine du tourteau de canola dans le rumen s'est avérée efficace. En effet, le traitement au formaldéhyde et celui à l'acide acétique ont tous deux permis de diminuer la fraction A + B₁ et d'augmenter la fraction B₂ de la protéine (Eghbali et al., 2011). Somme toute, la quantité de protéine servie mais aussi le fait qu'elle soit plus ou moins dégradable dans le rumen peut avoir un impact important sur le GMQ et la synthèse de PMic chez la chèvre.

1.3.2 Alimentation au pâturage

Les caprins vont rechercher puis sélectionner les plantes, feuilles et parties de plantes et arbustes qu'ils vont consommer, entre autres, en fonction de leurs besoins et état physiologique et en fonction de l'évolution de la valeur nutritive des fourrages (Animut et Goetsch, 2008). Un des défis au pâturage est d'estimer et d'évaluer la CVMS (quantité et qualité). La qualité du pâturage et ce qu'ingèrent les chèvres varie selon plusieurs facteurs. En effet, l'appétence, la composition du pâturage, la densité animale et les différentes espèces végétales présentes au pâturage influent sur la CVMS. Selon Baumont (1996), l'appétence serait influencée par les caractéristiques physiques de la plante, soit la hauteur

et la densité de l'herbe, sa résistance lorsque l'animal essaie de la brouter, son contenu en MS ainsi que ses caractéristiques chimiques comme le goût et l'odeur.

1.3.2.0 Divers objectifs d'alimentation au pâturage

L'alimentation au pâturage est très utilisée pour l'élevage des caprins. En effet, dans certaines zones agricoles, qui ne sont pas propices à la culture et que l'on cherche néanmoins à rentabiliser, les chèvres sont utilisées pour pâturer. Aussi, le fait que les chèvres consomment des arbustes et vont même jusqu'à grimper dans les arbres pour aller récolter les feuilles leur permet d'être choisies pour tirer profit d'endroits qui sont moins accessibles à d'autres ruminants. Dans la région du sud-ouest du Maroc, à l'automne, les feuilles de l'argan, un arbre indigène, représentent plus de 80% de ce que les chèvres consomment (El Aich et al., 2007).

Les chèvres peuvent aussi être utilisées comme agent biologique pour limiter la propagation d'espèces de plantes et d'arbustes dites adventices, et afin de contrer les feux de forêts. La présence des chèvres permet de diminuer la couverture du sol par les arbustes et d'augmenter celle des espèces herbacées. Elles sont utilisées au pâturage conjointement avec d'autres espèces comme le bovin (Luginbuhl et al., 1998), le cheval ou le mouton (Dostálek et Frantík, 2008; Jáuregui et al., 2009) puisqu'elles consomment, contrairement à ces espèces, du haut vers le bas, c'est-à-dire qu'elles vont d'abord s'intéresser aux feuilles ou fruits des arbustes pour ensuite brouter au sol. De plus, la chèvre broute de façon égale les arbustes et les plantes herbacées au sol (Radcliffe, 1985). Il faut dire que le pâturage multi-espèces est utilisé à court terme comme source de nutriments et à long terme, entre autres, pour l'amélioration des espèces de plantes présentes et le contrôle des mauvaises herbes (Animut et Goetsch, 2008). De plus, les chèvres sont habilitées à limiter leur ingestion de certaines plantes et à tolérer certaines autres plantes contenant des composés comme les tannins (Provenza et al., 1990). En fait, après quelques jours, elles développent une aversion pour un composé donné leur permettant de l'éviter et même de moduler leur consommation afin de ne pas dépasser une quantité qui causerait l'apparition de conséquences négatives comme une diminution de la digestibilité des nutriments ou un effet délétère sur les microorganismes du rumen (Naumann et al., 2017). Elles profitent par

contre de l'effet positif des tannins comme la protection de la protéine de la fermentation ruminale et l'effet antiparasitaire (Naumann et al., 2017). De nombreuses expériences ont été réalisées pour étudier ces composés et leurs effets puisque les problèmes de parasites chez la chèvre sont prioritaires dans plusieurs régions du globe. Plus près de nous, ce genre d'information est rare. Il faut dire aussi que l'analyse est complexe puisqu'il existe 2 classes de tannins, soit les tannins hydrolysables et les tannins condensés qui ont des effets différents sur les animaux (Hagerman et al., 1992). En fait, comme certaines plantes cultivées au Canada contiennent des tannins à différentes concentrations (Berard et al., 2011), ce pourrait être très intéressant de les étudier dans ce contexte. Bien sûr, le pâturage peut être utilisé comme source première de fourrage car il s'avère un choix économique (Rihawi et al., 2010). Il faut dire aussi que le pâturage n'est pas toujours utilisé en opposition à l'élevage avec des concentrés mais qu'il peut faire partie d'un système d'élevage mixte (Morand-Fehr et al., 2007) selon les objectifs d'élevage et aussi selon les saisons, surtout si on pense à la réalité climatique du Québec.

1.3.2.1 Modes de gestion du pâturage

Il existe divers modes de gestion des pâturages pour l'élevage. La gestion peut être plutôt extensive, où les surfaces à pâturer sont grandes et où les interventions sur les animaux sont peu fréquentes. La gestion intensive nécessite plus de travail sur une moins grande surface avec plus d'animaux augmentant l'utilisation du pâturage (Allen et al., 2011). En fait, la gestion intensive des pâturages, et plus spécifiquement, le pâturage en rotation permet de donner une période de repos aux plantes, afin de leur permettre de repousser, et aussi de limiter la sélection par les animaux envers quelques espèces de plantes. Le pâturage en rotation, réalisé en utilisant de petites parcelles, permet d'augmenter le nombre d'animaux sur une surface donnée afin d'assurer une distribution plus égale de ceux-ci sur le territoire à brouter (Briske et al., 2008).

1.3.2.1.1 Gestion extensive des pâturages

En gestion extensive des pâturages, dont fait partie le pâturage en continu, l'offre évolue avec les jours, c'est-à-dire que les plantes qui ont été consommées ne sont plus

présentes changeant ainsi la valeur nutritive de ce qui est disponible (Galyean et Gunter, 2016). En Espagne, une équipe a évalué les performances de chèvres de race Cashmere et de leur petits sur un pâturage en continu avec une charge animale faible (10 chèvres/ha), modérée (15 chèvres/ha) et élevée (20 chèvres/ha). Chez les chevreaux, le GMQ a été supérieur avec les charges faible et modérée comparé à la charge plus élevée. De la même façon, les mères ont mieux maintenu leur poids et leur état de chair avec la charge faible en comparaison avec la charge modérée et élevée. De plus, avec l'augmentation de la charge animale, la présence de parasites était aussi en hausse, puisque l'herbe était broutée plus courte ce qui permettait aux parasites d'infecter plus aisément les chèvres (Celaya et al., 2016).

1.3.2.1.2 Gestion intensive des pâturages

La gestion intensive des pâturages peut se faire en rotation, c'est-à-dire que le pâturage est brouté par les animaux pour un certain nombre de jours et est soumis ensuite à une période de repos qui oscille généralement entre 15 et 30 jours. Il y a aussi le pâturage en bandes qui implique un changement de parcelle à tous les jours, et donc un accès à de la nouvelle herbe quotidiennement pour les animaux. En plus de permettre d'offrir aux animaux une herbe de bonne qualité chaque jour, le pâturage en rotation, sur de courtes périodes, pourrait aussi être un moyen efficace de lutte contre certains parasites. En effet, une étude exploratoire d'un an, a révélé que des chèvres qui broutaient dans un pâturage sous gestion intensive nécessitant un changement de parcelle à tous les 3,5 jours n'ont eu besoin que d'un seul traitement anthelminthique comparé à un groupe de chèvres dans un pâturage extensif, sans aucun changement de parcelle, qui ont nécessité plusieurs traitements pour le contrôle des parasites (Barger et al., 1994). Plus spécifiquement, les auteurs soulignent que la seule dose, donnée en prévention aux femelles ayant mi-bas pour le groupe de pâture en rotation, aurait même pu être évitée car en aucun moment durant l'étude les chèvres n'ont atteint le seuil limite de traitement de 2000 œufs/g de fèces. Ce seuil ayant été dépassé 3 fois par les chèvres qui avaient accès à toute la surface à pâturer. Des performances semblables quant à la quantité et à la composition en gras et en protéine du lait ont été observées avec des chèvres laitières soumise à du pâturage en continu ou à un pâturage en rotation avec de 1 à 4 jours de pâture pour 15 à 30 jours de repos (Lefrileux

et al., 2008). Pour le pâturage en rotation, les chèvres entraient dans la parcelle lorsque l'herbe mesurait entre 8 et 15 cm pour en sortir lorsque l'herbe était entre 5 et 9 cm. Les auteurs ont souligné que les performances semblables des 2 groupes pouvaient s'expliquer par la gestion intense du pâturage en rotation. En effet, lorsque l'herbe dépassait 15 cm, comme c'est arrivé pour le traitement de pâturage en rotation, les chèvres sélectionnaient beaucoup ce qui nuit à la qualité de la repousse. Alors que pour le pâturage en continu, l'herbe était toujours maintenue assez courte (6-7 cm). Les chèvres passaient plus de temps à brouter et sélectionnaient moins, ce qui n'a toutefois pas mené à une diminution de la CVMS. Chez le mouton, ce comportement a aussi été observé. En effet, afin de maintenir la CVMS, les moutons vont, si l'herbe est courte, augmenter le nombre de bouchée/min et le temps total de pâture. Par contre, si l'herbe est trop courte (< 6 cm), cette augmentation du nombre de bouchée n'est pas suffisante pour le maintien de la CVMS puisque les bouchées sont alors trop petites (Gordon, 1995). Afin d'éviter de faire pâturer les chèvres dans l'herbe trop haute, il peut s'avérer judicieux de tondre l'herbe d'une parcelle, au lieu d'y faire pâturer les chèvres, et de la laisser repousser avant que les chèvres ne retournent y brouter. La hauteur idéale pour l'entrée des chèvres au pâturage et pour leur sortie dépend, entre autres, de l'espèce végétale disponible (Luginbuhl et Mosley, 2015). De plus, la hauteur consommée par les chèvres varie aussi selon l'espèce fourrage (Illius et al., 1999).

Il existe peu d'information au sujet de l'effet d'une gestion intensive des pâturages sur les performances des chèvres, surtout lorsqu'il est question de pâturage en rotation. Bien que le pâturage dans l'élevage caprin soit utilisé, on discute plutôt de pâturage mixte avec des arbres, de contrôle des plantes adventices ou encore du défi des parasites. Par contre, des études comparant l'effet de différents modes de gestion des pâturages sur les performances des animaux ont été réalisées chez le bovin. Lors de la première année de leur étude, Beck et al. (2017) ont observé que le gain total de bouvillons élevés sur un pâturage en rotation, soit 3 j de pâture pour 21 j de pause, comparé à une ration de pâturage en continu était semblable avec une charge animale constante et semblable. Dans une autre étude du même groupe, le poids de sevrage de veaux sous la mère tendait à être supérieur pour les veaux sur pâturage continu avec une charge animale modérée (1,3 vache/ha) comparé à un pâturage en rotation, soit 7 j de pâture pour 35 j de repos, avec la même

charge animale et significativement supérieur à celui obtenu sur un pâturage en rotation avec une charge animale élevée (2,5 vache/ha). Par contre, le poids total sevré par hectare était significativement supérieur sur le pâturage en rotation avec charge animale élevée comparé au pâturage en continu et au pâturage en rotation avec la charge animale modérée (Beck et al., 2016). Les auteurs soulignent que le pâturage en rotation a aussi permis une certaine récolte de fourrage pour usage ultérieur pendant l'hiver, permettant donc un revenu par hectare supérieur comparé au pâturage en continu (Beck et al., 2016).

Des agneaux Romney ont été soumis à un pâturage en rotation, soit 4 j de pâture pour 16 j de repos, ou un pâturage en continu avec une charge animale de 12 brebis et leurs agneaux/ha les 2 premières années et de 10 brebis et leurs agneaux/ha pour la dernière année. Le GMQ des brebis a été supérieur au printemps sur le pâturage en rotation en opposition aux résultats de la saison sèche où les brebis ont perdu du poids sur ce même pâturage. En effet, les brebis qui broutaient sur le pâturage en continu ont montré un GMQ supérieur en saison plus sèche. Les agneaux soumis au pâturage en rotation ont fait un GMQ plus rapide que ceux sur le pâturage en continu pour les 2 premières années de l'expérimentation (Sharrow et Krueger, 1979). Pour la dernière année de l'étude, le GMQ des agneaux au pâturage en rotation n'a pas été supérieur à celui des agneaux au pâturage en continu puisque selon les auteurs pour une amélioration des performances avec le pâturage en continu il faut une charge animale modérée. Lorsque la charge animale est trop faible ou trop grande, les performances peuvent même alors être diminuées par la gestion intensive de pâturage en rotation. Lorsque la charge animale est trop faible ou que la masse d'herbe offerte est trop grande, l'accumulation de matériel mort et de tige mène à la diminution de la qualité du pâturage et nuit à la performance des animaux (De Souza et al., 2014). Il semble donc que la gestion intensive en rotation avec changement de parcelle sur de courtes périodes demande un suivi très rigoureux.

L'équipe de Tovar-Luna et al. (2011) aux États-Unis, a comparé l'effet d'un accès continu au pâturage, soit le jour et la nuit, à un accès au pâturage limité à la durée du jour, soit de 7h00 à 19h00, sur la CVMS et les dépenses énergétiques. Pour ce faire, tous les déplacements des chèvres ont été étudiés grâce à des systèmes de positionnement par

satellite attachés à leurs colliers. L'équipe a remarqué que l'accès restreint au pâturage diminue l'ingestion d'énergie métabolisable ainsi que les dépenses énergétiques liées à l'activité au pâturage, mais de façon non proportionnelle. Ainsi, les chèvres qui étaient à l'intérieur durant la nuit n'ont pas compensé par une augmentation de la CVMS le jour comme s'attendaient les auteurs. Selon eux, un biais aurait pu être présent puisque toutes les chèvres avaient accès au même pâturage en même temps pour des raisons de gestion et de mesures expérimentales, ce qui aurait pu influencer leur comportement. Les auteurs soulignent que les résultats auraient pu être différents si les 2 groupes de chèvres avaient pâturé sans pouvoir se voir et donc s'influencer. Dans une expérience avec des chevreaux Boer en croissance comparant un accès au pâturage pendant 4, 8 ou 24 h, Berhan et al., (2005) ont montré que la diminution de l'activité due à la limite de temps au pâturage pour le traitement de 8 h avait permis une énergie retenue semblable à celle obtenue avec 24 h de pâturage. En effet, comme les chevreaux avaient accès au pâturage pour 24 h, ils consommaient plus mais dépensaient aussi plus d'énergie. Les chèvres ayant accès à seulement 4 h au pâturage ne réussissaient pas à avoir une CVMS assez élevée pour atteindre les mêmes niveaux d'énergie retenue. Conséquemment, en présence d'un pâturage de bonne valeur nutritive avec une masse de fourrage modérée à élevée, il serait possible d'obtenir des GMQ de l'ordre de 85 g/j avec un temps de pâture de 8 h comparé à 24 h.

Une étude récente s'est penchée sur la charge animale et le pâturage à la dérobée et son effet sur les chevreaux et les mères allaitantes. Pour évaluer la performance des animaux, les pâturages ont été étudiés avec une charge animale faible (4 femelles et 8 chevreaux), modérée (5 femelles et 10 chevreaux), élevée (8 femelles et 16 chevreaux), et élevée (8 femelles et 16 chevreaux) mais avec un accès à un pâturage à la dérobée. Les changements de parcelles étaient réalisés après 7 jours. Comme dans les études citées plus haut sur la charge animale, les performances des femelles et des chevreaux diminuaient individuellement avec l'augmentation de la charge animale (Tableau 1.6) mais les performances par unité de surface ont augmenté (Yiakoulaki et al., 2007). L'attrait du pâturage à la dérobée avec une charge animale élevée est de limiter les pertes de poids des femelles allaitantes. Le maintien du poids des femelles allaitantes et l'augmentation en simultanée du poids des chevreaux s'expliquerait par l'augmentation de la consommation

de pâturage par la femelle et l'augmentation possible de la production de lait ou la simple augmentation de consommation de pâturage par les chevreaux (Yiakoulaki et al., 2007).

Tableau 1.6 Effet de la gestion des pâturages selon la charge animale faible (F), modérée (M), élevée (E), ou élevée avec accès à un pâturage à la dérobée (D), sur le poids des femelles et le gain moyen quotidien (GMQ) des femelles et des chevreaux (Adapté de Yiakoulaki et al., 2007)

Paramètres	Gestion des pâturages				ET ^x	Contrastes		
	F	M	E	D		Linéaire	D vs F	D vs E
Poids femelle, kg								
Initial	40,9	42,9	45,0	40,2	1,74			
Final	44,5	41,5	40,9	40,0	1,14	0,10	0,06	
GMQ, g/j								
Femelle	47	-16	-54	-2	21,8	0,03		
Chevreaux	76	61	37	81	6,7	0,02		0,01

^x Erreur type

1.3.2.2 Pâturage et concentrés

Il est possible de supplémenter les animaux au pâturage. Dans ce cas, on peut observer parfois une substitution de la CVMS sous forme de pâturage par les concentrés offerts sans augmentation de la CVMS totale. Dans une étude menée avec des chèvres, un premier groupe d'animaux recevaient exclusivement un pâturage, les chèvres du second groupe recevaient de l'orge (88 g/j) en plus du pâturage et le dernier groupe recevait en plus du pâturage, la même quantité d'orge sur laquelle on avait vaporisé de l'urée. La CVMS sous forme de pâturage a diminué pour être remplacée par l'orge ou l'orge et l'urée, alors que la CVMS totale est restée semblable. Selon les auteurs, l'absence d'effet sur la CVMS suggère que i) le contenu en azote du pâturage n'était pas limitant ou ii) le synchronisme entre l'énergie et l'azote apportée avec la supplémentation d'orge n'était pas obtenu (García et al., 1995). Ainsi, la consommation d'orge ne permettait pas un meilleur synchronisme énergie-protéine dans le rumen ce qui aurait alors entraîné une augmentation de la CVMS totale des chèvres.

Un GMQ significativement inférieur a été observé chez des agneaux au pâturage avec une gestion de pâturage en bande comparé à des agneaux alimentés avec de l'herbe fraîche récoltée dans les mêmes parcelles ou à des agneaux recevant des concentrés et un foin de bonne valeur nutritive selon un rapport fourrage-concentré de 40-60%, et à des agneaux recevant des concentrés à volonté (Jacques et al., 2011). Dans une autre étude

menée avec des moutons, Kiesling et Swartz (1997) ont comparé les performances et l'effet sur la carcasse d'agneaux de ration avec i) un pâturage composé de pois à vache (*Vigna unguiculata*) (3 agneaux/ 0,2 ha), ii) un pâturage composé de sorgho (*Sorghum sudanese*) (3 agneaux/ 0,2 ha), iii) un concentré (16% PB) contenant du maïs et du TS servi à l'intérieur avec du foin de dactyle (3 agneaux/ 3,6 m²) ou iv) un concentré (16% PB) contenant du maïs et des graines de coton accompagné de foin de dactyle (3 agneaux/ 3,6 m²). Comparé aux autres agneaux, ceux qui consommaient le pois à vache ont obtenu des résultats supérieurs pour ce qui est du gain total, du poids d'abattage, du rendement carcasse et de la surface de l'œil de longe. L'alternative du pois à vache semble donc intéressante. Par contre, il est important de souligner que les animaux élevés aux concentrés recevaient une quantité limitée d'aliment soit 2,7 kg/j de supplément et 4 kg/j de foin de dactyle et que celui-ci est reconnu pour sa faible appétence. De plus, la CVMS des animaux et la valeur nutritive des fourrages servis n'étaient pas divulgués dans l'article.

Des avancées technologiques récentes permettent une meilleure compréhension du comportement des chèvres au pâturage (Goetsch et al., 2010) en ce qui a trait, entre autres, à l'évaluation de la CVMS, à leur déplacement et à leurs activités de jour comme de nuit, et à leurs dépenses énergétiques. Ces nouveaux outils encouragent certainement la planification de nouvelles expériences avec des caprins au pâturage permettant par le fait même de mieux documenter le sujet.

1.4 Rendement et qualité de la carcasse

Il a jusqu'ici été question des différentes alternatives alimentaires et de leurs effets sur les performances des chevreux. Par contre, il faut aussi s'attarder aux paramètres qui influencent la qualité de la carcasse et de la viande produite afin d'avoir un portrait global de la situation.

Les manipulations subies par les animaux avant l'abattage et celles de la carcasse après l'abattage ont un impact sur la qualité de la viande produite. Le chargement, le transport, le déchargement et l'attente des animaux à l'abattoir sont des activités

susceptibles de causer un stress à l'animal (Ferguson et Warner, 2008). Une fois à l'abattoir, les animaux sont placés dans des aires d'attente et sont abattus le jour même ou le lendemain selon l'horaire et selon différentes méthodes. Lors de l'abattage, les animaux sont dirigés dans un corail. Après la désensibilisation, l'animal est saigné. Ensuite, la carcasse est dépouillée de sa peau, des pieds, de la tête et des viscères. Selon les abattoirs, les reins ainsi que le gras périrénal peuvent demeurer avec la carcasse qui est ensuite suspendue et refroidie dans une chambre froide maintenue à 4°C.

Le rendement de la carcasse représente le ratio du poids de la carcasse, obtenu à la fin de la chaîne d'abattage, en fonction du PV de l'animal. Par contre, cette proportion ne nous renseigne pas sur la qualité du produit obtenu. En effet, une carcasse plus grande et donc plus lourde qui mène à un rendement plus grand n'est pas nécessairement désirée par le consommateur ou le transformateur. Le poids de la carcasse peut être influencé par les pratiques mises en place à l'abattoir. Comme reporté précédemment, le fait de conserver les reins et une partie du gras à l'intérieur de la carcasse, comme cela se fait parfois chez la chèvre, augmente le poids de la carcasse. Par contre, il est possible à l'inverse, que du gras sous-cutané soit retiré sur la chaîne d'abattage si la carcasse est jugée trop grasse. Ceci fait que selon les pratiques d'abattage, le rendement carcasse chez la chèvre varie généralement entre 39 et 52 % (Kadim et Mahgoub, 2012a). Néanmoins, il faut garder en tête que ce rendement n'est que de 40% pour un chevreau Boer de 10 kg mais peut aller jusqu'à 56% pour un mâle entier de plus de 40 kg. Le poids de la carcasse est aussi influencé par le moment où il est noté. En effet, le poids de la carcasse peut être mesuré immédiatement après l'abattage, on parle dans ce cas de poids chaud. La carcasse perdra du poids par évaporation lors du refroidissement. Les pertes de poids lors du refroidissement peuvent représenter jusqu'à 3% pour des carcasses de chevreaux de moins de 35 kg (Simela et al., 2000, cité par Webb et al., 2005).

Le poids de l'animal avant l'abattage a aussi un effet sur le calcul du rendement carcasse. Le délai entre la mesure du poids final et l'abattage doit être le même pour tous les animaux et le plus court possible. Généralement, le poids de l'animal à jeun est utilisé afin de minimiser l'impact du poids du contenu digestif sur le rendement carcasse.

D'ailleurs, une période de jeûne permet d'économiser des aliments à la ferme, de diminuer les déchets à l'abattoir, d'améliorer la saignée à l'abattoir et de minimiser les sources de contaminations de la viande lors de l'abattage. Par contre, une période prolongée de jeûne augmente les pertes de rendement carcasse et est questionnable au point de vue du bien-être animal (Beattie et al., 2002). En effet, le contenu du système digestif peut influencer ce poids final (Kadim et Mahgoub, 2012a). Les animaux élevés au pâturage ont un contenu digestif généralement plus élevé que les animaux recevant des concentrés (Lawrence et al., 2012). En effet, pour une même CVMS, le temps de rétention est plus long pour une ration plus fibreuse comparé à une ration à base de grain (Warmington et Kirton, 1990). Ainsi, le rendement de la carcasse pour des animaux alimentés au pâturage pourrait être diminué à cause de la perte de poids plus importante due au contenu du système digestif. Dans le cas où on compare des animaux élevés au pâturage à des animaux recevant des concentrés, il est donc possible d'utiliser la mesure de poids vif vide (PVV), qui représente le PV de l'animal duquel on soustrait le poids du contenu du système digestif. Dans une étude réalisée avec des chevreaux croisés Boer, le rendement carcasse des chevreaux ayant accès à la luzerne a été supérieur à celui de ceux alimentés avec le dactyle alors que le trèfle rouge a permis l'atteinte de valeurs intermédiaires (Turner et al., 2014). Selon les auteurs, la luzerne et le trèfle rouge avaient des teneurs unités nutritives totales et en protéines plus élevés que celui du dactyle. Dans un même ordre d'idées, des chevreaux croisés Boer élevés au pâturage en gestion extensive ont eu un rendement carcasse significativement inférieur à celui des chevreaux recevant des concentrés (Ryan et al., 2007). Ainsi, le niveau de supplémentation ou de concentrés dans la ration, ainsi que la gestion du pâturage et de son contenu, influencent le rendement carcasse. En plus du régime alimentaire, la CVMS influence aussi ce paramètre. En effet, des chevreaux nourris à volonté ont eu un rendement carcasse significativement plus élevé comparés à ceux subissant une restriction alimentaire de l'ordre de 25% ou de 50% de leur CVMS (Martins et al., 2014). Bien sûr, la CVMS inférieure signifie aussi un apport moindre en nutriments pour supporter le gain.

Tout comme le rendement, la qualité de la carcasse de l'animal varie. Elle est influencée par le poids de la carcasse, le sexe, la race et l'alimentation reçue (Kadim et

Mahgoub, 2012a). L'âge peut aussi faire varier la qualité de la carcasse évaluée par la proportion de muscle et de viande produite. En fait, plus l'animal vieillit plus le dépôt de tissu adipeux augmente et influence à la baisse la proportion de muscle (Lawrie et Ledward, 2006). Ainsi, dans une étude comparant des chevreaux de race Boer et Kiko abattus après des périodes d'engraissements de longueurs différentes (29, 56 et 85 j), Solaiman et al. (2012) concluent que l'âge optimal lors de l'abattage pourrait être différent selon la race des chevreaux afin d'atteindre un ratio muscle:gras satisfaisant pour le consommateur. La ration servie aux chevreaux a un impact sur l'accumulation de tissus graisseux et donc le ratio muscle:gras. En effet, des chevreaux de race Black ont accumulé une quantité de gras significativement plus élevée dans le gigot lorsqu'ils ont reçu une ration à teneur élevée en énergie comparé à une ration à faible teneur en énergie (Abdullah et Musallam, 2007). Ces mêmes auteurs se sont aussi penchés sur l'effet du sexe sur la composition de la carcasse. Ils ont observé que la longe des mâles intacts obtenait un ratio muscle:gras supérieur à celui des castrats recevant la même ration. Par contre, les résultats ne sont pas unanimes à ce sujet. En effet, dans une étude de Johnson et al. (1995), les femelles avaient accumulé la même quantité de gras et de protéine que les castrats et les mâles. Puisque la composition de la carcasse était semblable chez des chevreaux de race Boer ou Spanish qui recevaient la même ration (Ngwa et al., 2009), la race semble avoir moins d'influence que le sexe sur ce paramètre. Même chose pour les races Boer croisés, Moxotó et Canindé qui ont obtenu les mêmes rendements de découpe pour ce qui est de la longe, du gigot et de la poitrine, lorsqu'alimentés avec la même ration (Martins et al., 2014).

Lorsqu'il est question de qualité de la carcasse, cela peut aussi sous-entendre que l'on fait référence aux coupes que l'on peut en tirer. Les coupes de caprin qui sont disponibles aux consommateurs sont semblables à celles que l'on réalise sur les carcasses de mouton, bien qu'il existe une méthode de découpe primaire spécifique à la chèvre (Colomer-Rocher et al., 1987). Il faut aussi savoir que les préférences en terme de découpe varient entre consommateurs et sont d'origine culturelles (Webb et al., 2005). Il en va de même pour ce qui est du poids d'abattage. Par exemple, en France ou en Amérique latine, le chevreau de lait que l'on nomme « capretto » est jugé comme étant un délice, entre

autres, pour sa saveur délicate alors qu'en Inde, le chevreau âgé de plusieurs mois est préféré pour son goût caractéristique plus soutenu (Dhanda et al., 1999b).

1.4.1 Croissance et développement de la chèvre

La croissance est définie selon Butterfield (1988) comme étant l'augmentation de la taille de l'animal. Cette augmentation peut se faire par hypertrophie, hyperplasie ou par accrétion, qui représente une augmentation de matériel structural non-cellulaire (Judge, 1989). Le développement est associé au changement de proportion et de conformation de l'animal lié à la croissance (Butterfield, 1988). En effet, le poids et les proportions d'os, de muscle, de tissu adipeux, et de viscères en fonction du PV de l'animal, évoluent selon sa croissance et son développement jusqu'à ce que l'animal devienne mature (Lawrence et al., 2012). Un animal est jugé mature quand il a atteint le poids stable et une proportion définie de gras à l'équilibre du point de vue nutritionnel (Butterfield, 1988). Le poids à maturité du mâle Boer est de 115 kg, une des races de chèvre les plus lourdes avec la race Saanen dont le poids à maturité peut atteindre 120 kg et la race Alpine à 100 kg (Warmington et Kirton, 1990). Selon Ngwa et al. (2009), les chevreaux de race Boer et Spanish auraient un stade de maturité équivalent, en terme de composition des tissus, au cours de la période de croissance allant de l'âge de 4 jusqu'à environ 11 mois. Par contre, les auteurs anticipent que sur une plus longue période d'engraissement, les chevreaux Boer, reconnus comme ayant une croissance plus rapide, auraient une accumulation de gras et une concentration énergétique plus grande dans leurs tissus que les chevreaux de race Spanish.

Les chèvres n'ont pas, en général, un GMQ important comparé par exemple à celui du mouton (Van Niekerk et Casey, 1988). Par contre, les chèvres de race Boer, faisant l'objet de sélection pour plusieurs paramètres en lien avec la production de viande, comme par exemple le GMQ pré-sevrage, le GMQ post-sevrage, la masse musculaire et la rusticité, peuvent atteindre des GMQ de plus de 250 g/j (McGregor, 1984). Généralement, les chevreaux sont sevrés à l'âge de 90 jours. Le GMQ pré-sevrage et le poids au sevrage du chevreau de race Boer sont donc de bons indices de croissance et sont influencés en grande partie par la mère. Par contre, il semble que le GMQ réalisé plus tard par les chevreaux est peu ou pas influencé par la génétique de la mère (Zhang et al., 2009). De plus, le GMQ des

caprins semble diminuer à mesure que l'animal approche de la maturité (Warmington et Kirton, 1990). Le GMQ est en fait une augmentation du PV de l'animal qui ne nous renseigne pas sur la nature de l'accrétion obtenue. En croissance, les nutriments ingérés par l'animal vont se diriger vers les tissus qui constituent les organes vitaux pour ensuite permettre la croissance des os et des muscles et un dépôt de gras (Judge, 1989).

1.4.1.0 Organes

Les organes internes de la carcasse sont, dépendamment des pratiques culturelles, parfois très prisés. Par exemple, au Niger, la chèvre peut être préparée en étant grillée entière, avec la peau, les pattes, la tête et les organes internes toujours présents, avant que chaque composant ne soit consommé (Aduku et al., 1991). Les organes internes regroupent généralement le sang, le cœur, les reins, le foie, le système digestif, le système pulmonaire et la rate. L'étude des organes est, comme le souligne Liméa et al. (2009), très importante puisque plus de 50% de l'énergie nécessaire à l'entretien leur est consacrée. Le poids des organes en fonction du PV de l'animal semble varier selon la maturité de l'animal mais aussi selon l'apport alimentaire. Par exemple, il a été démontré que pour le foie et le système digestif, une augmentation de l'apport alimentaire au-delà du besoin d'entretien menait à l'augmentation des débits sanguins vers ces organes et aussi à une augmentation de l'activité métabolique de ces tissus (Ortigue, 1991). L'augmentation de poids du système digestif en lien avec une augmentation de la CVMS pourrait être due à une augmentation de poids de l'épithélium des différentes parties, soit du rumen, du petit et du gros intestin. Ce changement de poids, pour le foie comme pour le système digestif, a été expliqué comme étant lié à l'hypertrophie cellulaire mais aussi à un changement des taux de synthèse et de dégradation protéique (Ortigue et Doreau, 1995). De plus, il a été démontré chez le mouton recevant des rations à base de fourrage présentant une qualité croissante, que l'augmentation de l'activité métabolique liée à ces organes et à l'augmentation de leur masse en fonction de la CVMS causait une diminution de l'apport aux autres organes périphériques (Kouakou et al., 1997). Chez 40 chevreaux de race Créole, l'ajout d'une quantité croissante de concentrés à la ration de base (0, 40, 240 et 340 g/j) a influencé à la baisse le poids du foie et à la hausse celui du réticulo-rumen. La CVMS des fourrages, ayant été plus grande pour les chevreaux ne recevant aucun concentré,

expliquerait l'accrétion des tissus du réticulo-rumen. Le poids plus faible du foie serait causé par une activité métabolique plus faible avec une ration ne comportant que les fourrages tropicaux servis (Liméa et al., 2009). Une étude réalisée avec des chevreaux Damascus n'a pas permis de constater l'augmentation attendue du poids des viscères par une ration à base de concentrés servie à volonté comparé à une ration à base de pâturage. Par contre, Yakan et al. (2016) mettent eux-mêmes les lecteurs en garde puisque l'ajout d'un supplément de 700 g/j servi aux chevreaux qui pâturaient pourrait avoir biaisé l'effet de la ration basée sur le pâturage.

Selon une étude de Dhanda et al. (1999a) réalisé avec des chevreaux de plusieurs croisements (Boer × Angora, Boer × Saanen, Sauvage × Sauvage, Saanen × Angora et Saanen × Sauvage), le génotype de l'animal n'aurait pas d'effet sur le poids des viscères. Le même constat a été fait pour des chevreaux de race Boer et Kiko (Solaiman et al., 2011). Alors que le poids du sang, des poumons, du foie et du cœur se sont avérés les mêmes, indépendamment de la race des chevreaux, le poids de la tête et de la peau en proportion du PVV de l'animal était supérieur pour les chevreaux de race Angora comparé aux chevreaux de race Spanish (Riley et al., 1989).

1.4.1.1 Os

Les chèvres se classent en 3 grandes catégories pour ce qui est de leur dimensions en relation avec leur maturité. Il y a les races naines qui atteindront un poids de 25 kg entre 15 et 24 mois et les petites races qui atteindront 15 à 30 kg à l'âge de 15 mois (Kadim et Mahgoub, 2012a). La race Boer fait partie des grandes races de chèvre avec un poids de 55 kg au même âge. Le ratio muscle:os du chevreau Boer est de 4.7:1 (Van Niekerk and Casey, 1988). Les races utilisées spécifiquement pour la production de viande ont des proportions d'os semblables. En effet, dans une étude comparant des chevreaux Boer à des chevreaux Kiko, ni la race ni l'âge à l'abattage n'a eu d'effet sur le pourcentage d'os de la demi-carcasse (Solaiman et al., 2012). Pour une même ration à base de concentrés, les chevreaux de race Boer × Spanish et les chevreaux Spanish ont eu la même proportion d'os dans la carcasse (Ngwa et al., 2009).

1.4.1.2 Muscle

La croissance musculaire de la chèvre est similaire à celle des autres espèces (Webb et al., 2012). Plusieurs muscles peuvent être étudiés et caractérisés selon l'usage et les besoins du consommateur. Le *longissimus dorsi* (LD) est souvent la référence en ce qui a trait à la littérature surtout chez la chèvre car très peu d'information est publiée pour d'autres muscles comme le biceps femoris (BF), le semitendineux (ST), le semimembraneux, ou l'infraspinatus (Kadim et al., 2003; Ebrahimi et al., 2012). La surface de l'œil de longe, qui est en fait la mesure de la surface du LD entre la douzième et treizième côte, varie selon la race. En effet, les chevreaux de race Jabal Akdhar ont un œil de longe significativement plus grand que celui des chevreaux Batina, deux races retrouvées en Oman, un pays voisin de l'Arabie saoudite et du Yémen (Kadim et al., 2003). Par contre, les chevreaux Boer et Kiko ont une surface de l'œil de longe et une proportion de muscle semblables (Solaiman et al., 2011). Les chevreaux Boer abattus avant le début de la période d'engraissement à un poids de 24,7 kg ont eu une surface d'œil de longe semblable à ceux abattus à 34,7 kg après 85 jours en engraissement (Solaiman et al., 2012). Dans ce cas, l'âge et le poids d'abattage n'ont pas eu d'effet sur la surface de l'œil de longe. Par contre, on peut penser que, si la comparaison avait été réalisée sur une plus longue période, des différences pourraient apparaître puisque comme stipulé plus haut le poids à maturité d'un mâle Boer peut atteindre 115 kg. Pour ce qui est du gain en protéines, race et alimentation vont parfois de pair. En effet, le gain en protéines, mesuré grâce à des abattages comparatifs, de chevreaux $\frac{3}{4}$ Boer $\times$ $\frac{1}{4}$ Spanish comparé au gain de chevreaux Spanish a été similaire lorsque les animaux recevaient une ration de foin coupé grossièrement, servi à volonté, et couplée à un supplément contenant du TS et du maïs moulu. Par contre, le gain en protéines a été supérieur pour les chevreaux croisés comparés aux chevreaux de race pure lorsqu'ils étaient alimentés avec une ration contenant 50% de concentrés (Ngwa et al., 2009).

1.4.1.3 Gras

La carcasse de chèvre est intéressante puisque le gras qui la compose est facile à retirer au moment de l'abattage. En effet, les lipides chez la chèvre sont surtout accumulés sous la forme de tissu adipeux à l'intérieur de la carcasse et la viande produite est maigre

(Mahgoub et Lodge, 1998). Généralement, le gras est déposé d'abord dans la cavité abdominale autour des reins et du système digestif (gras interne), puis de façon périphérique sous la peau (gras sous-cutané), entre les muscles, entre les muscles et les os (gras intermusculaire) et finalement à l'intérieur des muscles (gras intramusculaire) (Scheeder, 2006). Les tissus adipeux dits de réserve, comme le gras périrénal, et le gras intramusculaire sont formés majoritairement de TAG et diacylglycérols alors que les phospholipides sont plutôt retrouvés au sein des membranes des cellules et des organelles de tous les autres tissus (Rule, 2009). Chez le ruminant, les TAG et les diacylglycérols représentent respectivement 81-92% et 1-6% des lipides accumulés dans les tissus adipeux (Christie, 1981). Les 3 AG des TAG ou les 2 AG des diacylglycérols peuvent varier selon l'alimentation, le tissu où ils sont déposés, et les taux de synthèse et d'hydrolyse des AG (Rule, 2009). Les 2 AG des phospholipides peuvent eux aussi varier mais sont généralement plus insaturés, que ceux qui forment les AG accumulés dans les dépôts graisseux, afin d'assurer la fluidité des membranes dont ils font partie.

1.4.1.4 Gras interne

Chez la chèvre, le gras se dépose, surtout à l'intérieur de la carcasse, et tardivement comparé aux autres ruminants domestiqués (Webb, 2014). De plus, les chevreaux déposent plus de gras en proportion du PVV à mesure que la période d'engraissement s'allonge (Ngwa et al., 2009). L'accumulation de gras à l'intérieur de la cavité abdominale a permis à la chèvre de survivre dans des environnements difficiles comme les déserts (Alexandre et Mondonnet, 2005). En effet, les races de chèvres adaptées aux zones arides et semi-arides vont mobiliser les graisses accumulées pour survivre au manque de nourriture (McMillin et al., 2012). Le dépôt de gras interne chez la chèvre est influencé par la ration et le GMQ, comme chez les autres ruminants. Dans une méta-analyse ayant pour objectif de comparer l'influence de l'alimentation avec des concentrés par rapport à l'alimentation à base de pâturage sur la carcasse et le gain chez les ruminants, Agastin et al. (2014) ont relevé 2 éléments importants en ce qui a trait au contenu en gras de la carcasse. D'abord, la carcasse des animaux recevant des concentrés avait une proportion en gras de 4% supérieure à celle de ceux nourris au pâturage. Aussi, les auteurs ont démontré que les animaux ayant un GMQ supérieur accumulaient plus de gras dans la carcasse que ceux ayant un GMQ

inférieur et ce indépendamment de l'espèce. Récemment ces affirmations ont été corroborées chez le chevreau de boucherie. Ces derniers de race Boer ont eu un GMQ supérieur à celui des chevreaux Kiko et parallèlement l'épaisseur de gras à la 12^e côte, le poids du gras de la carcasse et la proportion de gras de la carcasse ont suivi la même tendance (Solaiman et al., 2011).

Des chevreaux Mubende et croisés Mubende × Boer élevés grâce à une ration à base de pâturage, ont accumulé 3 fois moins de gras périrénal et omental et 2 fois moins de gras scrotal que des chevreaux recevant ce pâturage supplémenté de concentrés à base de son de maïs et de tourteau de graines de coton (Asizua et al., 2014). Le même constat a été observé pour des chevreaux Spanish et Boer, dont le dépôt de gras interne, dans ce cas le gras des viscères et le gras périrénal, était 4 fois plus élevé lorsque les chevreaux recevaient 50% de concentrés plutôt que 33% (Ngwa et al., 2009). Dans le même ordre d'idée, des chevreaux Créoles, indigènes aux Caraïbes, ont eux aussi vu leur accumulation de gras interne augmentée avec l'ajout de concentrés à la ration (Liméa et al., 2009).

Le profil en AG du gras interne et sous-cutané évolue avec le jeune ruminant. En effet, lors de la naissance, les tissus adipeux de veaux et d'agneaux contiennent 52 à 66% d'acide oléique (18:1 *n*-7), de l'acide palmitique (16:0) et de l'acide stéarique (18:0) (Christie, 1981). Par contre, après seulement quelques jours, selon la composition du lait de la mère, le profil en AG des jeunes se modifie. Il en est de même lorsque le jeune ruminant accède à des fourrages ce qui contribue à établir la flore ruminale et donc permet la biohydrogénation des lipides ingérés. La comparaison entre le profil en AG du gras interne (périrénal et pelvien) de chevreaux Payoya et celui du gras intramusculaire contenu dans le LD permet de faire des constatations intéressantes. En effet, les gras internes comparés aux dépôts intramusculaires ont en moyenne une proportion plus grande d'AG saturés (61 vs. 49,6 %) que d'AG insaturés (39 vs. 50,4%) et beaucoup moins de AGPI (3,2 vs 12,8% ; De la Vega et al., 2012).

1.4.1.5 Gras sous-cutané

La répartition des tissus adipeux de la carcasse de chèvre est différente de celle du mouton bien que la proportion de gras au total peut être semblable. Par exemple, pour une carcasse de chèvre Boer contenant 21% de gras total, 6,7% sont des gras sous-cutané alors que pour la même proportion de gras total, le mouton de race Dorper dépose 12,7% et le mouton de race Mérino 10,4% de gras sous-cutané (Casey et al., 2003). Même quand les chèvres reçoivent une ration à base de concentrés, il est difficile d'obtenir une accumulation de gras sous-cutané. De plus, cette accumulation atteint rarement l'épaisseur minimale recommandée de 4 mm, ce qui fait de la chèvre une bonne candidate pour le « cold-shortening » (Webb et al., 2005), phénomène dont il sera question plus loin. L'accumulation de gras sous la peau semble être influencée par l'alimentation mais aussi par la race de l'animal (Solaiman et al., 2011). Dans une étude comparant des chevreaux croisés Spanish $\times$ Boer à des chevreaux de race Spanish, Oman et al. (1999) ont observé une accumulation plus importante de gras dorsal (mesuré à la 12^e côte) pour les chevreaux croisés recevant une ration à volonté contenant 80% de concentrés comparé aux chevreaux de race pure. Cette accumulation a été semblable entre les 2 génotypes lorsque les chevreaux étaient alimentés exclusivement au pâturage. Par contre, tous les animaux recevant des concentrés ont accumulé plus de gras que ceux au pâturage.

Certains traitements alimentaires semblent avoir moins d'effet sur le profil en AG du gras sous-cutané. Le profil du gras sous-cutané de l'épaule de chevreaux élevés sous la mère au pâturage et celui de chevreaux recevant du lait de remplacement et du foin de luzerne contenait plus de 18:0 que celui de chevreaux sous la mère et recevant aussi du foin de luzerne et de la paille. Par contre, la proportion des autres AG dont le 16:0, le 18:1c9 et les AGPI sous forme d'acide linoléique (18:2 c9c12; AL) a été semblable pour tous les chevreaux indépendamment du traitement alimentaire (Zurita-Herrera et al., 2013). Aussi, lorsque la mouture des grains est trop fine ou que la ration contient essentiellement des concentrés, la qualité des carcasses diminue chez la chèvre comme chez le mouton, résultat du dépôt de TAG à chaîne impaires et ramifiées (Ørskov, 1979). En effet, le gras sous-cutané de chevreaux alimenté à volonté avec une ration contenant 90% d'orge entière et 10% d'un mélange de farine de poisson et de vitamines et minéraux, contenait 3,7 fois plus

de 15:0, de 17:0 et de 17:1 c9 lorsque comparé au gras des chevreaux du groupe témoin. Une quantité d'AG à chaîne impaires et ramifiées établie par Duncan et al. (1976) comme étant anormalement élevée comparée aux valeurs connues pour l'espèce. Ce problème, s'il en est un, dépend de la couverture de gras et donc de l'âge et de la maturité de l'animal.

1.4.1.6 Gras intermusculaire

Chez la chèvre, la proportion de gras intermusculaire (28-41%) est supérieure à la proportion de gras sous-cutané (15-25%; Kadim et Mahgoub, 2012a) et tend à augmenter avec l'âge. Le pourcentage de gras intermusculaire varie selon la découpe. En effet, dans une étude réalisée avec des chèvres de race Black, l'accumulation de gras intermusculaire dans le gigot et la partie postérieure de la longe a été supérieure avec les rations dont la densité énergétique était plus grande. Ce qui n'a pas été observé dans l'épaule ni dans la partie antérieure de la longe. Par contre, la castration des chevreaux n'a pas eu d'effet sur la proportion de gras intermusculaire indépendamment de la découpe (Abdullah and Musallam, 2007).

1.4.1.7 Gras intramusculaire

La proportion de gras intramusculaire augmente avec l'âge mais varie selon les différents muscles. La proportion de gras sous-cutané et intramusculaire chez le chevreau de race Botswana est passée de 10,8% pour des chevreaux ayant des dents de lait à 14,8% pour des chevreaux ayant 6 incisives (Owen et al., 1978). Par exemple, pour un chevreau avec 6 incisives, le BF contient 2,37% de gras alors que le LD (3,09%) et le psoas major (3,34%) en contiennent une plus grande proportion (Owen et al., 1978). Mentionnons que l'âge à l'apparition de la troisième paire d'incisives varie beaucoup, soit entre 22 et 32 mois chez la chèvre (Mc Gregor et al., 2012)

À cause de son faible contenu en gras intramusculaire, la viande de chèvre est jugée moins juteuse que celle du mouton (Webb et al., 2005). Le persillage rend la viande plus juteuse et pourrait avoir un certain effet sur la tendreté de celle-ci. Par exemple, chez le porc et le bœuf, un contenu minimal de gras intramusculaire entre 2.5 et 3% assurerait une

viande tendre (Dikeman, 1996). Même si cette caractéristique influe sur la tendreté chez le mouton, d'autres paramètres sont jugés plus importants comme par exemple les conditions de refroidissement, la stimulation électrique et l'épaisseur de gras sous-cutané (Dikeman, 1996). Ces paramètres doivent aussi être contrôlés chez la chèvre puisque sa viande est encore moins persillée que celle du mouton (Walker et Hudson, 2014).

1.5 Qualité de la viande

Plusieurs définitions de la qualité de la viande existent puisque les attributs recherchés diffèrent selon l'usage qu'on en fait. Il est donc possible de définir une qualité liée à la consommation de la viande et une qualité liée à sa transformation (Webb et al., 2005). Par exemple, un consommateur qui se rend à l'épicerie pour faire l'achat d'une pièce de viande et un transformateur qui sélectionne la matière première dans la fabrication d'un saucisson n'ont pas les mêmes critères de décision. Il existe des mesures objectives et subjectives pour décrire la qualité de la viande, mais pour le consommateur, le goût et la valeur nutritionnelle sont synonymes de qualité (Webb et al., 2005). Selon ces mêmes auteurs, la qualité de la viande de chèvre est influencée par plusieurs caractéristiques dont la couleur, la jutosité, la flaveur et l'arôme, la tendreté, le potentiel glycolytique et le pH ultime (pHu). De plus, sa composition nutritionnelle, sa cuisson et sa transformation sont aussi des éléments importants à considérer.

Au Québec, le secteur de la viande caprine commercialise des chevreaux laitiers et des chevreaux de boucherie, de lait et léger, abattus entre 11 et 20 kg ainsi que des chevreaux moyens, au poids cible se situant entre 20 à 32 kg, qui sont recherchés par les communautés ethniques. Le consommateur québécois recherche la catégorie des chevreaux lourds qui peuvent atteindre de 32 à 45 kg de PV (MAPAQ, 2011). La mise en marché des chevreaux de boucherie et de la chèvre de réforme n'est pas structurée ce qui mène à une certaine hétérogénéité du produit.

1.5.1 Changement du muscle en viande

Le changement du muscle en viande se produit en trois grandes étapes qui débutent dès l'abattage (Ouali et al., 2006). Lors de la première étape qui précède la rigidité cadavérique, l'exsanguination cause l'arrêt de la circulation sanguine. Cela implique un manque d'oxygène, de glucose et d'AG se rendant à la cellule musculaire et donc la fin de la respiration mitochondriale permettant la formation d'ATP par la voie aérobie (Ertbjerg et Puolanne, 2017). Suite aux dommages causés au cerveau, une vague de contractions musculaires est initiée. La créatine phosphate peut régénérer l'ATP pour un certain temps. Par contre, quand celle-ci atteint un niveau critique, l'ATP doit venir de la voie anaérobie (Ertbjerg et Puolanne, 2017). De plus, le manque de glucose et d'AG, carburant pour la formation de molécules d'ATP par la voie aérobie, entraîne la génération d'ATP par la voie de la glycolyse. Ainsi, le glycogène accumulé dans les muscles de l'animal est transformé en pyruvate puis en acide lactique afin de former de l'ATP. Comme l'énergie générée par la glycolyse forme 4 ATP plutôt que 30 grâce aux mitochondries, le muscle est bientôt en déficit énergétique. L'accumulation d'acide lactique dans le muscle cause la chute du pH du muscle. C'est alors que la rigidité cadavérique commence à s'installer. Cette seconde étape se divise elle aussi en 3 grandes sous-étapes soit la phase de délai, la phase de mise en place et la phase d'achèvement (Greaser et Guo, 2012). Dans la phase de délai, l'ATP produit grâce à la glycolyse permet à l'actine et à la myosine, qui forment le complexe actinomyosine lors de la contraction, de se relâcher. En fait, l'ATP permet de pomper le calcium dans le réticulum sarcoplasmique et la mitochondrie afin de maintenir le gradient de concentration du calcium. Même si le muscle manque d'oxygène et que des déchets commencent à s'accumuler, étant donné que la circulation n'est plus présente, le muscle n'est pas encore raide. Par contre, la phase de mise en place commence. Lors de cette phase, l'ATP commence à manquer car le glycogène s'épuise. Du calcium est relâché massivement dans le sarcoplasme et ne peut être pompé ce qui augmente la contraction puisque la membrane musculaire est dépolarisée. Les liens entre l'actine et la myosine ne peuvent plus être totalement libérés et l'extensibilité du muscle diminue. Finalement, lors de la phase d'achèvement, le muscle n'a plus aucune extensibilité. Il y a plusieurs liens entre les filaments d'actine et de myosine et il n'y a plus d'ATP disponible pour un relâchement possible. La disparition de l'ATP n'est pas uniforme dans un même muscle de

même que parmi les divers muscles de la carcasse; elle dépendrait du contenu initial en glycogène du muscle (Ertbjerg et Puolanne, 2017). Ainsi, certains muscles dans la carcasse et une région précise d'un muscle pourront avoir perdus leurs réserves d'ATP alors que ce n'est pas le cas ailleurs dans l'animal. Lors de l'étape d'attendrissement, la viande ainsi formée va regagner en tendreté grâce à la dénaturation des protéines du muscle. En effet, le calcium qui n'a pu être pompé permet l'activation et la libération d'enzymes. La libération d'enzymes permet cette dénaturation et donc l'attendrissement de la viande. L'activité de certaines enzymes dépend aussi du pH de la viande et donc si le pH n'est pas adéquat ou dans les limites de ce que l'on devrait normalement retrouver, il se peut que la dénaturation des protéines soit plus ou moins intense avec des conséquences directes sur la qualité de la viande finale (Ertbjerg et Puolanne, 2017).

1.5.1.0 Composition

La composition de la viande de chèvre varie selon la race, l'âge, le sexe, l'alimentation et le muscle (Kadim et Mahgoub, 2012b).

1.5.1.0.1 Eau et protéine

La composition en eau de la viande de chèvre est plutôt stable. En effet, selon quelques études effectuées sur le LD, la teneur en eau de la viande est d'environ 75%, alors que la teneur en protéines varie (Tableau 1.7; Lee et al., 2008; Mushi et al., 2009; Najafi et al., 2012; Qwele et al., 2013; Zurita-Herrera et al., 2013; Lopes et al., 2014; Yakan et al., 2016). La teneur en gras de la viande, selon ces mêmes études, se situe généralement entre 2 et 3%. La teneur en gras est inversement corrélée avec la teneur en eau de la viande (Callow, 1947). La majorité de l'eau, soit 85%, qui se trouve dans le muscle se situe à l'intérieur des myofibrilles. L'eau est alors associée aux protéines, immobilisée par les protéines, surtout l'actine et la myosine, ou encore libre et très facilement mobilisée (Pearce et al., 2011). Certaines pertes en eau sont donc la résultante de l'installation de la rigidité cadavérique et de la chute du pH. D'abord, la chute de pH crée un appel d'eau dans la cellule pour rééquilibrer l'osmolarité. Ensuite, la contraction des fibres musculaires ainsi que l'atteinte à la structure de l'actine et de la myosine permettent des pertes en eau puisque

les membranes sont aussi endommagées (Pearce et al., 2011). Ainsi, on peut mesurer les pertes par évaporation (Lawrie et Ledward, 2006), les pertes d'eau expulsée lors de l'entreposage et les pertes lors de la cuisson (Brewer, 2012).

Tableau 1.7 Composition moyenne en eau, en protéine brute (PB) et en gras du muscle *longissimus dorsi* (LD) de différentes races de chèvres.

Études	Race	Âge (mois)	Poids (kg)	Eau (%)	ET ^x	PB (%)	ETM	Gras (%)	ETM
Mushi et al., 2009	Small East African × Norwegian	12	20,4	74,2	0,5	23,4	0,7	0,5	0,1
Zurita-Herrera et al., 2013	Murciano-Granadina	38 j	7	75,4	0,2	21,7	0,6	1,8	0,1
Lee et al., 2008	Boer×Spanish	4	18	75,9	0,9	20,7	0,4	2,0	0,4
Najafi et al., 2012	Mahabadi	8	34	74,2	0,8	20,4	0,4	3,2	0,1
Qwele et al., 2013	Xhosa	11	20	74,8	0,4	29,4	0,4	2,0	0,2
Lopes et al., 2014	Canindé, Moxotó, F1Boer	7	23,6	75,8	1,1	17,2	1,3	2,1	0,2
Yakan et al., 2016	Damascus	-	29,8	75,7	0,8	19,1	0,9	2,8	0,2

^x Erreur type

1.5.1.0.2 Profil en acides gras intramusculaire

Les AG les plus importants en proportions dans le muscle sont le 16:0, le 18:1 c9, le 18:0 et l'AL. De plus, le gras intramusculaire de la chèvre aurait une teneur en AL supérieure à celui du mouton et du bœuf (Tableau 1.8; Park et Washington 1993).

Tableau 1.8 Composition en acides gras du gras intramusculaire et abdominal chez la chèvre, le mouton, le bœuf et le porc (Adapté de Park et Washington, 1993)

Source de gras	Acides gras			
	18:0	18:1 c9	18:2 c9c12	20:4 c5c8c11c14
Intramusculaire ^a				
Chèvre (LD)	16,6	42,2	10,3	3,96
Chèvre (BF)	14,7	39,0	10,8	4,03
Mouton (LD)	11,1	53,2	1,2	0,20
Bœuf (LD)	14,7	40,5	4,4	2,40
Porc	12,8	42,2	9,7	2,00
Abdominal				
Chèvre	29,1	32,0	7,6	—
Mouton	21,9	40,5	1,5	—
Bœuf	33,0	36,2	1,1	—
Porc	10,0	45,2	14,4	—

^aLD= *longissimus dorsi*, BF= *biceps femoris*

Plusieurs facteurs peuvent influencer le profil en AG de la viande dont la race, l'âge, le sexe, le muscle et le régime alimentaire (Banskalieva et al., 2000). Aussi, avec l'âge, la composition de l'animal change et la quantité de gras dans les muscles augmente (Wood et al., 2008). Il a été observé aussi que la proportion de 18:0 diminue et que la proportion de 18:1 c9 augmente lorsque la proportion de gras augmente dans la carcasse (Wood et Enser, 1997). En ce sens, lors d'une étude comparant des chevreaux Boer aux chevreaux indigènes à l'Australie, Werdi Pratiwi et al. (2006) ont observé que les profils en AG des chevreaux abattus à 5, 30 ou 60 kg étaient différents. En effet, avec le poids à l'abattage et donc par le fait même l'âge, les proportions de 14:0, de 18:0 et d'AL ont diminuées alors que les proportions de 16:0, 16:1 c9 et 18:1 c9 ont augmentés dans le LD des chevreaux, indépendamment de la race. Il faut souligner que les chevreaux de 5 kg étaient encore sous la mère et donc recevaient du lait contenant beaucoup d'acide myristique (14:0) et de 16:0. Les changements alimentaires liés au sevrage ont pu avoir un

effet sur les profils en AG des chevreaux. Dans cette même étude, les chercheurs notent une différence dans la teneur de quelques AG seulement [14:0, 16:0, 16:1 c9, et acide α -linolénique (18:3 c9c12c15; AAL)] dans le gras de la viande des chevreaux Boer et les chevreaux Australiens. Park et Washington (1993) ont transmis le même message alors que seulement les teneurs en 14:0, 16:0 et l'AL du gras ont été différentes entre les chevreaux de race Nubienne et Alpine.

Il est bien connu que les ruminants consommant des rations à base de fourrages voient le profil en AG de leur viande être enrichi en AAL et en AG oméga-3 (n-3) alors que ceux consommant une alimentation à base de concentrés déposent plus d'AL et d'AG oméga-6 (n-6; Enser et al., 1998). Ceci étant dû à la composition même des ingrédients de leur ration, les fourrages contenant plus d'AAL et les céréales plus d'AL (Wood et al., 2003). De plus, les profils en AG de LD échantillonnés chez des chevreaux et des moutons ont été différents alors que tous les animaux avaient accès au même pâturage à base de trèfle rouge, de trèfle blanc ou de dactyle (Turner et al., 2014). En effet, la proportion plus élevés d'AGPI de la viande de chevreaux comparés à celle de moutons serait la conséquence d'une sélection plus importante chez la chèvre pour éviter le trèfle blanc. Le trèfle rouge et le dactyle ferait diminuer la lipolyse dans le rumen et donc augmenter les AGPI pouvant s'en échapper (Turner et al., 2014). Des chevreaux Boer ayant reçu une ration à base de concentrés comprenant surtout du sorgho avaient une plus grande proportion d'AG insaturés, principalement des AGMI, comparé aux chevreaux recevant du pâturage. Les AG insaturés les plus importants dans la viande étaient le 18:1 c9, l'AL et le 20:4 c5c8c11c14. Il faut souligner que la viande des chevreaux au pâturage avait une proportion d'AGPI plus grande et environ 10 fois plus d'AAL que celle des chevreaux recevant des grains (Rhee et al., 2000).

L'ajout de graine de lin à la ration mène aussi à une augmentation des d'AAL et par le fait même des AG n-3 totaux dans le gras intramusculaire. Trois rations contenant soit 0, 10 ou 20% de graine de lin ont été comparées lors d'une période d'engraissement de 110 jours chez des chevreaux Boer croisés. Les effets de l'ajout de graine de lin sur le vieillissement de la viande ont été étudié par la prise de mesure de 1 à 7 jours suivant

l'abattage. Les proportions d'AAL et des autres AG n-3, comme le 20:5 c5c8c11c14c17, le 22:5 c7c10c13c16c19, et le 22:6 c4c7c10c13c16c19, dans le gras intramusculaire ont augmenté de façon linéaire avec l'incorporation de graine de lin à la ration. Par contre, la viande a été plus sensible à l'oxydation avec l'augmentation de la proportion de graine de lin dans la ration et le vieillissement de la viande (Tableau 1.9; Abuefatah et al., 2016).

Tableau 1.9 Teneurs en gras et en acides gras de la viande de chèvre produite à partir de diètes contenant différentes proportions de graines de lin (Adapté de Abuefatah et al., 2016).

	Rations ^x		
	L0	L10	L20
Gras (g/100g de viande)	2,63 ^b ± 0,14	3,85 ^a ± 0,38	4,06 ^a ± 0,69
Acides gras (mg/100g de viande)			
18:3 c9c12c15	13,52 ^c ± 1,53	89,51 ^b ± 6,93	135,24 ^a ± 16,83
20:5 c5c8c11c14c17	9,69 ^c ± 0,85	30,36 ^b ± 3,47	49,90 ^a ± 1,53
22:5 c7c10c13c16c19	7,65 ^c ± 2,04	22,94 ^b ± 2,64	43,95 ^a ± 3,40
22:6 c4c7c10c13c16c19	9,61 ^c ± 1,87	24,26 ^b ± 1,82	43,88 ^a ± 4,33
Total n-3	38,76 ^c ± 2,81	167,06 ^b ± 15,61	255,95 ^a ± 14,28

^x L0= ration ne contenant aucune graine de lin, L10= ration contenant 10% de graine de lin, L20= ration contenant 20% de graine de lin.

^{a,b,c} Les valeurs d'une même ligne suivies de lettres différentes sont différentes ($P < 0,05$).

L'ajout d'un supplément à la ration à base de fourrages influence aussi les profils en AG du LD des chèvres. Des chevreaux de race Caatinga au Brésil ont été alimentés avec des fourrages entre 9h00 et 16h00 et ont reçu des concentrés (0, 5, 10, 15 g/kg PV) durant la nuit. Ce concentré contenait du maïs, du son de blé, du TS et des minéraux. Ainsi, la teneur en gras et la proportion de TAG du gras du LD ont augmenté alors qu'inversement la proportion de phospholipides a diminué dans le LD avec la supplémentation. Les TAG ont vu leur proportion en 18:1c9 augmenter de façon linéaire avec l'augmentation de la quantité de concentrés offert. Les profils en AG des phospholipides ont révélé que la proportion de 18:2 c9t11, de 18:1 c9, des AG *trans* ainsi que l'activité de la Δ^9 -désaturase augmentait alors que la proportion d'AAL et de la majorité des AGPI à longues chaînes diminuait avec l'ajout de supplément à la ration (Fonteles et al., 2018). Ces résultats s'expliquent par le fait que, généralement, les ruminants recevant des concentrés voient leur dépôt de gras intramusculaire augmenter et voient aussi s'accroître l'activité de la Δ^9 -désaturase menant à l'augmentation du 18:1 c9 dans leur profil (Bessa et al., 2015). De

plus, la diminution de la CVMS de fourrages qui contiennent des AGPI, dont l'AAL, ferait aussi partie de l'explication (Fonteles et al., 2018).

Habituellement, l'ajout de concentrés à la ration mène à l'augmentation de l'activité de la Δ^9 -désaturase et à la formation d'ALC dans le rumen. Malgré l'augmentation significative du 18:1 *trans*-11 dans le rumen chez les agneaux ayant reçu les concentrés en comparaison avec ceux recevant les fourrages, aucune différence quant à la proportion d'ALC du gras de la viande n'a été observée entre les 2 groupes. Cette réponse surprenante serait expliquée selon les auteurs par l'existence possible de différentes isoformes de l'enzyme Δ^9 -désaturase chez le mouton (Vasta et al., 2009). En effet, différentes isoformes ont déjà été identifiées chez la souris (Miyazaki et al., 2003) et chez le bovin (Lengi et Corl, 2007). D'ailleurs, 2 isoformes ont aussi été identifiées chez le mouton (Lengi et Corl, 2008) dont une s'exprimant surtout dans le cerveau et l'autre dans le tissu adipeux.

1.5.1.1 Potentiel glycolytique et pH ultime

Le pH de la viande peut nous renseigner sur plusieurs aspects entourant les conditions péri-abattage mais aussi sur la réfrigération de la carcasse et la conservation future de la viande. Le pH ultime (pHu) de la viande est tributaire du glycogène accumulé dans le muscle mais aussi du taux et de l'ampleur de la glycolyse (Casey et Webb, 2010). Selon Kadim et Mahgoub (2012b), le pHu de la viande de chèvre devrait se situer entre 5,5 et 5,6 ce qui est semblable à celui auquel on doit s'attendre chez les autres espèces. En effet, les pH normaux de la viande se situent entre 5,4 et 5,6 pour le porc, le bœuf et le mouton (Ferguson et Warner, 2008; Wulf et al., 2002; Scheffler et al., 2013). Selon Wulf et al. (2002), il existe une relation curvilinéaire entre le potentiel glycolytique et le pHu de la viande (Figure 1.4). En fait, le glycogène accumulé dans le muscle de l'animal lorsqu'il est vivant sera transformé en lactate après sa mort. Le dosage du lactate contenu dans la viande permet de connaître le potentiel glycolytique du muscle et donc d'évaluer les réserves de glycogène dans le muscle avant l'abattage. En effet, un potentiel glycolytique de 100 μmol de lactate/g de muscle, représente chez le bœuf, le seuil de concentration minimum sous lequel la viande produit un pHu trop élevé. Cette relation illustre aussi que même si le

contenu en lactate du muscle est plus élevé que 100 $\mu\text{mol/g}$ de muscle, il n'y a pas d'effet sur le pHu qui se situe alors à l'intérieur des valeurs cibles.

Cette relation semble s'appliquer aussi chez la chèvre. La teneur en glycogène de 34,6 $\mu\text{mol/g}$ de muscle pour un potentiel glycolytique de 105,2 μmol de lactate/g muscle du LD de chèvres indigènes à l'Afrique du Sud a mené à un pHu de 5,89 alors que les LD ayant une teneur en glycogène de 26,4 $\mu\text{mol/g}$ de muscle pour un potentiel glycolytique de 87,1 μmol de lactate/g de muscle ont obtenu un pHu de 6,10 (Simela et al., 2004). Selon, Webb et al. (2005), une concentration minimale en glycogène de 50 $\mu\text{mol/g}$ de muscle mène à une production d'acide lactique permettant d'atteindre le pHu souhaité c'est-à-dire inférieur ou égal à 5,6.

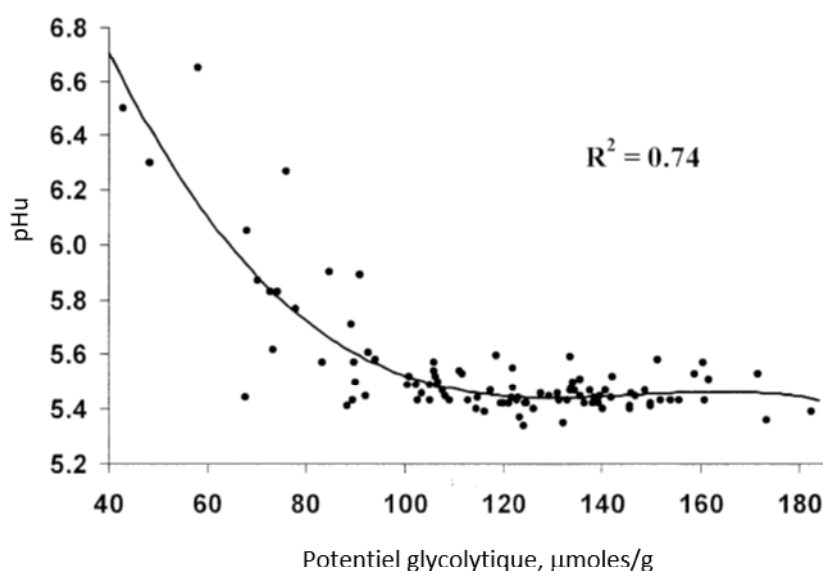


Figure 1.4 Relation entre le potentiel glycolytique et le pH ultime (pHu) de la viande du *longissimus dorsi* (LD) de bœuf (Adapté de Wulf et al., 2002).

La chèvre est, selon certains chercheurs, un animal plus enclin au stress. Il n'est pas rare de voir dans la littérature des pHu plus élevés que ceux auxquels on devrait s'attendre (Kadim et Mahgoub, 2012b). De fait, le stress lié au transport augmente significativement les teneurs sanguines de cortisol, d'adrénaline et de noradrénaline de chèvres Omani. De plus, les teneurs basales de ces hormones ont varié selon les races, alors que les chèvres de

race Batina avaient des teneurs supérieures à celles des chèvres de race Dhofari et Jabal Akdhar (Kadim et al., 2006). Le stress de l'isolation avec ou sans contact visuel a aussi eu un effet significatif sur la concentration plasmatique de cortisol chez la chèvre (Kannan et al., 2002). Les teneurs de glucose et d'AG non-estérifiées sont aussi augmentées par le stress du transport (Kannan et al., 2003). Dans une étude où les chèvres ont été transportées pendant 2 heures à 37°C, le pH de la viande a été de 5,95 alors que celui des chèvres qui n'avaient pas été transportées était de 5,75. Les pHu supérieurs des chèvres ayant été stressées étaient associés à des viandes moins tendres, c'est-à-dire ayant de plus grande valeur de force de cisaillement, celles-ci expliquées par des sarcomères plus courts (Kadim et al., 2006). La différence de concentration hormonale entre les races de chèvres étudiées par Kadim et al. (2006) s'est d'ailleurs transposée au pHu du LD. Cependant, ce n'a pas été le cas pour le pHu du BF. Mentionnons que le pHu varie selon les muscles dépendamment des types de fibres qui le composent (Hunt et Hedrick, 1977).

1.5.1.2 Couleur

La couleur de la viande est influencée par de nombreux paramètres comme la race (Ripoll et al., 2012), le type de muscle, le pHu de la viande et le vieillissement (Kadim et Mahgoub, 2012b). En fait, les 3 principaux paramètres d'évaluation de la couleur nous renseignent sur la blancheur ou la clarté (L^* , axe sombre à clair), sur la teinte rouge (a^* , axe rouge à vert) et sur la teinte jaune (b^* , axe jaune à bleu) du tissu (Tapp Iii et al., 2011). Ces mesures ont été différentes dans une étude réalisée avec des chevreux de 5 croisements différents soit Boer $\times$ Angora, Boer $\times$ Saanen, Sauvage $\times$ Sauvage, Saanen $\times$ Angora et Saanen $\times$ Sauvage. Par contre, la couleur du gras n'a pas été influencée par le génotype (Dhanda et al., 1999). Aussi, les fibres musculaires de type I, mises en place pour une activité musculaire continue, contiennent des niveaux de myoglobine plus grands et sont plus rouges alors que les fibres de type II A et B contiennent moins de myoglobine, accumulent plus de glycogène mais sont plus pâles (Lawrence et al., 2012). La concentration en myoglobine dans le muscle augmente avec l'âge et avec l'activité physique (Lawrie et Ledward, 2006). Ainsi, les fibres musculaires présentes dans le muscle des animaux au pâturage, qui sont plus actifs, seraient différentes de celles des animaux élevés à l'intérieur (Vestergaard et al., 2000). En plus de l'activité, l'alimentation influence

aussi la couleur de la viande. Les animaux alimentés au pâturage ou de façon extensive ont généralement une viande plus sombre (valeur L^* plus petite) que les animaux nourris aux concentrés (Priolo et al., 2001; Yakan et al., 2016). L'apport de fer dans l'alimentation, comme par exemple celui contenu dans l'herbe au pâturage, serait aussi un facteur à considérer pour expliquer les différences de couleur de viande. En effet, la viande de chevreau sous la mère ayant accès au pâturage était plus rouge comparée à celle des chevreaux sous la mère alimentés avec des concentrés ou celle des chevreaux élevés avec une préparation commerciale et du foin (Zurita-Herrera et al., 2013). Ces mêmes auteurs soulignent l'effet possible de l'activité physique et aussi de la consommation importante de pigments caroténoïdes avec les animaux au pâturage comme étant une explication possible. L'augmentation du poids à l'abattage serait aussi un facteur qui fait que la viande devienne plus sombre (Dhanda et al., 1999b; Beriain et al., 2000; Kaić et al., 2013). Il faut dire que dans ces études les chevreaux abattus plus lourds sont aussi abattus plus vieux. Ainsi, il peut être difficile de dire si c'est le poids ou l'âge à l'abattage ou encore une combinaison de ces 2 paramètres qui influencent la couleur de la viande.

1.5.1.3 Tendreté

Une mesure objective de la texture de la viande est généralement réalisée à l'aide du dispositif de Warner-Bratzler. La force de cisaillement est en fait une mesure de la force maximale nécessaire pour sectionner un bâtonnet de viande de 1 cm² de surface. Cette force peut varier selon la lame qu'on utilise et la forme géométrique de l'échantillon de viande, soit un cylindre ou un prisme rectangulaire, sur lequel on prend la mesure. Il semble que la mesure prise avec la lame en V sur un prisme rectangulaire soit celle qui est la mieux corrélée avec la tendreté mesurée subjectivement par un jury de dégustation (Tornberg, 1996). Contrairement aux valeurs de force de cisaillement, il est par contre difficile d'avoir des valeurs de références dans le cas d'études de dégustation puisque l'échelle de classement peut varier selon les équipes de recherche (Torrìco et al., 2018). Toutefois, ces dégustations nous donnent accès à des informations importantes. Ainsi, la viande de chèvre a été identifiée comme étant moins tendre que la viande de bœuf, de porc, d'agneau et de mouton par plusieurs jurys de dégustation (Smith et al., 1974). Par contre, une étude semblable avec des mesures objectives n'est pas disponible à notre connaissance. Tout de

même, lorsque Schönfeldt et al. (1993) ont comparé la viande de mouton avec la viande de chèvre de race Boer et de race Angora, ils ont noté que le LD de mouton avait une force de cisaillement de 32 Newton (N), significativement plus faible que celle de la chèvre Angora, qui était de l'ordre de 46 N, elle aussi plus faible que celle de la chèvre Boer avec 63 N. Le même phénomène a été observé avec le semimembraneux. Le même exercice de comparaison, cette fois avec des valeurs subjectives obtenues par un jury de dégustation, a mené au même classement. Les auteurs attribuent cette différence, entre autres, à la teneur moins élevée en collagène et plus élevée en collagène soluble de la viande chez les moutons comparés aux chèvres. La teneur en collagène insoluble est un facteur important à considérer en lien avec la tendreté de la viande (Lepetit, 2008). Les différents types de liens, soit divalents ou trivalents, entre les chaînes de collagène ont aussi leur importance. De fait, plus le nombre de ces liens est élevé et plus ces liens sont des liens trivalents, que l'on nomme pyridinoline et Ehrlich chromogène, moins la viande sera tendre, même après vieillissement. En effet, les liens trivalents sont thermostables (Lepetit, 2008). Chez la chèvre, la concentration en pyridinoline augmente avec l'âge alors que Ehrlich chromogène atteint un pic de concentration à 1 an puis diminue avec les années dans le LD, le semimembraneux, le ST, le BF, et le psoas major (Horgan et al., 1990). Sachant que le diamètre de la fibre musculaire de chèvre est plus grand que celui du mouton dans le LD, biceps brachii et le ST (Gaili and Ali, 1985), ce facteur pourrait aussi s'avérer comme faisant partie de l'explication. En effet, il a été démontré que plus le diamètre de la fibre augmente plus la tendreté du muscle diminue (Herring et al., 1965).

Dans une étude réalisée par Dhanda et al. (2003), les forces de cisaillement de la viande de différents génotypes de chèvres, notamment des croisées Boer et des croisées Saanen, ont été différentes. Par ailleurs, le jury de dégustation de la viande n'a pas permis d'établir un classement similaire à celui obtenu grâce aux forces de cisaillement sauf pour la viande la plus tendre. Le génotype, l'âge à l'abattage ainsi que le poids d'abattage sont reconnus pour influencer la tendreté de la viande (Magoub et al., 2012). Ainsi, selon Smith et al. (1978), les chevreaux âgés de 20 mois et moins, ont eu une viande jugée plus tendre par un jury de dégustation que celle de chevreaux de 2 à 6 ans. Dans le même sens, une étude réalisée sur des chevreaux entre 6 mois et un an a révélé que la viande de chevreaux

de 175 jours était plus tendre que celles des chevreaux de 310 jours (Madruga et al., 2000). Similairement, la viande de chevreaux abattus entre 14 et 22 kg a été plus tendre que celle des chevreaux abattus entre 30 et 35 kg (Dhanda et al., 2003). Toutefois, il serait possible aussi de voir la viande de chevreaux plus légers obtenir une force de cisaillement supérieure à celle de chevreaux plus lourds (Kadim et Mahgoub, 2012b). En effet, les chevreaux plus lourds ont, en plus du muscle déposé, du gras qui protège la carcasse contre un phénomène appelé cold-shortening. Un minimum de gras sous-cutané de 5 mm chez le bœuf et de 14 mm chez le porc, ce qui est plutôt difficile à envisager chez la chèvre, serait nécessaire pour l'obtention d'une viande tendre lors d'une réfrigération rapide de la carcasse (Dikeman, 1996). En effet, lors du refroidissement de la carcasse, une réfrigération trop rapide de la carcasse avant que la rigidité cadavérique ne soit installée mènera à la contraction au froid (Dikeman, 1996). Chez le bœuf et le mouton, une viande ayant subi une contraction au froid est une viande avec une température inférieure à 10 °C alors que son pH est supérieur à 6.0, et ce, 6 heures post-mortem (Savell et al., 2005). Quand la température chute trop vite avant l'atteinte de ce pH, le réticulum sarcoplasmique rejette le calcium en masse dans le sarcoplasme de la cellule. Comme l'ATP est encore disponible, l'actine et la myosine peuvent se lier pour contracter le muscle (Savell et al., 2005). Dans une étude de Smith et al. (1976), le LD des moutons ayant une épaisseur de gras de 1,1 mm (mince) avaient des sarcomères plus courts, un pHu plus élevé, une température interne plus basse jusqu'à 4 heures après l'abattage et un indice de tendreté plus bas que ceux ayant une épaisseur de gras de plus de 3,3 mm (intermédiaire) et de 7,1 mm (épais). Lorsque ce phénomène a lieu sur des carcasses de chèvres, les sarcomères ont été plus courts, soit entre 1,64 et 1,73 μm (Kannan et al., 2006) alors que ces valeurs peuvent atteindre 1,90 μm normalement (Kadim et al., 2006).

1.6 Hypothèses et objectifs de la thèse

Comme il en a été question dans la revue des travaux antérieurs, la théorie du synchronisme entre la protéine et l'énergie au niveau du rumen a été très peu étudiée chez les caprins. De plus, cette théorie est parfois remise en question et ne fait pas l'unanimité dans la communauté scientifique. Il importe donc d'en connaître davantage sur les effets du

synchronisme chez le chevreau de boucherie. D'ailleurs, le maïs et l'orge, utilisés en production caprine, contiennent des glucides dont la dégradabilité diffèrent dans le rumen. Aussi, le traitement physique des grains permet d'agir sur cette dégradabilité. Dans un même ordre d'idée, la source de protéine et son traitement modifient son usage possible par les microorganismes dans le rumen. Également, bien que ces informations n'aient pas été colligées ici, bien peu de données sont disponibles dans la documentation scientifique au sujet des k_p des nutriments dans le rumen ainsi que de la production de PMic par les chevreaux de boucherie. Au regard de ces informations, il a été émis comme hypothèse de travail que les rations contenant une source de protéine et d'énergie synchronisées dans le rumen permettent une plus grande synthèse de PMic comparé aux rations non synchronisées. Le premier projet de cette thèse visait à alimenter des chevreaux de boucherie avec des rations contenant de l'orge ou du maïs, moulu ou rond, jumelé à du TS ou du TSC et à mesurer l'impact de ces rations sur l'environnement ruminal, la digestibilité des nutriments, le bilan azoté et la production de PMic.

Le maïs est communément utilisé en alimentation animale, il n'est donc pas surprenant que ce soit le cas pour le chevreau de boucherie. Comme les marges de profit de cet élevage sont minces, il devient important de chercher des alternatives possibles au maïs dans les rations pour chevreaux. Les performances de croissance du chevreau Boer sont de plus en plus documentées et sa réputation n'est plus à faire. Par contre, le lien entre l'alimentation et la qualité de la viande ainsi que son effet sur les profils en AG dans le contexte d'un système de production intensif avec des ingrédients disponibles dans nos élevages, demeure une information précieuse à obtenir. Selon l'hypothèse de travail de l'équipe de recherche, la ration contenant le maïs, en comparaison avec l'orge, permet l'atteinte de performances de croissance supérieures mais a peu d'effet sur la qualité de la viande. Ainsi, la seconde expérience de cette thèse visait à mesurer et comparer le gain de poids, l'efficacité alimentaire et le nombre de jours nécessaires pour l'atteinte du poids d'abattage cible chez des chevreaux recevant des rations à base de maïs, d'orge ou d'un mélange des deux grains en quantités égales et à établir les rendements carcasse, la qualité et le profil en AG de la viande de ces chevreaux.

Finalement, il a été question au tout début de la revue des travaux antérieurs des races utilisées pour la production de viande. Comme ailleurs dans le monde, les chevreaux mâles issus de la production laitière caprine dans la province sont souvent réformés. Dans un contexte où malgré une mise en marché qui n'est pas organisée, les producteurs peinent à suffire à la demande, il faut trouver des moyens de répondre adéquatement aux exigences des consommateurs de viande caprine. Par contre, il faut considérer une alternative comparable sur le plan des performances, de la qualité de la carcasse, ainsi que de la viande. Il a été question de divers systèmes de production, entre autres, à base de concentrés ou encore de pâturage, tantôt nécessitant une gestion intensive, tantôt extensive. L'alimentation au pâturage est communément utilisée pour l'espèce caprine, mais souvent dans le but de régénérer des territoires inexploités, mais rarement comme source de fourrages pour l'engraissement. Il y a lieu de se questionner sur la possibilité d'utiliser le pâturage en gestion intensive pour la production de viande caprine. À la lumière de ces informations, les hypothèses de travail suivantes ont été émises; 1) la gestion intensive des pâturages en comparaison avec une alimentation à base de concentrés permet d'obtenir des gains similaires, une carcasse plus maigre et une viande contenant plus d'AG n-3 et 2) les chevreaux de race laitière atteignent des performances de croissance inférieures à celles obtenues avec les chevreaux de race bouchère. Pour compléter ces travaux, une expérience permettant de comparer i) deux races de chèvres (une race laitière et une race bouchère) et ii) 2 systèmes d'alimentation soit : le pâturage comme seule source de nutriments disponibles en comparaison avec une ration à base de concentrés, a été réalisée. Nous avons mesuré les performances de croissance, le rendement de la carcasse, la qualité de la carcasse et plus spécifiquement les proportions de muscles, d'os et de gras ainsi que la qualité de la viande incluant les profils en AG.

1.7 Références

- Abdullah, A. Y. et H. S. Musallam. 2007. Effect of different levels of energy on carcass composition and meat quality of male black goats kids. *Livest. Sci.* 107:70-80.
- Abidi, S., H. Ben Salem, V. Vasta et A. Priolo. 2009. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Rumin. Res.* 87:9-16.
- Abuelfatah, K., A. B. Z. Zuki, Y. M. Goh et A. Q. Sazili. 2016. Effects of enriching goat meat with n-3 polyunsaturated fatty acids on meat quality and stability. *Small Rumin. Res.* 136:36-42.
- Aduku, A. O., A. A. Aganga, P. N. Okoh, S. A. Ingawa et D. O. A. Phillip. 1991. Contribution of offals to the gross value of goat carcasses in Nigeria. *Small Rumin. Res.* 6:179-184.
- Agastin, A., M. Naves, A. Farant, X. Godard, B. Bocage, G. Alexandre et M. Boval. 2013. Effects of feeding system and slaughter age on the growth and carcass characteristics of tropical-breed steers. *J. Anim. Sci.* 91:3997-4006.
- Agastin, A., D. Sauvant, M. Naves et M. Boval. 2014. Influence of trough versus pasture feeding on average daily gain and carcass characteristics in ruminants: A meta-analysis. *J. Anim. Sci.* 92:1173-1183.
- Aharon, H., Z. Henkin, E. D. Ungar, D. Kababya, H. Baram et A. Perevolotsky. 2007. Foraging behaviour of the newly introduced Boer goat breed in a Mediterranean woodland: A research observation. *Small Rumin. Res.* 69:144-153.
- Al Jassim, R. A. M., S. A. Hassan, A. N. Al-Ani et T. K. Dana. 1991. Effects of undegradable protein supplementation on digestion and nitrogen balance in sheep and goats. *Small Rumin. Res.* 5:57-63.
- Alexandre, G. et N. Mandonnet. 2005. Goat meat production in harsh environments. *Small Rumin. Res.* 60:53-66.
- Allen V. G., C. Batello, E. J. Berretta, J. Hodgson, M. Kothmann, X. Li, J. McIvor, J. Milne, C. Morris, A. Peeters et M. Sanderson. 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass Forage Sci.* 66:2-28.
- Animut, G. et A. L. Goetsch. 2008. Co-grazing of sheep and goats: Benefits and constraints. *Small Rumin. Res.* 77:127-145.
- Argüello, A., N. Castro, J. Capote et M. Solomon. 2005. Effects of diet and live weight at slaughter on kid meat quality. *Meat Sci.* 70:173-179.
- Asih, A. R. S., K. G. Wiryawan et B. A. Young. 2011. Nitrogen utilization by dairy goats offered different nitrogen sources as supplements in high isocaloric energy concentrates. *J. Indonesian Trop. Anim. Agric.* 36:36-42.
- Asizua, D., D. Mpairwe, F. Kabi, D. Mutetikka, K. Kamatara, T. Hvelplund, M. R. Weisbjerg, S. K. Mugasi et J. Madsen. 2014. Growth performance, carcass and non-carcass characteristics of Mubende and Mubende×Boer crossbred goats under different feeding regimes. *Livest. Sci.* 169:63-70.
- Babiker, S. A., I. A. El Khider et S. A. Shafie. 1990. Chemical composition and quality attributes of goat meat and lamb. *Meat Sci.* 28:273-277.
- Banskalieva, V., T. Sahlou et A. L. Goetsch. 2000. Fatty acid composition of goat muscles and fat depots: a review. *Small Rumin. Res.* 37:255-268.

- Barger, I. A., K. Siale, D. J. D. Banks et L. F. Le Jambre. 1994. Rotational grazing for control of gastrointestinal nematodes of goats in a wet tropical environment. *Vet. Parasitol.* 53:109-116.
- Baumont, R. 1996. Palatability and feeding behaviour in ruminants. A review. *Ann. Zootech.* 45:385-400
- Beattie, V. E., M. S., Burrows, B. W. Moss et R. N. Weatherup. 2002. The effect of food deprivation prior to slaughter on performance, behaviour and meat quality. *Meat Sci.* 62:413-418.
- Beck, P. A., M. B. Sims, E. B. Kegley, D. Hubbell, T. Hess, W. Galyen, T. J. Butler, T. J. Rogers et J. A. Jennings. 2017. Grazing management of mixed alfalfa bermudagrass pastures. *J. Anim. Sci.* 95:4421-4429.
- Beck, P. A., C. B. Stewart, M. B. Sims, M. S. Gadberry et J. A. Jennings. 2016. Effects of stocking rate, forage management, and grazing management on performance and economics of cow-calf production in Southwest Arkansas. *J. Anim. Sci.* 94:3996-4005.
- Berard N. C., Y. Wang, K. M. Wittenberg, D. O. Krause, B. E. Coulman, T. A. McAllister et K. H. Ominski. 2011. Condensed tannin concentrations found in vegetative and mature forage legumes grown in western Canada. *Can. J. Plant Sci.* 91:669-675.
- Berhan, T., R. Puchala, T. Sahlu, R. C. Merkel et A. L. Goetsch. 2005. Effects of length of pasture access on energy use by growing meat goats. *J. Appl. Anim. Res.* 28: 1-7.
- Beriain, M. J., A. Horcada, A. Purroy, G. Lizaso, J. Chasco et J. A. Mendizabal. 2000. Characteristics of Lacha and Rasa Aragonesa lambs slaughtered at three live weights. *J. Anim. Sci.* 78:3070-3077.
- Bessa, R. J. B., S. P. Alves et J. Santos-Silva. 2015. Constraints and potentials for the nutritional modulation of the fatty acid composition of ruminant meat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 117:1325-1344.
- Blackburn, H. D. 1995. Comparison of performance of Boer and Spanish goats in two U.S. locations. *J. Anim. Sci.* 73:302-309.
- Boyazoglu, J., I. Hatziminaoglou et P. Morand-Fehr. 2005. The role of the goat in society: Past, present and perspectives for the future. *Small Rumin. Res.* 60: 13-23.
- Briske D. D., J. D. Derner, J. R. Brown, S. D. Fuhlendorf, W. R. Teague, K. M. Havstad, R. L. Gillen, A. J. Ash et W. D. Willms. 2008. Synthesis Paper: Rotational grazing on rangelands: Reconciliation of perception and experimental Evidence. *Rangeland Ecol. Manage.* 61:3-17.
- Brewer, S. 2012. Quality measurements in beef. Pages 208-231 dans: *Handbook of meat, poultry and seafood quality*. Nollet, L. M. L. (éd.) 2^e édition. Wiley, Chichester, West Sussex, Angleterre.
- Butterfield, R. M. 1988. New concept of sheep growth. The Department of Veterinary Anatomy, University of Sydney, Camperdonw, New South Wales, Australie.
- Casey, N. H., W. A. Niekerk et E. C. Webb. Goat meat. Pages 2937-2944 dans: *Encyclopedia of food sciences and nutrition*. Caballero, B., L. C. Trugo et P. Finglas (éd). Academic Press, Amsterdam, Pays-Bas.
- Cabrita, A. R. J., R. J. Dewhurst, J. M. F. Abreu et A. J. M. Fonseca. 2006. Evaluation of the effects of synchronising the availability of N and energy on rumen function and production responses of dairy cows – a review. *Anim. Res.* 55: 1-24.
- Callow, E. H. 1947. Comparative studies of meat I. The chemical composition of fatty and muscular tissue in relation to growth and fattening. *J. Agric. Sci.* 37:113-129.

- Campling, R. C. 1991. Processing cereal grains for cattle — a review. *Livest. Prod. Sci.* 28: 223-234.
- Casey, N. H. et E. C. Webb. 2010. Managing goat production for meat quality. *Small Rumin. Res.* 89:218-224.
- Casper, D. P., H. A. Maiga, M. J. Brouk et D. J. Schingoethe. 1999. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:1779-1790.
- Celaya, R., J. Moreno-Gonzalo, C. López López, L. M. M. Ferreira, U. García, I. Ferre et K. Osoro. 2016. Productive responses of breeding Cashmere goats and their kids to different stocking rates on improved upland pastures. *J. Anim. Sci.* 94:1276-1286.
- Chalupa, W. 1975. Rumen bypass and protection of proteins and amino acids. *J. Dairy Sci.* 58:1198-1218.
- Cheeke, P. R. 2005. *Applied animal nutrition : feeds and feeding*. 3^e édition. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., États-Unis.
- Cheeke, P. R. et E. S. Dierenfeld. 2010. *Comparative animal nutrition and metabolism*. CAB International. Wallingford, Oxfordshire, Royaume-Uni.
- Chilliard, Y., F. Glasser, A. Ferlay, L. Bernard, J. Rouel et M. Doreau. 2007. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109:828-855.
- Christie, W. W. 1981. *Lipid metabolism in ruminant animals*. Oxford:Pergamon Press, Toronto, Ontario, Canada.
- Clauss, M., M. Lechner-Doll et W. J. Streich. 2003. Ruminant diversification as an adaptation to the physicommechanical characteristics of forage. *Oikos* 102:253-262.
- Cole, N. A. et R. W. Todd. 2008. Opportunities to enhance performance and efficiency through nutrient synchrony in concentrate-fed ruminants. *J. Anim. Sci.* 86:E318-E333.
- Colomer-Rocher, F., P. Morand-Fehr et A. H. Kirton. 1987. Standard methods and procedures for goat carcass evaluation, jointing and tissue separation. *Livest. Prod. Sci.* 17:149-159.
- Connor, W. E. 2000. Importance of n-3 fatty acids in health and disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 171S - 175S.
- De la Vega, F., J. L. Guzmán, M. Delgado-Pertíñez, L. A. Zarazaga et A. Argüello. 2012. Fatty acid composition of muscle and internal fat depots of organic and conventional Payoya goat kids. *Span. J. Agric. Res.* 11:759-769.
- De Souza, J., F. Batistel, E. Ticiani, E. C. Sandri, C. G. S. Pedreira et D. E. Oliveira. 2014. Green leaf allowance and dairy ewe performance grazing on tropical pasture. *J. Anim. Sci.* 92:2708-2715.
- Demjanec, B., N. R. Merchen, J. D. Cremin, C. G. Aldrich et L. L. Berger. 1995. Effect of roasting on site and extent of digestion of soybean meal by sheep: I. Digestion of nitrogen and amino acids. *J. Anim. Sci.* 73:824-834.
- Dhanda, J. S., D. G. Taylor, J. E. McCosker et P. J. Murray. 1999a. The influence of goat genotype on the production of Capretto and Chevon carcasses. 1. Growth and carcass characteristics. *Meat Sci.* 52:355-361.
- Dhanda, J. S., D. G. Taylor et P. J. Murray. 2003. Part 1. Growth, carcass and meat quality parameters of male goats: effects of genotype and liveweight at slaughter. *Small Rumin. Res.* 50:57-66.

- Dhanda, J. S., D. G. Taylor, P. J. Murray et J. E. McCosker. 1999b. The influence of goat genotype on the production of Capretto and Chevon carcasses. 2. Meat quality. *Meat Sci.* 52:363-367.
- Dikeman, M. E. 1996. The relationship of animal leanness to meat tenderness. *Recipr. Meat Conf. Proc.* 49:87-101.
- Dostálek, J. et T. Frantík. 2008. Dry grassland plant diversity conservation using low-intensity sheep and goat grazing management: case study in Prague (Czech Republic). *Biodivers. Conserv.* 17:1439-1454.
- Doreau, M. et Y. Chilliard, 2007. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.* 78:S15-S35.
- Dulphy J P., B. Carle et C. Demarquilly. 1990. Quantités ingérées et activités alimentaires comparées des ovins, bovins et caprins recevant des fourrages conservés avec ou sans aliment concentré. I. Etude descriptive. *Ann. Zootech.* 39:95-111.
- Duncan, W. R. H., E. R. Ørskov et G. A. Garto. 1976. Fatty acid composition of triglycerides of goats fed on a barley-rich diet. *Proc. Nutr. Soc.* 35: 89A-90A.
- Ebrahimi, M., M. A. Rajion, Y. M. Goh et A. Q. Sazili. 2012. Impact of different inclusion levels of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) fronds on fatty acid profiles of goat muscles. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 96:962-969.
- Economides, S., A. Koumas, E. Georghiades et M. Hadjipanayiotou. 1990. The effect of barley-sorghum grain processing and form of concentrate mixture on the performance of lambs, kids and calves. *Anim. Feed Sci. Technol.* 31: 105-116.
- Eghbali, M., F. Kafilzadeh, F. Hozhabri, S. Afshar et M. Kazemi-Bonchenari. 2011. Treating canola meal changes in situ degradation, nutrient apparent digestibility, and protein fractions in sheep. *Small Rumin. Res.* 96:136-139.
- El Aich, A., N. El Assouli, A. Fathi, P. Morand-Fehr et A. Bourbouze. 2007. Ingestive behavior of goats grazing in the Southwestern Argan (*Argania spinosa*) forest of Morocco. *Small Rumin. Res.* 70:248-256.
- Enser, M., K. G. Hallett, B. Hewett, G. A. J. Fursey, J. D. Wood et G. Harrington. 1998. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. *Meat Sci.* 49:329 - 341.
- Ertbjerg, P. et E. Puolanne. 2017. Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Sci.* 132:139-152.
- Faldet, M. A., L. D. Satter et G. A. Broderick. 1992. Determining optimal heat treatment of soybeans by measuring available lysine chemically and biologically with rats to maximize protein utilization by ruminants. *J. Nutr.* 122:151-160.
- Ferguson, D. M. et R. D. Warner. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Sci.* 80:12-19.
- Fonteles, N. L. O, S. P. Alves, M. S. Madruga, R. R. E. Queiroga, A. P. Andrade, D. S. Silva, A. P. Leal, R. J. B. Bessa et A. N. Medeiros. 2018. Fatty acid composition of polar and neutral meat lipids of goats browsing in native pasture of Brazilian Semiarid. *Meat Sci.* 139: 149-156.
- FAO. 2018. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Données FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Forest, J.F., C. Hamel et M. Flis. 2014. Développement du secteur du chevreau de boucherie. Rapport final présenté au Syndicat des producteurs de chèvres du Québec. Québec, QC, Canada.

- http://www.chevreduquebec.com/files/File/rapport_final_spcq_chevreau_vf_es.pdf
(page consultée le 10 juin 2018).
- Gaili, E. S. et A. E. Ali. 1985. Meat from Sudan desert sheep and goats: Part 2- Composition of the muscular and fatty tissues. *Meat Sci.* 13:229-236.
- Galyean, M. L. et S. A. Gunter. 2016. Predicting forage intake in extensive grazing systems. *J. Anim. Sci.* 94:26-43.
- Ganesan, B., C. Brothersen et D. J. McMahon. 2012. Fortification of foods with omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 54:98-114.
- García, M. A., J. F. Aguilera et E. M. Alcaide. 1995. Voluntary intake and kinetics of degradation and passage of unsupplemented and supplemented pastures from semiarid lands in grazing goats and sheep. *Livest. Prod. Sci.* 44:245-255.
- Gelaye, S., T. Terrill, E. A. Amoah, S. Miller, R. N. Gates et W. W. Hanna. 1997. Nutritional value of pearl millet for lactating and growing goats. *J. Anim. Sci.* 75:1409-1414.
- Glimp, H. A. 1995. Meat goat production and marketing. *J. Anim. Sci.* 73:291-295.
- Glimp, H. A., M. R. Karr, C. O. Little, P. G. Woolfolk, G. E. Mitchell et L. W. Hudson. 1967. Effect of reducing soybean protein solubility by dry heat on the protein utilization of young lambs. *J. Anim. Sci.* 26:858-861.
- Goetsch, A. L., T. A. Gipson, A. R. Askar et R. Puchala. 2010. Invited review: Feeding behavior of goats. *J. Anim. Sci.* 88:361-373.
- Goetsch, A. L., R. C. Merkel et T. A. Gipson. 2011. Factors affecting goat meat production and quality. *Small Rumin. Res.* 101:173-181.
- Goonewardene, L. A., P. A. Day, N. Patrick, H. D. Scheer, D. Patrick et A. Suleiman, A. 1998. A preliminary evaluation of growth and carcass traits in Alpine and Boer goat crosses. *Can. J. Anim. Sci.* 78:229-232.
- Gordon, I. J. 1995. Animal-based techniques for grazing ecology research. *Small Rumin. Res.* 16: 203-214.
- Hadjipanayiotou, M. 2004. Replacement of barley grain for corn in concentrate diets fed to dairy Damascus goats at different frequencies. *Small Rumin. Res.* 51:229-233.
- Hale, W. H. 1973. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. *J. Anim. Sci.* 37:1075-1080.
- Hall, M. B. et G. B. Huntington. 2008. Nutrient synchrony: Sound in theory, elusive in practice. *J. Anim. Sci.* 86: E287-292.
- Hart, S. P. et J. J. Doyle. 1985. Adaptation of early-weaned lambs to high-concentrate diets with three grain sources, with or without sodium bicarbonate. *J. Anim. Sci.* 61:975-984.
- Henning, P., D. Steyn et H. Meissner. 1991. The effect of energy and nitrogen supply pattern on rumen bacterial growth in vitro. *Anim. Sci.* 53:165-175.
- Herrera-Saldana, R. E., J. T. Huber et M. H. Poore. 1990. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73:2386-2393.
- Herring, H. K., R.G. Cassens et E. J. Risky. 1965. Further studies on bovine muscle tenderness as influenced by carcass position, sarcomere length, and fiber diameter. *J. Food Sci.* 30:1049-1054.
- Hofmann, R. R. 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78:443-457.

- Horgan, D. J., N. L. King, L. B. Kurth et R. Kuypers. 1990. Collagen crosslinks and their relationship to the thermal properties of calf tendons. *Arch. Biochem. Biophys.* 281:21-26.
- Greaser, M. L. et W. Guo. 2012 Postmortem muscle chemistry. Pages 63-75 dans : *Handbook of meat and meat processing*. Hui, Y. H., et J. L. Aalhus (éd.). CRC Press, Boca Raton, FL, États-Unis.
- Hagerman, A. E., Robbins, C. T., Weerasuriya, W., Wilson, T. C. et C. McArthur. 1992. Tannin chemistry in relation to digestion. *J. Range Manage.* 45:57-62.
- Hunt, M. C. et H. B. Hedrick. 1977. Profile of fiber types and related properties of five bovine muscles. *J. Food Sci.* 42:5313-517.
- Huntington, G. B. 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75:852-867.
- Huston, J. E., B. S. Rector, W. C. Ellis et M. L. Allen. 1986. Dynamics of digestion in cattle, sheep, goats and deer. *J. Anim. Sci.* 62:208-215.
- Illius, A. W., I. J. Gordon, D. A. Elston et J. D. Milne. 1999. Diet selection in goats : a test of intake-rate maximization. *Ecol.* 80:1008-1018.
- Jacques, J., R. Berthiaume et D. Cinq-Mars. 2011. Growth performance and carcass characteristics of Dorset lambs fed different concentrates: Forage ratios or fresh grass. *Small Rumin. Res.* 95:113-119.
- Jaime, I., J. A. Beltrán, P. Ceña, P. López-Lorenzo et P. Roncalés. 1992. Tenderisation of lamb meat: Effect of rapid postmortem temperature drop on muscle conditioning and aging. *Meat Sci.* 32:357-366.
- Jarrige, R. 1999. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Institut national de la recherche agronomique, Paris, France.
- Jáuregui, B. M., U. García, K. Osoro et R. Celaya. 2009. Sheep and goat grazing effects on three atlantic heathland types. *Rangeland Ecol. Manage.* 62:119-126.
- Johnson, D. D., J. S. Eastridge, D. R. Neubauer et C. H. McGowan. 1995. Effect of sex class on nutrient content of meat from young goat. *J. Anim. Sci.* 73:296-301.
- Johnson, R. R. 1976. Influence of carbohydrate solubility on non-protein nitrogen utilization in the ruminant. *J. Anim. Sci.* 43:184-191.
- Judge, M. D., E. D. Aberle, J. C. Forrest, H. B. Hedrick et R. A. Merkel. 1989. *Principles of meat science*. 2^e édition. Kendall/Hunt, Dubuque, Iowa.
- Kadim, I. T. et O. Mahgoub. 2012a. Linear body measurements and carcass characteristics of goats. Pages 277-291 dans: *Goat meat production and quality*. Mahgoub, O., I. T. Kadim et E. C. Webb (éd.). CAB International. Wallingford, Oxfordshire, Royaume-Uni.
- Kadim I. T. et O. Mahgoub. 2012b. Nutritive value and quality characteristics of goat meat Pages 292-323 dans: *Goat meat production and quality*. Mahgoub, O., I. T. Kadim et E. C. Webb (éd.). CAB International. Wallingford, Oxfordshire, Royaume-Uni.
- Kadim, I. T., O. Mahgoub, D. S. Al-Ajmi, R. S. Al-Maqbaly, N. M. Al-Saqri et A. Ritchie. 2003. An evaluation of the growth, carcass and meat quality characteristics of Omani goat breeds. *Meat Sci.* 66:203-210.
- Kadim, I. T., O. Mahgoub, A. Al-Kindi, W. Al-Marzooqi et N. M. Al-Saqri. 2006. Effects of transportation at high ambient temperatures on physiological responses, carcass and meat quality characteristics of three breeds of Omani goats. *Meat Sci.* 73:626-634.

- Kaić, A. N. A., A. Cividini et K. Potočnik. 2013. The effect of sex and age at slaughter on some carcass and meat quality traits of Boer kids. *Acta Vet.* 63:201-210.
- Kannan, G., K. M. Gadiyaram, S. Galipalli, A. Carmichael, B. Kouakou, T. D. Pringle, K. W. McMillin et S. Gelaye. 2006. Meat quality in goats as influenced by dietary protein and energy levels, and postmortem aging. *Small Rumin. Res.* 61:45-52.
- Kannan, G., B. Kouakou, T. H. Terrill et S. Gelaye. 2003. Endocrine, blood metabolite, and meat quality changes in goats as influenced by short-term, preslaughter stress. *J. Anim. Sci.* 81:1499-1507.
- Kannan, G., T. H. Terrill, B. Kouakou, S. Gelaye et E. A. Amoah. 2002. Simulated preslaughter holding and isolation effects on stress responses and live weight shrinkage in meat goats. *J. Anim. Sci.* 80:1771-1780.
- Kiesling, D. O. et H. A. Swartz. 1997. Growth and carcass characteristics of lambs grazing cowpea, sudangrass or fed in drylot. *Small Rumin. Res.* 26:171-175.
- Kouakou, B., A. L. Goetsch, A. R. Patil, D. L. Galloway et K. K. Park. 1997. Visceral organ mass in wethers consuming diets with different forages and grain levels. *Livest. Prod. Sci.* 47:125-137.
- Kronberg, S. L. et J. W. Walker. 1993. Ruminal metabolism of leafy spurge in sheep and goats: A potential explanation for differential foraging on spurge by sheep, goats, and cattle. *J. Chem. Ecol.* 19:2007-2017.
- Lanzas, C., C. J. Sniffen, S. Seo, L. O. Tedeschi et D. G. Fox. 2007. A revised CNCPS feed carbohydrate fractionation scheme for formulating rations for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 136:167-190.
- Lawrence, T. L. J., V. R. Fowler, and J. E. Novakofski. 2012. Growth of farm animals. 3^e édition. CAB International. Wallingford, Oxfordshire, Royaume-Uni.
- Lawrie, R. A., et D. A. Ledward. 2006. Lawrie's meat science. 7^e édition. Woodhead Publishing, Cambridge, Angleterre.
- Lee, J. H., B. Kouakou et G. Kannan. 2008. Chemical composition and quality characteristics of chevon from goats fed three different post-weaning diets. *Small Rumin. Res.* 75:177-184.
- Lefrileux, Y., P. Morand-Fehr et A. Pommaret. 2008. Capacity of high milk yielding goats for utilizing cultivated pasture. *Small Rumin. Res.* 77: 113-126.
- Lengi A. J. et B. A. Corl. 2007. Identification and characterization of a novel bovine stearoyl-CoA desaturase isoform with homology to human SCD5. *Lipids.* 42:499-508.
- Lengi A. J. et B. A. Corl. 2008. Comparison of pig, sheep and chicken SCD5 homologs: Evidence for an early gene duplication event. *Comp. Biochem. Physiol. Part B: Biochem. Mol. Biol.* 150:440-446.
- Lepetit, J. 2008. Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects. *Meat Sci.* 80:960-967.
- Liméa, L., M. Boval, N. Mandonnet, G. Garcia, H. Archimède et G. Alexandre. 2009. Growth performance, carcass quality, and noncarcass components of indigenous Caribbean goats under varying nutritional densities. *J. Anim. Sci.* 87:3770-3781.
- Lopes, L. S., S. R. Martins, M. L. Chizzotti, K. C. Busato, I. M. Oliveira, O. R. Machado Neto, P. V. R. Paulino, D. P. D. Lanna et M. M. Ladeira. 2014. Meat quality and fatty acid profile of Brazilian goats subjected to different nutritional treatments. *Meat Sci.* 97:602-608.

- Luginbuhl, J.-M. et J. C. Mosley. 2015. Pastures for meat goats. Pages:199-232 dans Meat goat production handbook. Merkel, A. C., T. A. Gipson et T. Sahlou (éd) 2^e édition. Langston University, E.L. Holloway Agricultural Research, Education and Extension Center, Langston, Oklahoma, États-Unis.
- Luginbuhl, J.-M., T. E. Harvey, J. T. Green, M. H. Poore et J. P. Mueller. 1998. Use of goats as biological agents for the renovation of pastures in the Appalachian region of the United States. *Agroforestry Syst.* 44:241-252.
- Luo, J., A. L. Goetsch, I. V. Nsahlai, T. Sahlou, C. L. Ferrell, F. N. Owens, M. L. Galyean, J. E. Moore et Z. B. Johnson. 2004. Metabolizable protein requirements for maintenance and gain of growing goats. *Small Rumin. Res.* 53: 309-326.
- Madruga, M. S., S. G. B. Arruda, N. Narain et J. G. Souza. 2000. Castration and slaughter age effects on panel assessment and aroma compounds of the “mestiço” goat meat. *Meat Sci.* 56:117-125.
- Mahgoub, O. et G. A. Lodge. 1998. A comparative study on growth, body composition and carcass tissue distribution in Omani sheep and goats. *J. Agric. Sci.* 131:329-339.
- MAPAQ. 2011. Monographie de l’industrie caprine au Québec. Ministère de l’agriculture des pêcheries et de l’alimentation Québec, Qc, Canada. http://www.chevreduquebec.com/files/File/liens/monographie_caprine__finale_.pdf (page consultée le 10 juin 2018).
- Martins, S. R., M. L. Chizzotti, S. M. Yamamoto, R. T. S. Rodrigues, K. C. Busato et T. S. Silva. 2014. Carcass and non-carcass component yields of crossbred Boer and Brazilian semiarid indigenous goats subjected to different feeding levels. *Trop. Anim. Health Prod.* 46:647-653.
- McAllister, T. A., R. C. Phillippe, L. M. Rode et K. J. Cheng. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *J. Anim. Sci.* 71:205-212.
- McAllister, T. A., L. M. Rode, D. J. Major, K. J. Cheng et J. G. Buchanan-Smith. 1990. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Can. J. Anim. Sci.* 70: 571-579.
- McDonald, P, R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, C. A. Morgan, L. A. Sinclair et R. G. Wilkinson. 2011. *Animal nutrition*. 7^e édition. Prentice Hall-Pearson, Harlow, Angleterre.
- McGregor, B. A. 1984. Growth, development and carcass composition of goats: A review Proceedings of goat production and research in the tropics workshop. Pages: 82-90 University of Queensland, Brisbane, Qld, Australie.
- McGregor, B. A. 2012. Production and marketing of meat goats. Pages 209-230 dans: Goat meat production and quality. Mahgoub, O., I. T. Kadim et E. C. Webb (éd). CAB International. Wallingford, Oxfordshire, Royaume-Uni.
- McGuire, M. A. et M. K. McGuire. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA): A ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. *J. Anim. Sci.* 77:E1-8.
- McMillin, K. W., E. C. Webb, E. F. Donkin et F. Pinkerton. 2012. Goat meat production systems. Pages 15-32 dans: Goat meat production and quality. Mahgoub, O., I. T. Kadim et E. C. Webb (éd). CAB International. Wallingford, Oxfordshire, Royaume-Uni.
- Mir, Z., G. K. Macleod, J. G. Buchanan-Smith, D. G. Grieve et W. L. Grovum. 1984. Methods for protecting soybean and canola proteins from degradation in the rumen. *Can. J. Anim. Sci.* 64:855-865.

- Morand-Fehr, P., V. Fedele, M. Decandia et Y. Le Frileux. 2007. Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res* 68:20-34.
- Mosimanyana, B. M. et D. N. Mowat. 1992. Rumen protection of heat-treated soybean proteins. *Can. J. Anim. Sci.* 72:71-81.
- Mushi, D. E., J. Safari, L. A. Mtenga, G. C. Kifaro et L. O. Eik. 2009. Effects of concentrate levels on fattening performance, carcass and meat quality attributes of Small East African $\times$ Norwegian crossbred goats fed low quality grass hay. *Livest. Sci.* 124:148-155.
- Miyazaki, M., M. J. Jacobson, W. C. Man, P. Cohen, E. Asilmaz, J. M. Friedman et J. M. 2003. Identification and characterization of murine SCD4, a novel heart-specific stearyl-CoA desaturase isoform regulated by leptin and dietary factors. *J. Biol. Chem.* 278:33904-33911.
- Najafi, M. H., S. Zeinoaldini, M. Ganjkanlou, H. Mohammadi, D. L. Hopkins, E. N. Ponnampalam. 2012. Performance, carcass traits, muscle fatty acid composition and meat sensory properties of male Mahabadi goat kids fed palm oil, soybean oil or fish oil. *Meat Sci.* 92:848-854.
- Nakamura, T., T. J. Klopfenstein, D. J. Gibb et R. A. Britton. 1994. Growth efficiency and digestibility of heated protein fed to growing ruminants. *J. Anim. Sci.* 72: 774-782
- Naumann, H. D., L. O. Tedeschi, W. E. Zeller et N. F. Huntley,. 2017. The role of condensed tannins in ruminant animal production: advances, limitations and future directions. *Rev. Bras. Zootec.* 44:929-949.
- Ngwa, A. T., L. J. Dawson, R. Puchala, G. D. Detweiler, R. C. Merkel, Z. Wang, K. Tesfai, T. Sahlu, C. L. Ferrell, et A. L. Goetsch. 2009. Effects of breed and diet on growth and body composition of crossbred Boer and Spanish wether goats. *J. Anim. Sci.* 87:2913-2923.
- Oman, J. S., D. F. Waldron, D. B. Griffin et J. W. Savell. 1999. Effect of breed-type and feeding regimen on goat carcass traits. *J. Anim. Sci.* 77:3215-3218.
- Ørskov, E. R. 1976. The effect of processing on digestion and utilization of cereals by ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 35:245-252.
- Ørskov, E. R. 1979. Recent information on processing of grain for ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 6:335-347.
- Ørskov, E. R. et C. Fraser. 1975. The effects of processing of barley-based supplements on rumen pH, rate of digestion and voluntary intake of dried grass in sheep. *Br. J. Nutr.* 34:493-500.
- Ørskov, E. R., C. Fraser et J. G. Gordon. 1974. Effect of processing of cereals on rumen fermentation, digestibility, rumination time, and firmness of subcutaneous fat in lambs. *Br. J. Nutr.* 32:59-69.
- Ortigue, I. 1991. Adaptation du métabolisme énergétique des ruminants à la sous-alimentation. Quantification au niveau de l'animal entier et de tissus corporels. *Reprod. Nutr. Dev.* 31:593-616.
- Ortigue, I. et M. Doreau. 1995. Responses of the splanchnic tissues of ruminants to changes in intake: absorption of digestion end products, tissue mass, metabolic activity and implications to whole animal energy metabolism. *Ann. Zootech.* 44:321-346.

- Ouali, A., C. H. Herrera-Mendez, G. Coulis, G B. Samira, A. Boudjellal, L. Aubry et M. A. Sentandreu. 2006. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Sci.* 74: 44-58.
- Owen, J. E., G. A. Norman, C. A. Philbrooks et N. S. D. Jones. 1978. Studies on the meat production characteristics of Botswana goats and sheep —part III: Carcase tissue composition and distribution. *Meat Sci.* 2: 59-74.
- Owens F. N. et W. G. Bergen. 1983. Nitrogen metabolism of ruminant animals: Historical perspective, current understanding and future implications. *J. Anim. Sci.* 57:498-518.
- Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill et D. R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J. Anim Sci.* 75: 68-879.
- Park, Y. W. et A. C. Washington. 1993. Fatty acid composition of goat organ and muscle meat of Alpine and Nubian breeds. *J. Food Sci.* 58:245-248.
- Pattanaik, A. K., V. R. B. Sastry, R. C. Katiyar et M. Y. Murarilal. 2003. Influence of grain processing and dietary protein degradability on nitrogen metabolism, energy balance and methane production in young calves. *Asian-Australas. J. Ani. Sci.* 16:1443-1450.
- Pearce, K. L., K. Rosenvold, H. J. Andersen et D. L. Hopkins. 2011. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes — A review. *Meat Sci.* 89:111-124.
- Petit, H. V. 2000. Effect of whole and rolled corn or barley on growth and carcass quality of lambs. *Small Rumi. Res.* 37:293-297.
- Petit, H. V., G. F. Tremblay, M. Marcotte et R. Audy. 1999. Degradability and digestibility of full-fat soybeans treated with different sugar and heat combinations. *Can. J. Anim. Sci.* 79:213-220.
- Plaisance R., H. V. Petit, J. R. Seoane et R. Rioux. 1997. The nutritive value of canola, heat-treated canola and fish meals as protein supplements for lambs fed grass silage. *Anim Feed Sci. Technol.* 68:139-152.
- Plegge, S. D., L. L. Berger et J. G. C. Fahey. 1982. Effect of roasting on utilization of soybean meal by ruminants. *J. Anim. Sci.* 55:395-401.
- Plegge, S. D., L. L. Berger et J. G. C. Fahey. 1985. Effect of roasting temperature on the proportion of soybean meal nitrogen escaping degradation in the rumen. *J. Anim. Sci.* 61:1211-1218.
- Porter, V. et I. L. Mason. 2002. *Mason's world dictionary of livestock breeds, types, and varieties.* CAB International. Wallingford, Oxfordshire, Royaume-Uni.
- Prieto, I., A. L. Goetsch, V. Banskalieva, M. Cameron, R. Puchala, T. Sahlu, L. J. Dawson et S. W. Coleman. 2000. Effects of dietary protein concentration on postweaning growth of Boer crossbred and Spanish goat wethers. *J. Anim. Sci.* 78:2275-2281.
- Priolo, A., D. Micol et J. Agabriel. 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Anim. Res.* 50:185-200.
- Priolo, A., S. Prache, D. Micol et J. Agabriel. 2002. Reflectance spectrum of adipose tissue to trace grass feeding in sheep: influence of measurement site and shrinkage time after slaughter. *J. Anim. Sci.* 80:886-891.
- Provenza, F. D., E. A. Burritt, T. P. Clausen, J. P. Bryant, P. B. Reichardt et R. A. Distel. 1990. Conditioned flavor aversion: A mechanism for goats to avoid condensed tannins in Blackbrush. *Proc. Am. Soc. Zool.* 136 :810-828.

- Qwele, K., A. Hugo, S. O. Oyedemi, B. Moyo, P. J. Masika et V. Muchenje. 2013. Chemical composition, fatty acid content and antioxidant potential of meat from goats supplemented with Moringa (*Moringa oleifera*) leaves, sunflower cake and grass hay. *Meat Sci.* 93:455-462.
- Radcliffe, J. E. 1985. Grazing management of goats and sheep for gorse control. *N. Z. J. Exp. Agric.* 13:181-190.
- Rhee, K. S., D. F. Waldron, Y. A. Ziprin et K. C. Rhee. 2000. Fatty acid composition of goat diets vs intramuscular fat. *Meat Sci.* 54:313-318.
- Richardson, J. M., R. G. Wilkinson et L. A. Sinclair. 2003. Synchrony of nutrient supply to the rumen and dietary energy source and their effects on the growth and metabolism of lambs. *J. Anim. Sci.* 81:1332-1347.
- Rihawi, S., L. Iñiguez, W. F. Knaus, M. Zaklouta, M. Wurzinger, J. Soelkner, A. Larbi et M. A. D. Bomfim. 2010. Fattening performance of lambs of different Awassi genotypes, fed under cost-reducing diets and contrasting housing conditions. *Small Rumin. Res.* 94:38-44.
- Riley, R. R., J. W. Savell, M. Shelton et G. C. Smith. 1989. Carcass and offal yields of sheep and goats as influenced by market class and breed. *Small Rumin. Res.* 2:265-272.
- Ripoll, G., M. J. Alcalde, A. Horcada, M. M. Campo, C. Sañudo, A. Teixeira et B. Panea. 2012. Effect of slaughter weight and breed on instrumental and sensory meat quality of suckling kids. *Meat Sci.* 92:62-70.
- Rooney, L. W. et R. L. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63:1607-1623.
- Rotger, A. B., A. Ferret, S. Calsamiglia et X. Manteca. 2006. Effects of nonstructural carbohydrates and protein sources on intake, apparent total tract digestibility, and ruminal metabolism in vivo and in vitro with high-concentrate beef cattle diets. *J. Anim. Sci.* 84:1188-1196.
- Rule, D. C., Lipids in muscles: Structure composition and metabolism. 2009. Pages 247-286 dans: *Applied muscle biology and meat science*. Du, M. et R. J. McCormick (éd.). CRC Press, Boca Raton, FL, États-Unis.
- Ryan, S. M., J. A. Unruh, M. E. Corrigan, J. S. Drouillard et M. Seyfert. 2007. Effects of concentrate level on carcass traits of Boer crossbred goats. *Small Rumin. Res.* 73:67-76.
- Sahoo, B. et T. K. Walli. 2008. Effects of formaldehyde treated mustard cake and molasses supplementation on nutrient utilization, microbial protein supply and feed efficiency in growing kids. *Anim. Feed Sci. Technol.* 142:220-230.
- Savell, J. W., S. L. Mueller et B. E. Baird. 2005. The chilling of carcasses. *Meat Sci.* 70: 49-459.
- SCEA. 2017. Société canadienne d'enregistrement des animaux. Page 34 dans : *Rapport Annuel 2017*. Ottawa, Ontario, Canada.
- Scheffler, T. L., J. M. Scheffler, S. C. Kasten, A. A. Sosnicki et D. E. Gerrard. 2013. High glycolytic potential does not predict low ultimate pH in pork. *Meat Sci.* 95: 85-91.
- Schmidely, P., H. Archimède, P. Bas, A. Rouzeau, S. Munoz et D. Sauvant. 1996. Effects of the synchronization of the rate of carbohydrates and nitrogen release of the concentrate on rumen fermentation, plasma metabolites and insulin, in the dry pregnant goat. *Anim. Feed Sci. Technol.* 63:163-178.

- Schönfeldt, H. C., R. T. Naudé, W. Bok, S. M. van Heerden, R. Smit et E. Boshoff. 1993. Flavour- and tenderness-related quality characteristics of goat and sheep meat. *Meat Sci.* 34: 363-379.
- Sharrow, S. H. et W. C. Krueger. 1979. Performance of sheep under rotational and continuous grazing on hill pastures. *J. Anim. Sci.* 49:893-899.
- Scheeder, M. L. R. 2006 Lipids from land animals. Pages 30 chapitre 28-52 dans: *Modifying lipids for use in food*. Gunstone, F. D. (éd.). Woodhead Publishing, Cambridge, Angleterre.
- Sherrod, L. B. et A. D. Tillman. 1962. Effects of varying the processing temperatures upon the nutritive values for sheep of solvent-extracted soybean and cottonseed meals. *J. Anim. Sci.* 21:901-910.
- Shrestha, J. N. B. et M. H. Fahmy. 2005. Breeding goats for meat production: a review: 1. Genetic resources, management and breed evaluation. *Small Rumin. Res.* 58:93-106.
- Shrestha, J. N. B. et M. H. Fahmy. 2007. Breeding goats for meat production: 2. Crossbreeding and formation of composite population. *Small Rumin. Res.* 67:93-112.
- Silanikove, N. 2000. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Rumin. Res.* 35:181-193.
- Simela, L., E. C. Webb et L. Frylinck. 2004. Post-mortem metabolic status, pH and temperature of chevon from indigenous South African goats slaughtered under commercial conditions. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 34:204-207.
- Sinclair, L. A., P. C. Garnsworth, J. R. Newbold et P. J. Buttery. 1993. Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci.* 120:251-263.
- Sinclair, L. A., P. C. Garnsworthy, J. R. Newbold et P. J. Buttery. 1995. Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with a similar carbohydrate composition on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci.* 124:463-472.
- Smith, G. C., Z. L. Carpenter et M. Shelton. 1978. Effect of age and quality level on the palatability of goat meat. *J. Anim. Sci.* 46:1229-1235.
- Smith, G. C., T. R. Dutson, R. L. Hostetler et Z. L. Carpenter. 1976. Fatness, rate of chilling and tenderness of lamb. *J. Food. Sci.* 41:748-756.
- Smith, G. C., M. I. Pike et Z. L. Carpenter. 1974. Comparison of the palatability of goat meat and meat from four other animal species. *J. Food Sci.* 39:1145-1146.
- Sniffen, C. J., J. D. O'Connor, P. J. Van Soest, D. G. Fox et J. B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70:3562-3577.
- Solaiman, S., B. R. Min, N. Gurung, J. Behrends et W. McElhenney. 2012. Effects of breed and harvest age on feed intake, growth, carcass traits, blood metabolites, and lipogenic gene expression in Boer and Kiko goats. *J. Anim. Sci.* 90:2092-2108.
- Solaiman, S., B. R. Min, N. Gurung, J. Behrends et E. Taha. 2011. Assessing feed intake, growth performance, organ growth, and carcass characteristics of purebred Boer and Kiko male kids fed high concentrate diet. *Small Rumin. Res.* 98:98-101.
- Soto-Navarro, S. A., A. L. Goetsch, T. Sahlu, R. Puchala et L. J. Dawson. 2003. Effects of ruminally degraded nitrogen source and level in a high concentrate diet on site of digestion in yearling Boer $\times$ Spanish wether goats. *Small Rumin. Res.* 50:117-128.

- Soto-Navarro, S. A., A. L. Goetsch, T. Sahlu et R. Puchala. 2006. Effects of level and source of supplemental protein in a concentrate-based diet on sites of digestion and small intestinal amino acid disappearance in Boer× Spanish wether goats. *Small Rumin. Res.* 65:85-100.
- Stanford, K., T. A. McAllister, M. MacDougall et D. R. C. Bailey. 1995. Use of ultrasound for the prediction of carcass characteristics in Alpine goats. *Small Rumin. Res.* 15:195-201.
- Statistique Canada. 2018. Tableau 32-10-0427-01 Autres animaux le jour du recensement. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=321004270>. (page consultée le 10 juin 2018).
- Terrill, T. H., S. Gelaye, E. A. Amoah, S. Miller, B. Kouakou, R. N. Gates et W. W. Hanna. 1998. Protein and energy value of pearl millet grain for mature goats. *J. Anim. Sci.* 76:1964-1969.
- Theurer, C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649-1662.
- Torrico, D. D., S. Hutchings, M. Ha, E. P. Bittner, S. Fuentes, R. D. Warner et F. R. Dunshea. 2018. Novel techniques to understand consumer responses towards food products: A review with a focus on meat. *Meat Sci.* 144:30-42.
- Tornberg, E. 1996. Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Sci.* 43:175-191.
- Tovar-Luna, I., R. Puchala, T. A. Gipson, G. D. Detweiler, L. J. Dawson, T. Sahlu, A. Keli et A. L. Goetsch. 2011. Effects of night-locking and stage of production on forage intake, digestion, behavior, and energy utilization by meat goat does grazing grass/legume pasture. *Livest. Sci.* 140:225-245.
- Turner, K. E., K. A. Cassida et H. N. Zerby. 2014. Meat goat kids finished on alfalfa, red clover or orchardgrass pastures: Carcass merit and meat quality. *Meat Sci.* 98:629-636.
- Valkeners, D., A. Théwis, S. Amant et Y. Beckers. 2006. Effect of various levels of imbalance between energy and nitrogen release in the rumen on microbial protein synthesis and nitrogen metabolism in growing double-muscled Belgian Blue bulls fed a corn silage-based diet. *J. Anim. Sci.* 84:877-885.
- Van Niekerk, W. A. et N. H. Casey. 1988. The Boer goat. II. Growth, nutrient requirements, carcass and meat quality. *Small Rumin. Res.* 1:355-368.
- Vasta, V., A. Priolo, M. Scerra, K. G. Hallett, J. D. Wood et O. Doran. 2009. $\Delta 9$ desaturase protein expression and fatty acid composition of longissimus dorsi muscle in lambs fed green herbage or concentrate with or without added tannins. *Meat Sci.* 82:357-364.
- Vestergaard, M., N. Oksbjerg et P. Henckel. 2000. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, longissimus dorsi and supraspinatus muscles of young bulls. *Meat Sci.* 54:177-185.
- Walker E. L. et M. D. Hudson. 2014. Sheep and goats. Pages 374-379 dans: *Encyclopedia of meat sciences*. Dikeman, M., et C. Devine (éd.). Elsevier/Academic Press, Amsterdam, Pays-Bas.
- Wang, L., A. Nguluma, M. L. Leite-Browning et R. Browning. 2017. Differences among four meat goat breeds for doe fitness indicator traits in the southeastern United States. *J. Anim. Sci.* 95:1481-1488.

- Warmington, B. G. et A. H. Kirton. 1990. Genetic and non-genetic influences on growth and carcass traits of goats. *Small Rumin. Res.* 3:147-165.
- Webb, E. C. 2014. Goat meat production, composition, and quality. *Animal Frontiers* 4: 33-37.
- Webb, E. C., N. H. Casey et L. Simela. 2005. Goat meat quality. *Small Rumin. Res.* 60:153-166.
- Webb, E. C., N. H. Casey et L. Simela. 2012. Growth, development and growth manipulation in goats. Pages 196-208 dans: *Goat meat production and quality*. Mahgoub, O., I. T. Kadim et E. C. Webb (éd). CAB International. Wallingford, Oxfordshire, Royaume-Uni.
- Werdi Pratiwi, N. M., P. J. Murray, D. G. Taylor et D. Zhang. 2006. Comparison of breed, slaughter weight and castration on fatty acid profiles in the longissimus thoracic muscle from male Boer and Australian feral goats. *Small Rumin. Res.* 64: 94-100.
- Witt, M. W., L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson et P. J. Buttery. 1999. The effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen supply to the rumen on the metabolism and growth of ram lambs given food at a restricted level. *Anim. Sci.* 69:627-636.
- Wood, J. D. et M. Enser. 1997. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *Br. J. Nutr.* 78:S49 - S60.
- Wood, J. D., R. I. Richardson, G. R. Nute, A. V. Fisher, M. M. Campo, E. Kasapidou, P. R. Sheard et M. Enser. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: review. *Meat Sci.* 66:21 - 32.
- Wood, J. D., M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Nute, P. R. Sheard, R. I. Richardson, S. I. Hughes et F. M. Whittington. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* 78:343-358.
- Wulf, D. M., R. S. Emnett, J. M. Leheska et S. J. Moeller. 2002. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *J. Anim. Sci.* 80:1895-1903.
- Yakan, A., C. T. Ates, S. Alasahan, F. Odabasioglu, N. Unal, O. H. Ozturk, O. F. Gungor et C. Ozbeyaz. 2016. Damascus kids' slaughter, carcass and meat quality traits in different production systems using antioxidant supplementation. *Small Rumin. Res.* 136:43-53.
- Yang, Y., X. M. Li, Z. H. Sun, T. Yang, Z. L. Tan, B. F. Wang, X. F. Han et Z. X. He. 2012. The growth performance and meat quality of goats fed diets based on maize or wheat grain. *J Anim. Feed Sci.* 21:587-598.
- Yiakoulaki, M. D., A. L. Goetsch, G. Detweiler et T. Sahlu. 2007. Effects of stocking rate and creep grazing on performance by Spanish and Boer×Spanish does with crossbred Boer kids. *Small Rumin. Res.* 71:234-242.
- Zhang, C.-Y., Y. Zhang, D.-Q. Xu, X. Li, J. Su et L.-G. Yang. 2009. Genetic and phenotypic parameter estimates for growth traits in Boer goat. *Livest. Sci.* 124:66-71.
- Zurita-Herrera, P., J. V. Delgado Bermejo, A. Argüello Henríquez, M. E. Camacho Vallejo et R. Germano Costa. 2013. Effects of three management systems on meat quality of dairy breed goat kids. *J. Appl. Anim. Res.* 41:173-182.

Chapitre 2 Effects of grain source, grain processing and protein degradability on rumen kinetics and microbial protein synthesis in Boer kids

2.0 Résumé

Le but de cette étude était d'évaluer l'effet de différentes vitesses de dégradation dans le rumen de l'énergie et de la protéine sur la synthèse de protéine microbienne (PMic) ainsi que la cinétique des nutriments chez le chevreau. Les chevreaux recevant le maïs ont eu une excrétion urinaire de dérivés de purines plus importante lorsqu'ils recevaient le tourteau de soya (TS) plutôt que le tourteau de soya chauffé (TSC) alors que le contraire est survenu avec l'orge ($P \leq 0,01$). Le grain non traité couplé au TS a permis une plus grande excrétion de dérivés de purines que lorsque couplé au TSC alors que la dégradabilité de la protéine dans le rumen n'a eu aucun effet lorsque le grain était traité ($P \leq 0,03$). Ainsi, la synthèse de PMic dans le rumen pourrait être maximisée en combinant des grains lentement fermentescibles (maïs et grains entiers) avec une source de protéines rapidement dégradables (TS). Avec l'orge, un grain plus rapidement fermenté dans le rumen, une synthèse de PMic supérieure a été observée lorsque couplée à une source de protéines lentement dégradables (TSC).

2.1 Abstract

Microbial protein synthesis in the rumen would be optimized when dietary carbohydrates and proteins have synchronized rates and extent of degradation. The aim of this study was to evaluate the effect of varying ruminal degradation rate of energy and protein sources on intake, nitrogen balance, microbial protein yield in the rumen, and kinetics of nutrients in the rumen of growing kids. Eight Boer goats (38.2 ± 3.0 kg) were used. The treatments were arranged in a split-plot Latin square design with grain sources (barley or corn) forming the main plots (squares). Grain processing methods and levels of protein degradability formed the subplots in a 2×2 factorial arrangement for a total of eight dietary treatments. The grain processing method was rolling for barley, and cracking for corn. Levels of protein degradability were obtained by feeding untreated soybean meal (SBM) or heat-treated soybean meal (HSBM). Each experimental period lasted 21 d

consisting of a 10-d adaptation period, a 7-d digestibility determination period, and a 4-d rumen evacuation and sampling period. Kids fed corn had higher urine excretion of purine derivatives (PD) when coupled with SBM compared with HSBM and the contrary occurred with barley-fed kids ($P \leq 0.01$). Unprocessed grain offered with SBM led to higher PD excretion than with HSBM whereas protein degradability had no effect when processed grain was fed ($P \leq 0.03$). Urinary excretion of PD was used for the estimation of ruminal microbial protein synthesis. Results of the current experiment with high concentrate diets showed that microbial protein synthesis could be maximized in goat kids by combining slowly fermented grains (corn or unprocessed grains) with a highly degradable protein supplement (SBM). With barley, a more rapidly fermented grain, a greater microbial protein synthesis was observed when supplementing a low degradable protein (HSBM).

2.2 Introduction

Microbial biomass produced in the rumen represents an important supply of good quality protein that can promote animal performance (Storm and Ørskov, 1983; Clark et al., 1992). Different options have been studied to maximise microbial protein synthesis in the rumen and increase animal productivity. The “nutrient synchrony” theory proposed that microbial protein synthesis is optimized by the availability in the rumen of both carbohydrates and nitrogen with simultaneous rates of degradation, in terms of magnitude and extent (Johnson, 1976). Sources of carbohydrates such as corn and barley differed in starch rapidly degraded fraction and in digestion rate (Herrera-Saldana et al., 1990). Furthermore, processing is known to influence the rate and site of grain digestion (Hale, 1973). Indeed, damaging the pericarp of kernel improved starch degradation rate by increasing the surface area available to microorganisms and enzymes (McAllister et al., 1990). Nitrogen availability can be modified by treatment of protein sources (Chalupa, 1975). Heating dietary protein creates amino-sugar complexes that are resistant to microbial degradation (Stern et al., 1994) which could then be digested in the lower gut.

The synchrony theory was studied in dairy cows (Kolver et al., 1998), beef cattle (Rotger et al., 2006a,b), dairy sheep (Landau et al., 2005), and sheep (Sinclair et al., 1993;

1995) but results were not unanimous. Discrepancies between studies may be explained in part by differences in feeding behavior (Dulphy et al., 1990), or anatomy of the digestive tract (e.g., size of the reticulo-omasal orifice changing the passage rate of whole grain; Ørskov, 1979) of different ruminant species. Data on nutritional synchrony in caprine animals are scarce. Schmidely et al. (1996) studied the effects of different rates of carbohydrates and nitrogen releases on ruminal fermentation, plasma metabolites, and insulin in dairy goats but they did not report any observations on microbial product supply to the small intestine. The current study was undertaken to evaluate apparent nutrient digestibility, ruminal fermentation, and digestion kinetics in Boer kids fed high concentrate diets. The hypothesis was that combinations of ingredients optimizing ruminal nutrient synchrony will maximize microbial protein synthesis and N retention by the animal. The specific objective was to evaluate dietary combinations in a factorial arrangement, including grain source, grain processing, and degradability of protein.

2.3 Materials and methods

2.3.1 Animals and diets

Experimental procedures used were in accordance with the Canadian Council on Animal Care guidelines (1993), and were approved by a local committee. Eight male Boer kids (38.2 ± 3.0 kg) fitted with permanent ruminal cannulas were allocated to a split plot 4×4 Latin square with grains forming the two main plots (squares); kids of the first square were fed grass hay and barley, whereas those of the second square were fed grass hay and corn. Within each square, kids were assigned to a 2×2 factorial arrangement of treatments with two levels of grain processing and two levels of protein degradability (subplots).

Grains (barley or corn) were obtained from a single lot from which half was processed. Barley grain was dry rolled and corn grain was cracked, both in a commercial feed mill following the standard procedures of the industry (Table 2.1). The two levels of protein degradability were obtained by feeding untreated soybean meal (SBM) or heat-treated soybean meal (HSBM). A single lot of SBM was obtained from which half was left untreated, and the other half was batch heated in a forced-air oven at 150°C for 50 min. This heat treatment was selected to reduce the concentration of soluble protein fractions (A

+ B1) without affecting the concentration of unavailable protein fraction C (Sniffen et al., 1992). Diets were formulated according to the Nutrient Requirements of Small Ruminants (NRC, 2007) for an expected average daily gain of 150 g. Kids were weighed weekly for dietary adjustment, and received a known quantity of hand-mixed concentrate according to their body weight (Table 2.2). Grass hay was fed for ad libitum intake (15% refusals). Concentrate and hay were both offered in two equal meals daily at 0800 and 1500 h. Kids were given free access to water and a salt block.

Each of the four experimental periods consisted of 21 d: 10 d for diet adaptation, 7 d for apparent total tract digestibility determination, and 4 d in which digestion kinetics and passage rate were estimated, and rumen fermentation attributes were measured. Kids were housed in individual pens for adaptation and between rumen emptying procedures, and then kept in individual metabolism crates during the digestibility determination period. Each morning, orts of hay and concentrates were weighed separately, immediately prior to the AM feeding to determine feed intake. Feed and ort samples were analysed for DM, ash, NDF, ADF, N, starch, and water-soluble carbohydrates (WSC).

Table 2.1 Chemical analysis and physical assessment of diet ingredients.

Table 2.1 Chemical analysis and physical assessment of diet ingredients.							
Item	Grass hay n = 4	Barley ¹		Corn ²		Soybean meal ³	
		Unprocessed n = 5	Processed n = 5	Unprocessed n = 5	Processed n = 5	Untreated n = 5	Heat-treated n = 5
Chemical analysis, DM basis							
OM	93.1	97.3	97.3	98.8	98.8	93.4	93.6
CP	10.3	11.0	12.5	8.42	8.29	49.1	49.4
NDF	61.1	23.0	21.8	9.89	10.1	15.4	15.7
ADF	36.0	9.48	8.65	3.60	3.63	8.40	9.03
Starch	0.80	50.7	51.2	80.0	76.1	1.25	1.30
WSC ⁴	7.20	2.40	2.25	1.58	1.23	8.40	8.50
Particle distribution, % retained on							
4 mm sieve		4.33	8.42	96.5	53.2		
2 mm sieve		92.4	88.9	2.72	37.8		
1 mm sieve		2.51	2.39	0.58	5.65		
425 µm sieve		0.31	0.10	0.11	1.24		
< 425 µm		0.45	0.19	0.11	2.13		
Protein fractions, mg/g N ⁵							
A + B1						154	87.4
B2 + B3						829	895
C						16.5	17.5

¹Unprocessed: whole barley; Processed: rolled barley.²Unprocessed: whole corn; Processed: cracked corn.³Untreated: solvent extracted SBM; Heat-treated: Heated at 150°C for 50 min.⁴WSC: Water-soluble carbohydrates.⁵A+B1: non-protein nitrogen and rapidly degraded true protein; B2+B3: Intermediately and slowly degraded true protein; C: Unavailable or bound protein (Sniffen et al., 1992).

Table 2.2 Daily amount of concentrate fed to kids on a dry matter basis¹

	BW	Barley				Corn			
		20-25 kg	26-30 kg	31-35 kg	36-40 kg	20-25 kg	26-30 kg	31-35 kg	36-40 kg
Grain (unprocessed, processed) ²		400	600	620	730	290	450	460	550
SBM (untreated, heat-treated) ³		120	110	100	100	130	130	130	130
Vitamin-mineral premix ⁴		30	30	30	30	30	30	30	30

¹Based on NRC (2007) recommendations.

²Unprocessed: whole barley or whole corn; Processed: rolled barley or cracked corn.

³Untreated: solvent extracted soybean meal; Heat-treated: solvent extracted soybean meal heated at 150°C for 50 min.

⁴Contained, per kilogram, 230 g of Ca, 25 g of Mg, 7 g of K, 6 g of S, 500 mg of I, 27000 mg of Fe, 4000 mg of Cu, 21000 mg of Mn, 22000 mg of Zn, 250 mg of Co, 10 mg of Se, 920 000 IU of Vitamin A, 126 000 IU of Vitamin D, and 4650 UI of Vitamin E.

2.3.2 Apparent nutrient digestibility, N balance, and ruminal microbial N synthesis

Kids were kept in individual metabolism crates between d 10 and 17 of each experimental period for total feces and urine collections. Urine was collected in jars containing 30-40 mL of 10% H₂SO₄ to rapidly decrease pH below 3. Urine and feces were weighed and sampled twice daily. Urine samples were stored at -20°C. Feces samples were stored at 4°C, and pooled at the end of each period. Composites samples were stored at -20°C for further determination of ash, NDF, ADF, N, and starch.

Rumen evacuations were performed according to Robinson et al. (1987) at three different time as follows: d 18 at 1200 h, d 19 at 2200 h, and d 21 at 0300 h. Prior to rumen evacuation, kids were moved from their pens to metabolism crates. Rumen contents were removed and weighed, and volume was recorded. Rumen samples from each evacuation were stored at -20°C for further determination of ash, NDF, ADF, N, starch, and WSC. Approximately, 300 mL of rumen contents were filtered through four layers of cheesecloth, and rumen fluid pH was immediately measured (Oakton pH 10 Series, Vernon Hills, IL). Subsequently, 10-mL rumen fluid aliquots were collected and acidified with 200 µL of 50% H₂SO₄ for determination of NH₃-N and VFA. After sampling, the remaining digesta was immediately returned to the rumen. These rumen evacuation procedures took approximately 12 min.

2.3.3 Determination of indigestible DM and NDF

Indigestible DM and NDF contents were determined as described by Huhtanen et Khalili (1991). Feed, orts, feces, and ruminal contents were dried at 55°C and ground through a 2-mm sieve with a Thomas Wiley Laboratory Mill (Model 4, Arthur H., Thomas Co., Philadelphia, PA). For each sample 6-g triplicates were weighed into nitrogen-free polyester bags (10 cm × 20 cm with 50 µm porosity, Ankom Technology, Macedon, NY) for a ratio of sample size to bag surface area of 15 mg/cm² (Vanzant et al., 1998). A total of 115 bags were placed in large mesh bags that allowed free percolation of rumen fluid (Boer et al., 1987). These bags were suspended in the rumen of a Holstein lactating cow fitted with a ruminal cannula, and fed a total mixed ration (DM basis): 5% hay (grasses), 26%

haylage (mixed grasses and legumes), 26% corn silage, 27% corn, 10% SBM, and 6% of a commercial supplement containing mineral and vitamin premix. After 264 h incubation, bags were machine-washed in cold water until the water came clear (5 cycles of 6 min each) and oven dried at 55°C for 72 h. Bags were weighed to calculate DM disappearance and residues were considered to be rumen-indigestible. Residues were pooled, ground through a 1-mm sieve with a Thomas Wiley Laboratory Mill (Model 4, Arthur H., Thomas Co.) and analysed for NDF.

2.3.4 Chemical analyses and particle size distribution

Individual samples of feed and orts were oven dried at 55°C for 72 hours, and fecal and ruminal samples were lyophilised to determine their DM content. Feed, orts, fecal, and ruminal dried samples were analysed for ash content with a Thermogravimetric Analyzer (Leco TGA-601, Leco, St-Joseph, MI). The NDF (using sodium sulfite and heat-stable α -amylase) and ADF concentrations were determined using the Ankom200 Fiber Analyzer (Ankom Technology, Macedon, NY) according to Van Soest et al. (1991). Feed, orts, feces, urine, and ruminal samples were analysed for N using the micro-Kjeldahl procedure (AOAC, 1990) with a Kjeltac™ 2400/2460 Auto sampler system (FOSS Analytical, Hillerød, Denmark). The protein fractions of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) were determined on pooled samples of SBM and HSBM according to Licitra et al. (1996). Feed, orts, feces, and ruminal samples were analysed for starch concentration using ethanol/water (80/20; v/v) extraction solution and heat gelatinisation (Hall et al., 2001). Concentrations of WSC in feed, orts and rumen contents were determined according to Dubois et al. (1956).

Urine samples were thawed and pooled by period. Purine derivatives (PD) (allantoin, uric acid, xanthine, and hypoxanthine) in urine were measured as described by Chen and Gomes (1992). Samples of rumen liquid were thawed at room temperature, centrifuged ($25\,200 \times g$, 15 min, 4°C), and the supernatant was analyzed for $\text{NH}_3\text{-N}$ using a Milton Roy Spectronic 1201 spectrophotometer (Milton Roy Company, Miami, FL) at 630 nm, and for VFA using an Agilent HPLC system (Agilent 1200 Series, Agilent Technologies, Santa Clara, CA) according to Hassanat et al. (2013).

Particle size distributions of unprocessed and processed corn and barley were measured by dry sieving using 100 g samples placed on the top of a series of sieves with mesh apertures of 4, 2, 1, and 0.425 mm, followed by a pan (W. S. Tyler, Inc., Mentor, OH). The series of sieves and pan were placed on a vertical oscillating sieve shaker for 15 min (CSC Meinzer II Sieve Shaker, CSC Scientific Company, Inc, Fairfax, VA). Particles retained on each sieve and in the pan were weighed, and proportions of total weight were calculated.

2.3.5 Calculations and statistical analysis

Ruminal pool size of OM, NDF, ADF, N, starch, and WSC were calculated by multiplying the concentration of each component by the ruminal digesta DM weight. Potentially digestible NDF (dNDF) and DM (dDM) were calculated as the difference between NDF and indigestible NDF (iNDF) and between DM and indigestible DM (iDM). Rate of intake, rate of passage, and rate of digestion were calculated according to Robinson et al. (1987). Rumen residence time (RRT) was calculated as described by Huhtanen and Khalili (1991). Urinary excretion of PD was used for the estimation of ruminal microbial N synthesis using the model of Chen and Gomes (1992). The equation used was:

$$\text{Microbial N (g N/d)} = 0.727 \times (\text{mmol/d})$$

The experimental design was a split-plot Latin square with grain source forming the main plots (squares), and grain processing and SBM treatments in factorial arrangement forming the subplots. Data for intake, N metabolism, PD, rumen mass, and rumen and fecal dDM, iDM, dNDF, iNDF were expressed as metabolic body weight function ($\text{kg BW}^{0.75}$) using actual BW recorded prior to each measurement period and were analyzed using MIXED procedure of SAS (ver. 9.2; SAS Institute Inc., Cary, NC). The statistical model included the fixed effects of grain, grain processing, and protein degradability, all interactions, period, and the random effect of kid within grain. Multiple interactions (grain $\times$ grain processing $\times$ protein degradability) are reported when significant. Data for apparent digestibility, N digested, N retained and losses in proportion of N intake, N retained in proportion of N digested and in proportion of DM intake / $\text{kg BW}^{0.75}$, ruminal fermentation variables, rate of passage, rate of digestion, RRT, rumen ingesta and feces DM, and NDF

degradability were analysed using the same model with initial BW as a covariate. Values presented are LS means, significant difference was declared at $P \leq 0.05$, and trends were discussed at $0.05 < P < 0.10$.

2.4 Results

Chemical analysis and physical assessment of dietary ingredients are presented in Table 2.1. Particle size distribution was modified by processing treatments. There was about 50% more grain retained on the 4-mm sieve, and less small particles (<1 mm) when barley was dry rolled as compared with whole grain. Processing corn decreased the proportion of particles of more than 4 mm, but increased the proportions of other particles fractions. Heat treatment of SBM modified its protein fractions, as expressed according to the CNCPS model. The HSBM contained 44% less soluble protein fractions (A + B1), and an equal amount of the C fraction compared with SBM.

Hay intake was not different between treatments, barley-fed kids tended to ingest more concentrate and DM than those receiving corn ($P \leq 0.09$), and barley-fed kids ingested more NDF, ADF, and WSC than corn-fed kids ($P < 0.01$; Table 2.3). However, kids fed corn had a greater ingestion of starch than barley-fed kids (24.5 vs. 18.3 g/kg BW^{0.75}; $P < 0.01$). Concentrate and starch intake were significantly greater ($P \leq 0.05$), whereas intake of DM and OM tended ($P = 0.06$) to be greater for kids fed SBM compared with those fed HSBM.

Kids fed the barley-based diet ingested more N (1.64 vs. 1.51 g/kg BW^{0.75}; $P = 0.03$), tended to lose more N in urine (0.75 vs. 0.61 g/kg BW^{0.75}; $P = 0.09$), and digested more N (1.30 vs. 1.19 g/kg BW^{0.75}; $P = 0.03$) than corn-fed kids (Table 2.4). Barley-fed kids tended to retain less N compared with corn-fed kids (0.55 vs. 0.72 g/kg DM intake/kg BW^{0.75}; $P \leq 0.06$). Kids fed SBM had greater N intake (1.62 vs. 1.53 g/kg BW^{0.75}; $P = 0.04$), higher losses of N in urine (0.71 vs. 0.65 g/kg BW^{0.75}; $P = 0.05$), and tended to digest more N (1.28 vs. 1.22 g/kg BW^{0.75}; $P = 0.06$) compared with those fed HSBM. There was an interaction, or a tendency for an interaction, between grain processing and protein degradability ($P \times D$) for six variables. Kids fed processed grains were not affected by

protein degradability, whereas those fed unprocessed grains with HSBM, compared with SBM, tended to decrease N losses in urine (0.66 vs. 0.72 g/kg BW^{0.75}; $P < 0.07$, 42.2 vs. 44.1% N intake; $P < 0.10$). Consequently, total N losses (63.0 vs. 64.9% N intake; $P < 0.04$) were lower, and N retained, i) as a percentage of N intake (38.4 vs. 33.5%; $P < 0.04$), ii) as a percentage of N digested (48.4 vs. 42.3%; $P = 0.05$), and iii) in function of DM intake (0.66 vs. 0.63 g/kg DM intake/kg BW^{0.75}; $P < 0.06$) were higher for kids fed unprocessed grain with HSBM compared with SBM.

Table 2.3 Effects of grain source (G: barley vs. corn), grain processing (P: unprocessed vs. processed), and protein degradability [D: untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on intake and apparent digestibility of nutrients in kids fed concentrate-based diets.

Concentrate-based diets															
Item	Barley				Corn					<i>P</i> value ¹					
	Unprocessed		Processed		Unprocessed		Processed		SEM	G	P	D	G×P	G×D	P×D
	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM							
Intake, g/kg BW ^{0.75}															
Hay	14.4	14.0	14.3	12.7	12.7	12.2	14.1	13.8	1.09	0.38	0.59	0.29	0.14	0.62	0.70
Concentrate	49.1	45.9	47.7	46.2	46.2	41.4	45.6	43.7	1.76	0.09	0.87	0.01	0.46	0.62	0.25
DM	62.5	59.2	61.3	58.6	58.3	53.6	59.3	57.5	2.42	0.08	0.63	0.06	0.29	0.93	0.58
OM	58.9	55.8	57.7	55.2	55.1	50.7	56.2	54.3	2.30	0.10	0.63	0.06	0.29	0.90	0.59
NDF	18.7	17.9	18.0	17.0	12.7	12.0	13.6	13.2	1.01	<0.01	0.86	0.28	0.17	0.77	0.97
ADF	10.0	9.68	9.62	8.93	7.16	6.81	7.66	7.51	0.59	<0.01	0.97	0.32	0.14	0.73	0.92
WSC ²	2.52	2.38	2.40	2.29	2.14	2.00	2.11	2.05	0.12	<0.01	0.53	0.13	0.42	0.85	0.71
Starch	18.6	17.8	18.7	18.0	26.0	23.6	24.5	23.7	0.92	<0.01	0.68	0.05	0.48	0.43	0.40
Apparent digestibility, %															
DM	78.4	78.8	77.6	78.3	80.3	81.3	80.4	81.6	1.18	0.10	0.66	0.15	0.43	0.58	0.75
OM	80.7	80.8	79.7	80.3	82.4	83.1	82.2	83.5	1.09	0.11	0.52	0.19	0.38	0.47	0.55
NDF	59.9	60.7	55.7	54.8	52.2	57.1	57.9	58.6	3.73	0.74	0.70	0.46	0.04	0.46	0.43
ADF	46.2	45.1	42.0	41.3	40.0	36.8	34.2	38.2	5.95	0.41	0.24	0.92	0.72	0.79	0.46
Starch	99.6	99.6	99.7	99.8	99.7	99.6	99.4	99.6	0.16	0.50	1.00	0.40	0.21	0.90	0.23

¹ G: Effect of grain source; P: Effect of grain processing; D: Effect of protein degradability; G × P: Interaction between grain source and grain processing; G × D: Interaction between grain source and protein degradability; P × D: Interaction between grain processing and protein degradability.

² WSC: Water-soluble carbohydrates.

Table 2.4 Effects of grain source (barley vs. corn), grain processing (unprocessed vs. processed), and protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on N balance in kids fed concentrate-based diets.

Item	Barley				Corn				<i>P</i> value ¹						
	Unprocessed		Processed		Unprocessed		Processed		SEM	G	P	D	G×P	G×D	P×D
	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM							
N balance, g/kg BW ^{0.75}															
Intake	1.67	1.55	1.69	1.64	1.54	1.42	1.56	1.51	0.064	0.03	0.16	0.04	1.00	0.96	0.35
Urine	0.775	0.684	0.779	0.774	0.698	0.556	0.605	0.601	0.064	0.09	0.68	0.05	0.23	0.65	0.07
Feces	0.333	0.322	0.336	0.349	0.331	0.283	0.337	0.316	0.026	0.48	0.22	0.23	0.88	0.21	0.37
Digested	1.34	1.23	1.35	1.30	1.21	1.13	1.23	1.20	0.054	0.03	0.23	0.06	0.99	0.61	0.43
Retained	0.563	0.543	0.576	0.521	0.514	0.579	0.618	0.588	0.064	0.74	0.39	0.74	0.31	0.36	0.28
N balance, % of N intake															
Urine	48.4	46.2	48.2	49.1	43.2	36.2	36.8	37.2	4.12	0.13	0.67	0.21	0.20	0.39	0.10
Feces	19.5	20.4	19.4	20.8	21.9	20.5	22.1	21.5	1.55	0.41	0.64	0.90	0.76	0.17	0.63
Total loss	67.9	66.6	67.5	69.9	65.1	56.7	59.0	59.0	4.31	0.23	0.86	0.19	0.23	0.10	0.04
Digested	80.5	79.6	80.6	79.2	78.1	79.5	77.9	78.5	1.55	0.41	0.64	0.90	0.76	0.17	0.63
Retained	32.1	33.5	32.5	30.1	34.9	43.3	41.1	41.0	4.31	0.23	0.86	0.19	0.23	0.10	0.04
N retained															
% N digested															
	39.9	42.2	40.2	38.0	44.7	54.5	52.5	52.2	5.17	0.17	0.84	0.19	0.20	0.19	0.05
g/kg DM intake/kg BW ^{0.75}															
	0.551	0.543	0.590	0.534	0.617	0.773	0.748	0.754	0.063	0.06	0.19	0.29	0.45	0.06	0.06

¹G: Effect of grain source; P: Effect of grain processing; D: Effect of protein degradability; G × P: Interaction between grain source and processing treatment; G × D: Interaction between grain source and protein degradability; P × D: Interaction between grain processing and protein degradability.

Ruminal environment variables are presented in Table 2.5. Barley-fed kids produced more total VFA than corn-fed kids ($P = 0.05$). Rumen pH was not affected when kids were fed with unprocessed grains irrespective of protein degradability, whereas it tended to decrease with SBM when kids were fed processed grains ($P \times D$; $P < 0.06$).

Hypoxanthine production was increased (121 vs. 80 $\mu\text{mol/kg BW}^{0.75}$; $P < 0.01$) and PD excretion tended to be higher (13.97 vs. 11.62 mmol/g N intake/kg $\text{BW}^{0.75}$; $P \leq 0.06$) with barley- compared with corn-based diets (Table 2.6). Feeding HSBM with barley significantly increased allantoin and PD excretion (as $\mu\text{mol/kg BW}^{0.75}$, mmol/g N intake/kg $\text{BW}^{0.75}$, or mmol/g N digested /kg $\text{BW}^{0.75}$) compared with corn whereas kids who received any of those grains with SBM had intermediate values ($G \times D$; $P < 0.07$). Similarly, level of PD excretion from RDOM (mmol/kg RDOM/kg $\text{BW}^{0.75}$) decreased when corn was fed with HSBM compared with SBM whereas the opposite was observed with barley-based diets ($G \times D$; $P < 0.01$). Unprocessed grain coupled with SBM increased allantoin and PD excretion (as $\mu\text{mol/kg BW}^{0.75}$, mmol/kg RDOM/kg $\text{BW}^{0.75}$, mmol/g N intake/kg $\text{BW}^{0.75}$, or mmol/g N digested/kg $\text{BW}^{0.75}$) and microbial N synthesis compared with HSBM whereas protein degradability had no effect when processed grain was fed ($P \times D$; $P \leq 0.03$).

Concerning digestion kinetics, NDF rumen mass was greater (14.72 vs. 12.23 g/kg $\text{BW}^{0.75}$; $P < 0.04$; Table 2.7) and ADF rate of digestion tended to be greater (1.55 vs. 1.01 %/h; $P = 0.06$) for barley- than corn-fed kids. Also, DM, OM and NDF content tended to be higher when processed grain was offered to kids along with SBM compared with HSBM, but not with unprocessed grain ($P \times D$; $P < 0.09$). Similarly, rate of digestion of DM and OM tended to be higher ($P \times D$; $P < 0.06$) with processed grain and HSBM compared with SBM whereas protein degradability had no effect when unprocessed grain was offered. Rumen residence time of NDF and dNDF tended to be longer with unprocessed grain and HSBM mixture compared with SBM, whereas the opposite effect was observed when kids received processed grain ($P \times D$; $P < 0.09$).

Rumen ingesta and feces content of iDM were greater ($P < 0.01$) for barley- than corn-fed kids (7.03 vs. 4.75, 4.35 vs. 2.67 g/kg $\text{BW}^{0.75}$, respectively) leading to a

significantly lower ($P < 0.02$) rumen ingesta and feces DM degradability (81.3 vs. 87.7, 65.9 vs. 76.3%, respectively) (Table 2.8). Similarly, iNDF content in rumen ingesta (5.80 vs. 3.79 g/kg BW^{0.75}; $P < 0.01$) and feces (3.11 vs. 1.65 g/kg BW^{0.75}) were higher for barley- compared with corn-fed kids. Consequently, feces NDF degradability was higher (71.1 vs. 58.7 %; $P = 0.01$) and rumen ingesta NDF degradability tended to be higher (69.1 vs. 61.3%; $P = 0.07$) for kids fed corn compared with barley. Kids fed SBM had higher rumen ingesta dDM content (33.31 vs. 30.24 g/kg BW^{0.75}; $P < 0.03$) and feces (9.04 vs. 7.99 g/kg BW^{0.75}; $P < 0.02$) than those with HSBM. Unprocessed grain fed with SBM compared with HSBM decreased rumen ingesta iDM and tended to decrease rumen ingesta iNDF that resulted in a higher rumen ingesta DM degradability whereas no effect of protein degradability was observed with processed grain ($P \times D$; $P \leq 0.06$).

Table 2.5 Effects of grain source (barley vs. corn), grain processing (unprocessed vs. processed), and protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on ruminal pH, ammonia N (NH³-N), and volatile fatty acids (VFA) in kids fed concentrate-based diets.

Item	Barley				Corn				SEM	P value ¹					
	Unprocessed		Processed		Unprocessed		Processed			G	P	D	G×P	G×D	P×D
	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM							
pH	5.93	5.90	5.82	5.86	5.95	5.87	5.87	6.08	0.081	0.43	0.89	0.43	0.14	0.47	0.06
NH ₃ -N, mg/100 mL ²															
	23.1	26.4	31.9	25.4	20.9	14.6	18.0	23.6	4.94	0.24	0.14	0.66	0.85	0.78	0.81
Total VFA, mmol/100 mL															
	103	105	114	107	90.6	86.1	99.0	80.0	9.59	0.05	0.48	0.23	0.62	0.41	0.31
VFA, mol/100 mol															
Acetate	61.5	62.5	61.8	62.5	60.9	57.2	63.1	62.3	2.27	0.56	0.15	0.57	0.19	0.23	0.61
Propionate	25.6	23.2	23.4	27.4	25.7	31.4	24.4	25.6	3.29	0.55	0.50	0.25	0.21	0.47	0.79
Butyrate	10.4	11.7	12.1	9.35	10.3	8.55	9.04	8.59	1.459	0.17	0.59	0.30	0.88	0.82	0.43
Acetate/Propionate	2.54	2.89	2.76	2.39	2.75	1.83	2.79	2.65	0.49	0.77	0.59	0.32	0.30	0.34	0.95

¹ G: Effect of grain source; P: Effect of grain processing; D: Effect of protein degradability; G × P: Interaction between grain source and processing treatment; G × D: Interaction between grain source and protein degradability; P × D: Interaction between grain processing and protein degradability.

² G × P × D: Interaction between grain source, grain processing, and protein degradability (*P*=0.027).

Table 2.6 Effects of grain source (barley vs. corn), grain processing (unprocessed vs. processed), and protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on rumen digestible organic matter (RDOM) intake, purine derivatives (PD) excretion in urine, and microbial N yield in rumen of kids fed concentrate-based diets.

Item	Barley				Corn				SEM	<i>P</i> value ¹					
	Unprocessed		Processed		Unprocessed		Processed			G	P	D	G×P	G×D	P×D
	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM							
RDOM intake, g/kg BW ^{0.75}	45.9	44.2	47.5	44.9	46.2	45.7	45.5	42.2	1.84	0.57	0.68	0.10	0.18	0.94	0.44
PD in urine, µmol/kg BW ^{0.75}															
Allantoin	907	1240	1373	1212	1194	1083	1146	894	110.8	0.40	0.37	0.39	<0.01	0.03	0.01
Xanthine ²	36.8	39.7	39.9	26.3	40.0	33.5	34.0	39.9	7.21	0.83	0.48	0.41	0.45	0.44	0.75
Hypoxanthine	118	115	122	126	93.4	73.8	77.6	76.6	16.01	<0.01	0.95	0.62	0.49	0.61	0.53
Uric acid	47.4	50.1	68.6	60.3	68.9	64.3	59.1	52.9	7.88	0.41	0.61	0.41	0.02	0.79	0.52
Total PD excretion , kg BW ^{0.75}															
µmol	1127	1445	1604	1339	1388	1219	1316	1063	136.9	0.29	0.58	0.17	0.04	0.07	0.02
mmol/kg RDOM ³															
	2.24	3.06	3.14	3.01	3.36	3.04	3.23	2.85	0.366	0.58	0.25	1.00	0.03	<0.01	0.03
mmol/g N intake ⁴															
	10.5	14.6	16.1	14.7	12.7	11.3	12.2	10.4	1.54	0.06	0.06	0.80	0.01	0.01	0.01
mmol/g N digested ⁵															
	13.2	18.5	20.2	18.7	16.2	14.3	15.5	13.0	1.70	0.11	0.12	0.83	0.01	0.01	0.02
Microbial N, g/d															
	1.12	1.48	1.65	1.35	1.41	1.23	1.36	1.07	0.14	0.26	0.51	0.18	0.06	0.08	0.02

¹ G: Effect of grain source; P: Effect of grain processing; D: Effect of protein degradability; G × P: Interaction between grain source and processing treatment; G × D: Interaction between grain source and protein degradability; P × D: Interaction between grain processing and protein degradability.

² G × P × D: Interaction between grain source, grain processing, and protein degradability (*P* = 0.049).

³ G × P × D (*P* = 0.051).

⁴ G × P × D (*P* = 0.054).

⁵ G × P × D (*P* = 0.028).

Table 2.7 Effects of grain source (barley vs. corn), grain processing (unprocessed vs. processed), and protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on rumen pool size and digestion kinetics in kids fed concentrate-based diets

Item ¹	Barley				Corn				<i>P</i> value ²						
	Unprocessed		Processed		Unprocessed		Processed								
	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SEM	G	P	D	G×P	G×D	P×D
Rumen mass, g/kg BW ^{0.75}															
Wet matter	176	171	186	159	188	176	215	184	19.7	0.35	0.44	0.09	0.40	0.82	0.34
DM	37.6	39.0	38.6	33.7	38.5	37.1	41.6	34.7	3.23	0.82	0.59	0.08	0.45	0.47	0.09
OM	34.1	35.4	34.8	30.5	34.7	33.6	37.3	31.2	2.83	0.87	0.49	0.09	0.46	0.46	0.08
N	1.37	1.46	1.47	1.31	1.71	1.52	1.74	1.61	0.147	0.15	0.84	0.20	0.59	0.39	0.48
NDF	15.0	15.5	15.5	13.0	12.1	12.5	13.1	11.3	1.20	0.04	0.45	0.25	0.53	0.86	0.08
dNDF	9.54	9.26	9.05	7.82	8.84	7.81	9.27	8.18	0.878	0.53	0.61	0.12	0.23	0.78	0.65
ADF	10.7	10.8	11.0	9.38	9.86	9.68	9.82	9.51	1.05	0.37	0.58	0.43	0.70	0.69	0.48
WSC	0.75	0.78	0.71	0.65	0.72	0.68	0.74	0.66	0.10	0.82	0.46	0.51	0.46	0.69	0.58
Starch	4.95	4.99	3.89	4.31	5.78	5.15	6.09	4.17	0.731	0.32	0.12	0.17	0.47	0.06	0.54
<i>k_p</i> , %/h															
DM	1.46	1.33	1.45	1.57	1.31	1.24	1.23	1.35	0.201	0.48	0.49	0.92	0.59	0.86	0.26
IDM	2.95	2.48	2.66	2.83	3.22	2.44	1.70	3.17	0.788	0.88	0.70	0.65	0.83	0.60	0.14
OM	1.36	1.25	1.37	1.49	1.22	1.17	1.17	1.27	0.187	0.49	0.38	0.88	0.56	0.89	0.29
N	0.98	0.89	0.91	1.08	0.88	0.90	0.89	0.93	0.157	0.75	0.55	0.59	0.76	0.87	0.30
NDF	2.06	1.87	2.13	2.43	2.22	1.89	1.85	2.20	0.332	0.80	0.43	0.84	0.34	0.89	0.11
dNDF	1.82	1.79	2.03	2.61	2.19	1.99	1.93	2.14	0.280	1.00	0.13	0.33	0.06	0.35	0.09
iNDF	2.48	2.02	2.38	2.30	2.39	1.95	1.64	2.26	0.602	0.63	0.85	0.66	0.80	0.61	0.32
ADF	2.06	2.05	2.10	2.34	1.95	2.14	2.23	2.20	0.479	0.99	0.51	0.70	0.99	0.94	0.97
Starch	0.06	0.06	0.06	0.04	0.06	0.09	0.11	0.09	0.027	0.32	0.43	0.66	0.28	0.64	0.24
Rate of digestion, %/h															
DM	5.30	4.96	4.97	5.64	5.30	5.40	4.88	5.75	0.44	0.81	0.75	0.16	0.64	0.48	0.06
OM	5.69	5.29	5.35	6.04	5.70	5.75	5.28	6.21	0.47	0.78	0.64	0.19	0.69	0.46	0.05
N	4.01	3.57	3.77	4.12	3.13	3.50	3.02	3.23	0.33	0.12	0.91	0.45	0.29	0.32	0.34
NDF	3.07	2.91	2.66	3.07	2.31	2.34	2.37	2.76	0.30	0.09	0.76	0.36	0.32	0.82	0.21
ADF	1.67	1.55	1.14	1.59	1.13	1.01	0.90	1.02	0.21	0.06	0.31	0.90	0.96	0.87	0.20
Starch	16.3	15.6	19.4	19.1	20.0	20.8	17.5	28.3	4.18	0.35	0.22	0.25	0.85	0.17	0.25

Item ¹	Barley				Corn				<i>P</i> value ²						
	Processed		Unprocessed		Processed		Unprocessed								
	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SEM	G	P	D	G×P	G×D	P×D
RRT, h															
DM	34.9	41.7	39.5	42.0	37.1	53.8	59.4	41.0	11.32	0.43	0.58	0.76	0.85	0.67	0.14
iDM	69.4	78.4	70.3	66.3	78.8	89.0	86.7	79.7	11.41	0.35	0.57	0.71	0.66	0.93	0.18
NDF	48.5	54.4	47.9	42.6	46.7	60.5	55.6	51.1	7.84	0.53	0.44	0.55	0.47	0.60	0.09
dNDF	54.5	58.5	51.0	40.6	46.3	56.2	52.6	49.1	6.87	0.99	0.13	1.00	0.16	0.37	0.07
iNDF	39.6	48.8	42.7	48.8	49.8	69.3	66.7	62.9	15.28	0.24	0.70	0.38	0.83	0.99	0.45
ADF	50.6	53.0	49.4	47.6	54.0	54.8	46.8	50.2	10.21	0.90	0.40	0.82	0.81	0.87	0.94

¹ dNDF: Digestible NDF; WSC: Water-soluble carbohydrates; k_p : passage rate, iDM: Indigestible DM; iNDF: Indigestible NDF, k_d : digestion rate, RRT; rumen residence time.

² G: Effect of grain source; P: Effect of grain processing; D: Effect of protein degradability; G × P: Interaction between grain source and processing treatment; G × D: Interaction between grain source and protein degradability; P × D: Interaction between grain processing and protein degradability.

Table 2.8 Effects of grain source (barley vs. corn), grain processing (unprocessed vs. processed), and protein degradability [untreated soybean meal (SBM) vs. heat treated soybean meal (HSBM)] on potential degradability of rumen ingesta and faecal output of digestible and indigestible fraction of DM and NDF in kids fed concentrate-based diets.

Item ¹	Barley				Corn				<i>P</i> value ²						
	Unprocessed		Processed		Unprocessed		Processed								
	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SBM	HSBM	SEM	G	P	D	G×P	G×D	P×D
Rumen ingesta															
DM degradability, %	82.8	80.7	80.0	81.6	89.6	84.8	88.0	88.4	1.81	<0.01	0.96	0.26	0.37	0.36	0.06
dDM, g/kg BW ^{0.75}	31.1	31.4	30.8	27.4	34.5	31.3	36.9	30.8	2.59	0.28	0.64	0.03	0.22	0.23	0.20
iDM, g/kg BW ^{0.75}	6.53	7.52	7.81	6.28	4.03	5.80	4.96	4.23	0.91	<0.01	0.80	0.83	0.77	0.50	0.05
NDF degradability, %	64.4	60.3	59.3	61.1	73.0	63.3	70.3	70.0	4.62	0.07	0.98	0.27	0.46	0.49	0.17
dNDF, g/kg BW ^{0.75}	9.54	9.26	9.05	7.82	8.84	7.81	9.27	8.18	0.88	0.53	0.61	0.12	0.23	0.78	0.65
iNDF, g/kg BW ^{0.75}	5.42	6.22	6.39	5.17	3.22	4.68	3.90	3.37	0.77	<0.01	0.72	0.79	0.78	0.49	0.06
Feces															
DM degradability, %	65.7	63.8	64.6	69.4	75.9	73.3	83.0	73.2	3.87	0.02	0.22	0.31	0.78	0.11	0.96
dDM, g/kg BW ^{0.75}	9.18	8.43	9.15	9.07	8.43	7.15	9.40	7.33	0.73	0.21	0.29	0.02	0.74	0.13	0.93
iDM, g/kg BW ^{0.75}	4.47	4.34	4.78	3.83	2.89	2.74	2.07	2.98	0.49	<0.01	0.54	0.75	0.80	0.15	0.84
NDF degradability, %	57.3	56.9	55.6	64.9	72.7	66.2	74.2	71.4	4.17	0.01	0.20	0.96	0.96	0.08	0.19
dNDF, g/kg BW ^{0.75}	4.41	4.22	4.58	5.08	4.29	3.29	4.14	3.67	0.40	0.08	0.18	0.21	0.38	0.06	0.19
iNDF, g/kg BW ^{0.75}	3.23	3.01	3.55	2.67	1.67	1.69	1.53	1.62	0.31	<0.01	0.77	0.22	0.81	0.14	0.46

¹ dDM: Digestible DM; iDM: Indigestible DM; dNDF: Digestible NDF; iNDF: Indigestible NDF.

² G: Effect of grain source; P: Effect of grain processing; D: Effect of protein degradability; G × P: Interaction between grain source and processing treatment; G × D: Interaction between grain source and protein degradability; P × D: Interaction between grain processing and protein degradability.

2.5 Discussion

In the current experiment with high concentrate diets, few significant multiple interactions (grain source $\times$ grain processing $\times$ protein degradability) were observed. Being limited to few parameters (i.e. ruminal $\text{NH}_3\text{-N}$, urinary xanthine, and total PD excretion), these interactions could be considered of a low biological significance.

2.5.1 Grain sources

Depending on the BW groups, between 33 and 38% more barley than corn was offered to meet NRC (2007) energy requirements for growing kids (Table 2.2). As a consequence, greater intakes of N, NDF, ADF, and WSC, along with tendencies for greater intakes of concentrate and DM were observed for barley- than corn-fed kids. Higher concentrations of NDF, ADF, and WSC in barley can also account for the greater intakes of those feed constituents by barley-fed kids. Conversely, greater starch concentration in corn compared with barley (78.1 vs. 51.0% DM) translated into a greater intake of starch for corn-fed kids, despite lower concentrate intake. The higher amount of digested N for barley-fed kids was related to higher N intake with no difference in fecal N output for this group. Dijkstra et al. (2013) demonstrated that higher N intake increased N losses in urine as compared to feces. Moreover, increasing post-ruminal energy supply is known to reduce N losses (Dijkstra et al., 2013) which is expected to increase N retention. In the present study, higher N retained in regards to DM intake for corn- compared with barley-fed kids was observed.

Greater production of rumen VFA and higher hypoxanthine excretion in urine with barley were possibly affected by the higher intake of kids. An increase in rumen VFA production with barley compared with corn was also observed by Oltjen et al. (1967). The prolamin matrix surrounding starch granules in corn is more resistant to microbial digestion than the barley matrix (McAllister et al., 1990), which could limit fermentation and consequently VFA production. Higher NDF rumen mass observed with barley might be related to the higher intake with this treatment as compared with corn. Furthermore, barley-fed kids ingested more ADF and tended to ingest more DM, but ended with similar rumen

mass and digestibility for these components. These conditions should lead to higher rates of passage (Grover and Williams, 1977; Huhtanen and Kukkonen, 1995), which were not observed in our study with high concentrate diets. As an explanation, digestion rate of NDF was higher for barley- compared with corn-fed kids. Indeed, Herrera-Saldana et al. (1990) determined that degradability was higher for barley than corn.

Degradability of DM and NDF of rumen ingesta ranged from 80.0 to 89.6% and 59.3 to 73.0%, respectively. The same parameters in feces ranged from 63.8 to 83.0% for DM, and 55.6 to 74.2% for NDF. Our values with goat kids fed high concentrate diets are in the same range as those reported by Huhtanen and Khalili (1991) in dairy cows. Indigestible DM and iNDF of rumen ingesta and feces were higher in barley- compared with corn-fed kids, which is in accordance with the lower degradability of DM and NDF of rumen ingesta and feces of barley-fed kids. Barley contains more than twice the level of iNDF found in corn (Krämer et al., 2012).

2.5.2 Grain source × Protein degradability

The effect of protein degradability on microbial protein synthesis in the rumen seemed to be influenced by grain source. When corn was offered with SBM, the excretion of PD ($\text{mmol/ kg RDOM/ kg BW}^{0.75}$) was higher than with HSBM, whereas the opposite was observed when kids were fed barley. Matras et al. (1991), working with sheep, reported an interaction between different grain (barley vs. sorghum) and protein degradability (different mixtures of varied proportions of urea, blood meal, and corn gluten meal) for PD excretion. They explained that ammonia release was possibly too slow for sorghum and too fast for barley under the condition of their study. They concluded that there was a benefit to use grain and protein source with similar degradation rates. Seo et al. (2010) showed significantly higher microbial protein synthesis and Aldrich et al. (1993) observed higher passage of microbial N with synchronized compared with unsynchronized diets. On the contrary, Casper et al. (1999) with dairy cows and Rotger et al. (2006b) with beef cattle, reported no interaction between carbohydrate sources and protein degradability on microbial N production.

2.5.3 Grain processing × Protein degradability

Nitrogen balance, PD excretion, rumen kinetics, and rumen ingesta degradability tended to or were significantly different depending on grain processing and protein degradability combinations. Rumen mass of DM, OM, and NDF were higher with processed grain and SBM compared with HSBM whereas they were similar with unprocessed grain. In the present study, SBM contained almost twice the level of A + B1 protein sub-fractions than HSBM (154.0 vs. 87.4 mg/g N). Feed non protein N and the true protein fraction that is rapidly degradable are used by bacteria for protein synthesis (Johnson, 1976), if there is sufficient carbohydrates available in the rumen. Processed grains with SBM led to higher levels of readily fermentable substrates in rumen of kids that may have negatively modified the ruminal environment and impaired OM digestion. Indeed, processing grains increases ruminal flora access to starch (Hale, 1973). Greater accessibility and fermentation could explain the lower pH of rumen fluid (Aldrich et al., 1993). In fact, pH tended to be lower when processed grains were offered with SBM (5.84) compared with HSBM (5.97). Kids fed unprocessed grains had similar pH irrespective of protein degradability with an average of 5.91. A limit of 5.8 in ruminal pH is considered critical for cellulolytic bacteria number and activity (Russell and Wilson, 1996). Ruminal pH observed with processed grains and SBM are close to this limit which may explain higher rumen mass of DM, OM, and NDF with this treatment. Rumination time of whole grains is twice as long as processed grains impacting positively the ruminal environment in sheep (Ørskov, 1976). With unprocessed grains and SBM, fermentable material will have to be processed (mastication) by the goat to be fermented, and rumen pH will be buffered by saliva produced through rumination. Consequently, negative effects of processed grain with SBM that occurred in the rumen possibly decreased rate of digestion of DM and OM and also passage rate of dNDF because of deleterious effect of low pH on cellulolytic bacteria. Also, lower availability of nutrients with unprocessed grain and HSBM compared with processed grain could explain the longer RRT of NDF and dNDF in rumen whereas RRT were similar for processed grain regardless of protein degradability, and for unprocessed grain with SBM.

In kids fed unprocessed grain, N losses in urine were higher, and consequently N retained was lower with SBM compared with HSBM. As mentioned before, a portion of N from SBM was probably wasted because of a shortage of energy from carbohydrates due to the lower rate of degradation with processed grain compared with unprocessed grain diet. Main effect of protein degradability revealed greater concentrate and N intake for SBM-compared with HSBM-fed kids and probably caused higher N losses in urine but no difference in fecal N contents, leading to higher N digested. However, those results were not expected since studies with goats reported that protein degradability had no effect on intake (Sahlu et al., 1992; Hadjipanayiotu and Photiou, 1995; Soto-Navarro et al., 2003). Kiran and Mutsvangwa (2007) found no interaction between grain processing (dry-rolled vs. pelleted) and protein degradability (changing inclusion levels of urea, canola meal, and corn gluten meal in concentrate) on N metabolism in growing lambs. On the contrary, Pattanaik et al. (2003) working with calves fed processed grain, reported greater N retained with low compared with high level of degradable protein. In the present study, higher values for N retained were observed with unprocessed grain coupled with HSBM. When served with unprocessed grain, the possible excess of N in the rumen related to SBM, that led to higher losses in urine and less N retained, did not impair bacteria production. Rumination of unprocessed grain, leading to favorable conditions in the rumen towards bacteria and availability of nutrients, probably explains higher PD excretion with unprocessed grain and SBM compared with HSBM, whereas similar excretion with processed grain irrespective of protein degradability source was observed.

Rumen ingesta DM degradability tended to be higher in kids fed unprocessed grain with SBM compared to HSBM. Indeed, higher content of iDM and iNDF with HSBM negatively impacted rumen ingesta DM degradability. Less degradable protein with HSBM reduced fermentation in the rumen, as suggested by the increase of NDF and dNDF RRT. However, no difference was observed in feces degradability and whole tract apparent digestibility of all nutrients regardless of protein degradability and grain processing. Indeed, digestion probably occurred in higher proportion in the lower gut with ration containing HSBM as observed previously by Coomer et al. (1993).

2.6 Conclusion

Grain source effects on nutrient intake and N balance were a consequence of a greater intake for barley- as compared with corn-fed kids. Urine excretion of PD was higher when corn (slowest fermented grain) was offered with SBM (highest soluble protein fraction content) compared with HSBM (lowest soluble protein fraction content). With barley (fastest fermented grain), PD urine excretion was higher with HSBM compared with SBM. Protein degradability interacted with grain source but also with grain processing in relation to PD urine excretion and rumen kinetics. Efficiency of chewing during eating and rumination of unprocessed grain, which probably favored rumen environment, coupled with SBM led to a higher PD urine excretion than with HSBM, whereas excretion levels were similar with processed grain regardless of protein degradability.

2.7 Literature cited

- AOAC, 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Aldrich, J. M., L. D. Muller, G. A. Varga, and L. C. Griel. 1993. Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow, and performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:1091-1105. doi:10.3168/jds.S0022-0302(93)77438-X.
- Boer, G. D., J. J. Murphy, and J. J. Kennelly. 1987. A modified method for determination of in situ rumen degradation of feedstuffs. *Can. J. Ani. Sci.* 67:93-102. doi:10.4141/cjas87-011.
- Canadian Council on Animal Care. 1993. Guide to the care and use of experimental animals. 2nd ed., Vol. 1. CCAC, Ottawa, Ontario, Canada.
- Casper, D. P., H. A. Maiga, M. J. Brouk, and D. J. Schingoethe. 1999. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:1779-1790. doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75408-1.
- Chalupa, W. 1975. Rumen bypass and protection of proteins and amino acids. *J. Dairy Sci.* 58:1198-1218. doi:10.3168/jds.S0022-0302(75)84697-2.
- Chen, X. B., and M. J. Gomes. 1992. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives—An overview of the technical details. International Feed Resources Unit. Rowett Research Institute, Bucksburn, Aberdeen, UK. (Occasional Publication).
- Clark, J. H., T. H. Klusmeyer, and M. R. Cameron. 1992. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:2304-2323. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77992-2.
- Coomer, J. C., H. E. Amos, M. A. Froetschel, K. K. Ragland, and C. C. Williams. 1993. Effects of supplemental protein source on ruminal fermentation, protein degradation, and amino acid absorption in steers and on growth and feed efficiency in steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 71:3078-3086. doi:/1993.71113078x.
- Dijkstra, J., O. Oenema, J. W. van Groenigen, J. W. Spek, A. M. van Vuuren, and A. Bannink. 2013. Diet effects on urine composition of cattle and N₂O emissions. *Animal*. 7(Suppl. 2):292-302. doi:10.1017/S1751731113000578.
- Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28:350-356. doi:10.1021/ac60111a017.
- Dulphy J.P., B. Carle, and C. Demarquilly. 1990. Quantités ingérées et activités alimentaires comparées des ovins, bovins et caprins recevant des fourrages conservés avec ou sans aliment concentré. I. Etude descriptive. *Ann. Zootech.* 39:95-111. doi:10.1051/animres:19900202.
- Grovum, W. L., and V. J. Williams. 1977. Rate of passage of digesta in sheep. *Br. J. Nutr.* 38:425-436. doi:10.1079/BJN19770107.
- Hadjipanayiotou, M., and A. Photiou. 1995. Effects of protein source and level on performance of lactating Damascus goats in negative energy balance. *Small Rumin. Res.* 15:257-263. doi:10.1016/0921-4488(94)00034-5.
- Hale, W. H. 1973. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. *J. Anim. Sci.* 37:1075-1080. doi:10.2134/jas1973.3741075x.

- Hall, M. B., J. P. Jennings, B. A. Lewis, and J. B. Robertson. 2001. Evaluation of starch analysis methods for feed samples. *J. Sci. Food and Agric.* 81:17-21. doi:10.1002/1097-0010(20010101)81:1<17::aid-jsfa758>3.0.co;2-b.
- Hassanat, F., R. Gervais, C. Julien, D. I. Massé, A. Lettat, P. Y. Chouinard, H. V. Petit, and C. Benchaar. Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: Effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96:4553-4567. doi:10.3168/jds.2012-6480.
- Herrera-Saldana, R. E., J. T. Huber, and M. H. Poore. 1990. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73:2386-2393. doi:10.3168/jds.S0022-0302(90)78922-9.
- Huhtanen, P., and H. Khalili. 1991. Sucrose supplements in cattle given grass silage-based diet. 3. Rumen pool size and digestion kinetics. *Anim. Feed Sci. Technol.* 33:275-287. doi:10.1016/0377-8401(91)90066-2.
- Huhtanen, P., and U. Kukkonen. 1995. Comparison of methods, markers, sampling sites and models for estimating digesta passage kinetics in cattle fed at two levels of intake. *Anim. Feed Sci. Technol.* 52:141-158. doi:10.1016/0377-8401(94)00699-A.
- Johnson, R. R. 1976. Influence of carbohydrate solubility on non-protein nitrogen utilization in the ruminant. *J. Anim. Sci.* 43:184-191. doi:10.2134/jas1976.431184x.
- Kiran, D., and T. Mutsvangwa. 2007. Effects of barley grain processing and dietary ruminally degradable protein on urea nitrogen recycling and nitrogen metabolism in growing lambs. *J. Anim. Sci.* 85:3391-3399. doi:10.2527/jas.2007-0081.
- Kolver, E., L. D. Muller, G. A. Varga, and T. J. Cassidy. 1998. Synchronization of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:2017-2028. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75776-5.
- Krämer, M., M. R. Weisbjerg, P. Lund, C. S. Jensen, and M. G. Pedersen. 2012. Estimation of indigestible NDF in forages and concentrates from cell wall composition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 177:40-51. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.07.027.
- Landau, S., D. Kababya, N. Silanikove, R. Nitsan, L. Lifshitz, H. Baram, I. Bruckental, and S. J. Mabjeesh. 2005. The ratio between dietary rumen degradable organic matter and crude protein may affect milk yield and composition in dairy sheep. *Small Rumin. Res.* 58:115-122. doi:10.1016/j.smallrumres.2004.09.014.
- Licitra, G., T. M. Hernandez, and P. J. Van Soest. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57:347-358. doi:10.1016/0377-8401(95)00837-3.
- Matras, J., S. J. Bartle, and R. L. Preston. 1991. Nitrogen utilization in growing lambs: effects of grain (starch) and protein sources with various rates of ruminal degradation. *J. Anim. Sci.* 69:339-347. doi:1991.691339x.
- McAllister, T. A., L. M. Rode, D. J. Major, K. J. Cheng, and J. G. Buchanan-Smith. 1990. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Can. J. Anim. Sci.* 70:571-579. doi:10.4141/cjas90-069.
- NR. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Natl. Aca. Press, Washington, DC.
- Oltjen, R. R., A. S. Kozak, P. A. Putnam, and R. P. Lehmann. 1967. Metabolism, plasma amino acid and salivary studies with steers fed corn, wheat, barley and milo all-concentrate rations. *J. Anim. Sci.* 26:1415-1420. doi:10.2134/jas1967.2661415x.
- Ørskov, E. R. 1976. The effect of processing on digestion and utilization of cereals by ruminants. *Pro. Nutr. Soc.* 35:245-252. doi:10.1079/PNS19760038.

- Ørskov, E. R. 1979. Recent information on processing of grain for ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 6:335-347. doi:10.1016/0301-6226(79)90002-2.
- Pattanaik, A. K., V. R. B. Sastry, R. C. Katiyar, and M. Y. Murarilal. 2003. Influence of grain processing and dietary protein degradability on nitrogen metabolism, energy balance and methane production in young calves. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 16:1443-1450. doi:10.5713/ajas.2003.1443.
- Robinson, P. H., S. Tamminga, and A. M. van Vuuren. 1987. Influence of declining level of feed intake and varying the proportion of starch in the concentrate on rumen ingesta quantity, composition and kinetics of ingesta turnover in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 17:37-62. doi:10.1016/0301-6226(87)90051-0.
- Rotger, A., A. Ferret, X. Manteca, J. L. R. de la Torre, and S. Calsamiglia. 2006a. Effects of dietary nonstructural carbohydrates and protein sources on feeding behavior of tethered heifers fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 84:1197-1204. doi:2006.8451197x.
- Rotger, A., A. Ferret, S. Calsamiglia, and X. Manteca. 2006b. Effects of nonstructural carbohydrates and protein sources on intake, apparent total tract digestibility, and ruminal metabolism in vivo and in vitro with high-concentrate beef cattle diets. *J. Anim. Sci.* 84:1188-1196. doi:2006.8451188x.
- Russell, J. B., and D. B. Wilson. 1996. Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? *J. Dairy Sci.* 79:1503-1509. doi:1992.70113551x.
- Sahlu, T., J. M. Fernandez, C. D. Lu, and R. Manning. 1992. Dietary protein level and ruminal degradability for mohair production in Angora goats. *J. Anim. Sci.* 70:1526-1533. doi:1992.7051526x.
- Schmidely, P., H. Archimède, P. Bas, A. Rouzeau, S. Munoz, and D. Sauvant. 1996. Effects of the synchronization of the rate of carbohydrates and nitrogen release of the concentrate on rumen fermentation, plasma metabolites and insulin, in the dry pregnant goat. *Anim. Feed Sci. Technol.* 63:163-178. doi:10.1016/S0377-8401(96)01033-4.
- Seo, K. J., J. Yang, H. J. Kim, S. D. Upadhaya, W. M. Cho, and J. K. Ha. 2010. Effects of synchronization of carbohydrate and protein supply on ruminal fermentation, nitrogen metabolism and microbial protein synthesis in holstein steers. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 23:1455-1461. doi:10.5713/ajas.2010.10247.
- Sinclair, L. A., P. C. Garnsworthy, J. R. Newbold, and P. J. Buttery. 1993. Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci.* 120:251-263. doi:10.1017/S002185960007430X.
- Sinclair, L. A., P. C. Garnsworthy, J. R. Newbold, and P. J. Buttery. 1995. Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with a similar carbohydrate composition on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci.* 124:463-472. doi:10.1017/S0021859600073421.
- Sniffen, C. J., J. D. O'Connor, P. J. Van Soest, D. G. Fox, and J. B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70:3562-3577. doi:1992.70113562x.
- Soto-Navarro, S. A., A. L. Goetsch, T. Sahlu, R. Puchala, and L. J. Dawson. 2003. Effects of ruminally degraded nitrogen source and level in a high concentrate diet on site of digestion in yearling Boer $\times$ Spanish wether goats. *Small Rumin. Res.* 50:117-128. doi:10.1016/S0921-4488(03)00120-2.

- Stern, M. D., G. A. Varga, J. H. Clark, J. L. Firkins, J. T. Huber, and D. L. Palmquist. 1994. Evaluation of chemical and physical properties of feeds that affect protein metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 77:2762-2786. doi:10.3168/jds.S0022-0302(94)77219-2.
- Storm, E., and E. R. Ørskov. 1983. The nutritive value of rumen micro-organisms in ruminants. *Br. J. Nutr.* 50:463-470. doi:10.1079/BJN19830114.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- Vanzant, E. S., R. C. Cochran, and E. C. Titgemeyer. 1998. Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *J. Anim. Sci.* 76:2717-2729. doi:1998.76102717x.

Chapitre 3 Effects of level of barley and corn in concentrate-fed Boer kids on growth performance, meat quality, and muscle fatty acid composition

3.0 Résumé

Cette expérience a été réalisée afin de comparer les effets du maïs et de l'orge sur les performances de croissance, la qualité de la viande et le profil en acides gras (AG) du gras musculaire. Vingt-quatre chevreaux ont été assignés à un des trois traitements consistant en différentes proportions orge:maïs dans le concentré : 1) 100:0, 2) 50:50 et 3) 0:100. Quinze de ces chevreaux ont été abattus. L'ajout d'orge dans le concentré a provoqué une augmentation linéaire de la consommation de concentré ($P < 0,01$) et une tendance à l'augmentation du gain moyen quotidien ($P = 0,08$). Les qualités de la carcasse et de la viande n'ont pas été influencées par les traitements et une viande de bonne qualité a été obtenue. Avec l'inclusion de maïs dans la ration, les concentrations d'AG n-3 et n-6 dans le gras de la viande ont augmenté de façon linéaire ($P < 0,01$), alors que le ratio des AG n-6/n-3 du gras de la viande a diminué de façon linéaire ($P < 0,01$).

3.1 Abstract

This experiment was conducted to compare the impact of corn and barley on growth performance, meat quality, and fatty acid (FA) composition of meat fat in goat kids. Twenty-four Boer males (25.1 ± 1.5 kg) were blocked by body weight and allotted randomly within block to one of three experimental diets. Treatments consisted in varying proportions of barley to corn in the concentrate: 1) 100:0, 2) 50:50, and 3) 0:100. Fifteen randomly selected kids ($n = 5$ kids/treatment) were slaughtered and the longissimus thoracis et lumborum muscle was collected. Inclusion of barley in diet linearly increased concentrate DM intake ($P < 0.01$) and tended to increase average daily gain ($P = 0.08$). There was no significant difference on carcass traits and meat quality among treatments, and overall good quality meat was obtained. Concentrations of n-3 and n-6 FA increased linearly ($P < 0.01$), whereas n-6/n-3 FA ratio linearly decreased ($P < 0.01$) in meat fat as corn inclusion in the diet increased.

3.2 Introduction

Different grain sources in ruminant diets influence growth performance. Indeed, lambs fed high concentrate diet containing corn or sorghum had greater ADG compared to wheat (Hart and Doyle, 1985). In contrast, carcass traits and meat quality parameters seemed to be less impacted than performance by grain sources in the diet. According to Gaebe et al. (1998), dressing percentage, fat thickness, and ribeye area of crossbred steers were not influenced by grain source. Neither sensory analysis nor retail quality measurements of beef were affected by corn or wheat dried distillers' grains with solubles (Aldai et al. 2010). Similarly, composition and pH of steaks from corn-fed compared to barley-fed steers were similar as reported by Boles et al. (2005), but were rated higher for overall tenderness as assessed by a trained panel in the study of Wismer et al. (2008).

In Canada, corn and barley are widely used as energy sources for grow cattle. Those grains are known to differently influence rumen environment (Frederickson et al. 1993) due to their distinctive starch concentration and rate of degradation (Herrera-Saldana et al. 1990). Studies have been done comparing those grains in lambs (Petit 2000), but with respect to goat meat, data are scarce. Goats are different among other ruminants in regards to nutrition (Morand-Fehr 2005) or rumen microbiota (Lee et al. 2012), which represent some intrinsic factors that could interact with grain source and affect carcass traits, as well as meat quality and fatty acid (FA) profile (Hocquette et al. 2012). The aim of this experiment was to study the effects of level of barley and corn in concentrate-based diets on growth performance, meat quality, and meat FA profile in growing kids.

3.3 Materials and Methods

3.3.1 Animals and diets

Twenty-four Boer goat kids, with an average initial body weight (BW) of 25.1 ± 1.5 kg, from six commercial farms were transported and housed individually during the entire experiment at the Centre de recherche en sciences animales de Deschambault, Québec, Canada. Kids were blocked by BW and allotted randomly within block to dietary treatments. Experimental diets consisted of a barley-based concentrate (100% barley in the diet; BBD), a barley- and corn-based concentrate (50% barley and 50% corn in the diet; BCBD), and a corn-based concentrate (100% corn in the diet; CBD). All diets were formulated with restricted amount of hand-mixed experimental concentrate (grain, soybean meal, and vitamin-mineral premix) and ad libitum grass hay (Table 3.1). Experimental diets were designed to meet the National Research Council (2007) requirements for maintenance and growth of 0.15 kg d^{-1} . Dietary supplies were adjusted for kid BW throughout the experiment. Animals were fed twice daily (0800 and 1500) and had free access to water and salt block at all time. Concentrate and hay refusals were weighed every morning before feeding for voluntary intake calculations. Individual samples of feed and refusals were oven-dried at 55°C for 72 hours to determine dry matter (DM) concentration.

Actual intakes of forage, concentrate, and total DM were compared with the predicted values based on energy content of feed ingredients calculated according to the equations proposed by the NRC (2007). Calculations were based on average feed intake of all animals from day 1 to 76 of the fattening period, which correspond to the time when the first set of kids was sent to the slaughterhouse. Difference between actual and predicted intakes was then determined and expressed as percentage of predicted values.

Table 3.1 Chemical composition of experimental diet ingredients.

	Grass hay	Barley	Corn	Soybean meal
Nutrient composition (% DM basis)				
Dry matter	91.9	87.7	85.6	89.0
Organic matter	93.1	97.3	98.8	93.4
Crude protein	10.3	12.5	8.3	49.1
Neutral detergent fiber	61.1	21.8	10.1	15.4
Acid detergent fiber	36.0	8.7	3.6	8.4
Starch	0.8	51.2	76.1	1.3
Fatty acid (g/100 g of total FA) ¹				
14:0	1.0	0.3	0.1	0.2
16:0	27.8	22.9	11.0	18.5
c9 16:1	2.4	0.3	0.2	0.2
18:0	3.5	1.6	2.2	4.9
18:1	4.3	25.4	31.0	12.0
c9c12 18:2	18.1	47.7	54.6	57.7
c9c12c15 18:3	40.6	2.0	1.0	6.5

¹ FA= Fatty acids

Body weight was recorded weekly until kids reached a targeted live weight of 45 kg. Fifteen kids ($n = 5$ kids/treatment) were randomly selected for meat quality determination. Kids were fasted overnight (16 h) with free access to water, and weighed (shrunk BW) just before they were transported for 85 km to a multi species commercial slaughterhouse. Kids were kept isolated from other species until slaughtering. Experimental procedures using animals were in accordance with the principles and guidelines of the Canadian Council of Animal Care (2009), and were approved by a local animal care committee.

3.3.2 Carcass traits and meat quality

Immediately after slaughter, carcasses were weighed and stored in a chilling room following the commercial practice of the slaughterhouse. Dressing percentage was determined as hot carcass weight divided by shrunk BW $\times 100$. Approximately 96 h post-mortem, carcasses were split along the vertebral column into halves and the longissimus thoracis et lumborum (LTL) muscle was removed from the left side. The LTL was cut between the 12th and 13th ribs and ultimate pH (pHu) was determined using a spear type

electrode (Mettler-Toledo LoT406-M6-DXK-S7/25, Mettler Toledo Ingold Inc., Bedford, MA, USA). At the same site, the width and depth of the muscle surface were measured for the ribeye area determination. Samples of LTL were then frozen at -20 °C for further analysis.

For shear forces measurements, frozen anterior parts of LTL were thawed at 2 °C for 48 h and weighed before vacuum packing. Samples were cooked in an autoclave (Autoclave Pilot Rotor 900, Herman Stock Maschinenfabrik GmbH, Neumunster, Germany) until internal temperature reached 68 °C (Pouliot et al. 2009), and chilled overnight at 4 °C. Two hours prior to Warner-Bratzler shear force (WBSF) determination, samples were kept at room temperature and weighed for cooking loss calculations. At least ten core samples of 1-cm² area for each kid, cut parallel to muscle axis, were sheared with a Warner-Bratzler cutting device using a texturometer (TA-XT2i Texture Analyser, Stable Micro System, Godalming, Surrey, UK).

The posterior parts of LTL were ground and lyophilised (Lyo-Tech Inc., Orange, CA, USA) for DM determination. The dried samples were used for determination of crude protein (CP) concentration using the LECO FP-428 nitrogen determinator (LECO Corporation, St. Joseph, MI, USA). Crude fat concentration of the muscle was determined with a Soxtec 2050 (Foss, Eden Prairie, MN, USA) according to Association of Official Analytical Chemists official methods (2003.06; 2006). Meat lipids were extracted and fatty acids were methylated and analysed by gas chromatography following the method described by Paradis et al. (2008); specific meat FA were all expressed as g per 100 g of total FA in meat fat. Hydroxyproline analysis of total collagen was assessed according to Kolar (1990). Collagen solubility was also determined as described by Hill (1966).

3.3.3 Statistical analysis

During the fattening period, one kid was removed from the experiment due to problems unrelated to treatments. Data for performance parameters from the 23 kids were analysed as a randomized incomplete block design. Statistical analyses were performed using the MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc.; Cary, NC, USA), and block was

included in the model as a random effect. Statistical analysis for meat quality parameters and FA profiles ($n = 15$) were performed as a completely randomised design. Treatments were evaluated for linear and quadratic effects of grain substitution using polynomial contrasts. Statistical significance was declared when $P \leq 0.05$ and trend was considered when $0.05 < P \leq 0.10$.

3.4 Results and Discussion

3.4.1 Performance

Performance of Boer goat kids are shown in Table 3.2. As expected, intake of concentrate increased linearly with the proportion of barley in the concentrate as a result of greater supply of DM to compensate for the lower energy content of barley compared with corn ($P < 0.01$). Indeed, more barley than corn was needed to meet energy requirements (NRC, 2007) for growing kids. Previous studies have shown that dry matter intake (DMI) was not influenced by grain source in lambs (Yahaghi et al. 2013), but contradictory results have also been reported for those species (Sormunen-Cristian 2013).

Hay intake was 75.7% greater than the predicted values for BBD which corresponds to a supplementary intake of about 120 g d^{-1} (Tableau 3.2). On the contrary, the prediction of concentrate intake was overestimated by 17.0%, which represents an average of 135 g DM per day during the fattening period. As a result, actual intake of total DM was close to the predicted values (+1.2%). When comparing with BBD (Table 3.2), the deviations from predicted values with CBD were lower for hay intake (+17.6%, $+47 \text{ g d}^{-1}$; $P = 0.05$), and tended to be lower for concentrate intake (-9.2%, -57 g d^{-1} ; $P < 0.09$). As it was observed for BBD, the prediction of total intake with CBD was accurate with a deviation of only 0.4% compared with actual DMI. Herrera-Saldana et al. (1990) reported that ruminal pH decreased due to rapidly fermentable carbohydrates and proteins contained in barley compared with corn. Although not assessed in the current trial, this anticipated effect on ruminal fermentation could explain the larger differences between actual and predicted intakes of individual feeds for BBD. Previous studies have established that goats are able to adapt their feeding behaviour to diet composition in order to avoid pH drop and subacute

ruminal acidosis (Abijaoudé et al. 2000). In the current experiment, when kids were fed BBD, lower intake of concentrate and higher intake of hay compared with predicted values may have resulted in an increase of rumination and saliva production that buffered rumen pH, as a mechanism to counteract acidosis.

Table 3.2 Growth performance of Boer kids fed 100% barley- (BBD), 50% barley- and 50% corn- (BCBD), or 100% corn- (CBD) based diet.

	Diet			SEM	P-value	
	BBD	BCBD	CBD		L	Q
<i>n</i>	8	7	8			
Body weight (kg)						
Initial	24.8	25.6	25.0	1.45	0.73	0.13
Final	43.8	44.8	43.4	0.93	0.61	0.12
Intake (g/d)						
Hay	282	354	311	41.1	0.51	0.18
Concentrate	661	605	565	14.0	<0.01	0.61
Total	943	954	876	39.7	0.11	0.24
Deviation from predicted values ^a (%)						
Hay intake	75.7	55.0	17.6	24.53	0.05	0.74
Concentrate intake	-17.0	-8.6	-9.2	3.18	0.09	0.25
Total intake	1.2	9.3	-0.4	6.15	0.81	0.16
Average daily gain (g/d)	179	175	156	10.4	0.08	0.52
Gain to feed (g/kg)	190	183	178	6.6	0.18	0.95
Fattening period (d)	110	111	122	9.6	0.14	0.52

Note: Linear (L) and quadratic (Q) effects of grain substitution.

^a Deviation from predicted intake based on NRC (2007).

Despite that diets were designed to be isoenergetic, kids tended to gain more weight on a daily basis as the proportion of barley increased in the concentrate ($P = 0.08$). This tendency for a greater average daily gain (ADG) with barley resulted in a numerically shorter length of the fattening period required to reach slaughter weight (-12 days; $P = 0.14$). Purebred Boer with similar intake (Solaiman et al. 2012), and younger Boer × Spanish and Boer × Angora crosses (Cameron et al. 2001), obtained lower ADG than the average performance ($170 \pm 10.4 \text{ g d}^{-1}$) reached in the present study. In contrast, Ngwa et al. (2009), using younger Boer crossbred kids, and Gipson et al. (2007), using ad libitum 50 % concentrate-fed kids, observed greater gains. Discrepancies between studies could be explained by the different genotype (Dhanda et al. 1999a) and age (Solaiman et al. 2012) of kids used, as those factors are known to influence gain in meat goat. Gain to feed ratio (184

$\pm 6.6 \text{ g kg}^{-1}$ DMI) was not different among treatments, and was within the range of values published by Animut et al. (2006) and Hu et al. (2012) with Boer goats.

3.4.2 Carcass traits and meat quality

Overall, carcass traits in this study were not affected by the treatments (Table 3.3). As reported earlier by Petit (2000), grain sources had no influence on the dressing yield of lamb. However, to our knowledge, no comparable studies with respect to the type of grain as used herein have been carried out with goats. The average dressing yield ($49.2 \pm 0.85 \%$) observed in the present study was in accordance with values reported by Gibb et al. (1993) with Boer $\times$ Saanen males slaughtered at 38 kg BW. In addition, ribeye area was greater than values reported by Cameron et al. (2001) with Boer $\times$ Spanish kids slaughtered at 33 kg BW. The results obtained in this study are consistent with dressing percentage and ribeye muscle area of male goats which are known to be influenced by final BW and genotype as reported by Dhanda et al. (2003).

Similar to carcass traits, grain source had no effect on meat composition and quality parameters (Table 3.3). Previous observations in beef cattle also established no difference in meat composition between corn and barley (Wismer et al. 2008), but no other comparative studies on the effect of barley to corn ratio in goats has been reported. With respect to meat quality parameters, and in spite of the absence of treatment effect, the LTL pH values reported in Table 3.3 were above 6.0 (overall mean = 6.07). Although such pHu is somewhat high compared to the expected value of around 5.5, the pHu obtained are well in line with the observation of Webb et al. (2005) who reported, in their review, that high pHu are prevalent in goat meat. According to these authors, however, other studies reporting close to normal pH values such as in Dhanda et al. (1999b) and Kannan et al. (2003) ruled out that high pHu in goat is an intrinsic characteristic.

Table 3.3 Carcass traits and meat quality of Boer kids ($n = 5$ per dietary treatment) fed 100% barley- (BBD), 50% barley- and 50% corn- (BCBD), or 100% corn- (CBD) based diet.

	Diet			SEM	P-value	
	BBD	BCBD	CBD		L	Q
Carcass traits						
Final liveweight (kg)	44.2	44.4	42.9	1.02	0.39	0.52
Hot carcass weight (kg)	21.0	22.0	21.1	0.66	0.90	0.29
Dressing (%)	48.9	49.5	49.2	0.85	0.79	0.68
Ribeye area (cm ²)	13.3	13.2	12.8	0.65	0.55	0.81
Meat quality of the <i>longissimus thoracis et lumborum</i> (LTL) muscle						
pHu	6.04	6.27	5.91	0.19	0.65	0.24
Moisture (%)	73.3	73.6	72.9	0.36	0.41	0.30
Protein (% DM)	23.5	23.7	24.0	0.31	0.32	0.81
Intramuscular fat (% DM)	3.4	3.1	3.4	0.24	0.96	0.42
Cooking losses (% DM)	13.7	12.1	15.2	2.01	0.61	0.35
WBSF (N)	31.8	29.4	42.6	4.45	0.11	0.18
Total collagen (mg/g DM)	28.9	29.1	31.4	2.21	0.43	0.70
Soluble collagen (mg/g DM)	6.4	7.1	6.5	0.40	0.94	0.17
Soluble collagen (% DM)	23.0	25.1	21.1	2.41	0.59	0.33

Note: Linear (L) and quadratic (Q) effects of grain substitution; WBSF: Warner-Bratzler shear force.

In this regard, studies by Kannan et al. (2002, 2003) and Simela et al. (2004a) measuring peri-mortem concentrations of glycolytic metabolites in muscles and blood indicate that goat appear to be highly prone to stress, which could potentially explain its more frequent higher meat pH. In spite that goat carcasses with lower pHu were reported to have better tenderness, lower shear force, and colorimetric values (Simela et al. 2004b), the intermediate pH values reported in the current study had no apparent negative effects on the other meat quality traits. Simmons et al. (2000) have indicated that at intermediate pH (pHu between 5.8 and 6.2), lamb meat can be tough and remain as such or tenderize normally or more slowly depending on the interplay between proteolytic systems and muscle fiber shortening. Goat meat however has been reported to be generally less tender than lamb, as reviewed by Webb et al. (2005). An average shear force resistance of 54.4 N along with a lower percentage of collagen solubility than that reported here (Table 3.3) were obtained for Angora and Boer goats of different ages and fatness groups by Schönfeldt et al. (1993). In our study however, the overall mean shear force measured was 34.6 N (Table 3.3) which corresponds to tender meat based on the 50 N shear force threshold for lamb meat to be considered and acknowledged as tender (Hopkins et al. 2006). No comparable data has

been established for goats. The tenderness obtained in our study was attributable in part to the level of total and soluble collagen which were respectively lower and higher than those reported by Kannan et al. (2006) who nevertheless obtained lower shear forces than those in our study. As surveyed by Pouliot et al. (2012), the current post slaughter processes practised in Québec were not optimal for lamb tenderness with only a third of the lambs being below the 50 N shear force threshold for acceptable tenderness due to cold-shortening. It is therefore unlikely that a certain degree of cold-shortening might have occurred in our study as no particular modification were brought in the cooling conditions of the multi-species abattoir where our goats were slaughtered. Subcutaneous fat and sarcomere length have not been measured but as reported by Webb et al. (2005), compared with lamb, goats have a reduced capacity to deposit the needed 4-mm subcutaneous fat cover to prevent cold shortening during post mortem chilling. This situation does not preclude any other potential direct or indirect, albeit small, contribution of the intermediate pH value on the shear forces or cooking losses. As reported by Webb et al. (2005), cooking losses of goat meat are often close to or over 35% owing to the limited intramuscular fat content of the meat. In our study, the average cooking loss measured was 13.7% (Table 3.3), which is lower than cooking losses reported by Gadiyaram et al. (2008). In each of their four studies, and irrespective of the production conditions, fat content was also inferior to the average 3.3% intramuscular fat content measured in our experiment. Lower cooking loss and higher intramuscular fat content are well recognized to contribute to the superior juiciness of the meat. Therefore, in spite of the intermediate pH obtained, our results indicate altogether that production conditions and diets used in this experiment allowed the production of goat meat of good physicochemical and sensory quality.

3.4.3 Fatty acid composition of the LTL muscle

Intake of 16:0 was linearly increased with the level of barley in the concentrate ($P < 0.01$; Table 3.4), but this increase in dietary supply had not influence the concentration of this FA in LTL muscle (Table 3.5). In agreement with the present results, barley-compared to corn-fed steers showed no difference in 16:0 concentration in meat (Miller et al. 1996).

Table 3.4 Fatty acid intake of Boer kids ($n = 5$ per dietary treatment) fed 100% barley- (BBD), 50% barley- and 50% corn- (BCBD), or 100% corn- (CBD) based diet.

	Diet			SEM	P-value	
	BBD	BCBD	CBD		L	Q
Intake (g/d)						
14:0	0.08	0.06	0.05	0.01	<0.01	0.58
16:0	4.54	3.55	3.36	0.13	<0.01	0.12
c9 16:1	0.11	0.12	0.11	0.01	0.96	0.92
18:0	0.46	0.52	0.64	0.02	<0.01	0.23
18:1	3.97	4.31	5.74	0.15	<0.01	0.01
c9c12 18:2	8.78	9.18	11.69	0.29	<0.01	0.01
c9c12c15 18:3	1.71	1.77	1.70	0.20	0.97	0.80
Total FA	19.7	19.5	23.3	0.62	<0.01	0.02

Note: Linear (L) and quadratic (Q) effects of grain substitution.

Intake of c9c12 18:2 was linearly increased with the level of corn in concentrate ($P < 0.01$; Table 3.4) and resulted in a linear increase of this FA in LTL muscle. Concentration of c9c12 18:2 in meat is in accordance with values reported with corn-fed lambs (Young et al. 2003), but approximately 2.5 folds greater than with castrated Liuyang Black goats (Tan et al. 2011).

Intake of c9c12c15 18:3 was not influenced by treatments (Table 3.4). However, the concentration of c9c12c15 18:3 in LTL muscle, as well as long chain FA of the n-3 family desaturated and elongated from this precursor (c5c8c11c14c17 20:5, c7c10c13c16c19 22:5 and c4c7c10c13c16c19 22:6), were increased with the proportion of corn in the diet ($P < 0.01$; Table 3.5). Yang et al. (2012) also noted a higher proportion of c9c12c15 18:3 in meat of goats that received corn compared with wheat. The increase in meat fat concentration of FA of the n-3 family observed with corn was of a greater magnitude when compared with those of the n-6 family (c9c12 18:2 and c8c11c14 20:3). As a result, the n-6 to n-3 FA ratio was decreased with the level of corn in the diet ($P < 0.01$; Table 3.5). The higher proportion of c9c12c15 18:3 in meat observed with corn, despite similar intake of this FA as compared with barley, suggests that FA from corn were better protected against ruminal biohydrogenation. Fatty acids in grain are stored in oleosomes that are mostly found in the germ (Huang 1992). McAllister et al. (1990) demonstrated that starch in corn grain was protected by a protein matrix that is very resistant to bacteria colonization, which

is therefore limiting germ attack by bacteria. This phenomenon could explain a partial protection of polyunsaturated FA against ruminal biohydrogenation. This observation is consistent with the tendency for lower proportion of intermediates of the biohydrogenation pathway (c9t11 18:2 and t11 18:1) in LTL muscle as the proportion of corn increased in the diet.

Such effect have also been reported by Mohammed et al. (2010) in plasma and milk of dairy cows when barley was used in the diet compared with corn. As a consequence of a greater biohydrogenation of polyunsaturated FA when barley was fed to kids compared with corn, a greater proportion of 18:0 coming from the biohydrogenation of polyunsaturated FA would then have been expected with corn. However, the proportion of 18:0 in LTL muscle was similar between BBD and CBD (linear effect, $P = 0.34$; Table 3.5). Such discrepancy could potentially be explained by the activity of the Δ^9 -desaturase. In animal tissues, this enzyme is catalysing the desaturation of 18:0 to c9 18:1 (Mansilla et al. 2008). In dairy cows, Gagliostro et Lavandera (1997) have shown that feeding a barley-based diet increased plasma insulin concentration as compared with a corn-based diet. Moreover, Ward et al. (1998) previously reported that insulin significantly increased the expression of the enzyme Δ^9 -desaturase in adipose tissue of growing lamb. A similar effect on blood insulin concentration, although not assessed by actual measurements in the current experiment, may explain the tendency for a greater desaturase index with BBD as compared with CBD (Table 3.5). As a result, the concentration of c9 18:1 was increased in LTL muscle by about 3 percentage units ($P < 0.02$) with BBD compared with CBD.

Fellner et al. (2008) observed that total *trans* 18:1 in ruminal contents was 3 times greater with barley compared with corn under *in vitro* conditions. In the current experiment, only a numerical increase in total *trans* 18:1 was observed in LTL muscle with BBD compared with CBD ($P = 0.14$; Table 3.6). In beef cattle, total *trans* 18:1 FA content was lower in the LTL muscle from animals fed a high-concentrate diet based on barley (70%, DM basis) as compared with feeding grass silage only (2.06 vs. 3.20% of total FA; Faucitano et al. 2008).

Table 3.5 Fatty acid composition of *longissimus thoracis et lumborum* muscle fat in Boer kids ($n = 5$ per dietary treatment) fed 100% barley- (BBD), 50% barley- and 50% corn- (BCBD), or 100% corn- (CBD) based diet.

	Diet			SEM	P-value	
	BBD	BCBD	CBD		L	Q
Fatty acid (g/100 g of total FA) ^a						
14:0	1.69	1.63	1.61	0.12	0.67	0.91
c9 14:1	0.17	0.13	0.14	0.01	0.10	0.15
15:0	0.37	0.39	0.40	0.02	0.34	0.85
16:0	22.31	21.44	21.13	0.56	0.17	0.69
c9 16:1	2.45	2.09	2.34	0.20	0.72	0.25
17:0	4.21	4.16	4.23	0.28	0.96	0.88
18:0	11.79	13.97	12.51	0.52	0.34	0.01
t6-8 18:1	0.11	0.12	0.11	0.01	0.82	0.33
t9 18:1	0.25	0.22	0.22	0.01	0.02	0.24
t10 18:1	0.25	0.20	0.23	0.04	0.73	0.42
t11 18:1	0.34	0.28	0.23	0.04	0.07	0.99
t12 18:1	0.14	0.19	0.14	0.01	0.96	0.02
c9 18:1	48.01	45.67	45.02	0.79	0.02	0.40
c11 18:1	1.83	1.68	1.95	0.07	0.25	0.03
c12 18:1	0.23	0.26	0.34	0.03	0.02	0.57
c13 18:1	0.16	0.13	0.17	0.01	0.60	<0.01
t16 18:1	0.07	0.06	0.05	0.01	0.15	0.82
c9c12 18:2 ^b	3.94	4.63	5.44	0.38	0.02	0.90
20:0	0.06	0.08	0.06	0.01	0.63	0.03
c11 20:1	0.13	0.14	0.13	0.01	0.79	0.38
c9c12c15 18:3 ^c	0.25	0.33	0.44	0.03	<0.01	0.85
c9t11 18:2	0.20	0.14	0.15	0.02	0.07	0.25
c8c11c14 20:3 ^b	0.13	0.20	0.24	0.03	0.02	0.69
c11c14c17 20:3 ^c	0.02	0.02	0.03	0.01	0.18	0.98
c5c8c11c14 20:4 ^b	0.70	1.42	2.14	0.28	<0.01	1.00
c5c8c11c14c17 20:5 ^c	0.07	0.13	0.16	0.02	<0.01	0.47
c7c10c13c16c19 22:5 ^c	0.10	0.21	0.30	0.03	<0.01	0.85
c4c7c10c13c16c19 22:6 ^c	0.03	0.06	0.10	0.01	<0.01	0.73
Sum of n-6 fatty acids	4.77	6.25	7.82	0.59	<0.01	0.95
Sum of n-3 fatty acids	0.45	0.73	0.99	0.07	<0.01	0.88
n-6:n-3 fatty acid ratio	10.80	8.54	7.84	0.41	<0.01	0.15
Δ^9 -Desaturase index ^d	0.80	0.77	0.78	0.01	0.07	<0.01

Note: Linear (L) and quadratic (Q) effects of grain substitution.

^a FA= fatty acids

^b n-6 fatty acid.

^c n-3 fatty acid.

^d Δ^9 -desaturase index : c9 18:1/(c9 18:1 + 18:0).

The high concentrate diets fed in the current experiment may therefore explain the relatively low concentration of total *trans* 18:1 in meat of Boer kids (1.06% of total FA). Data on the *trans* FA profile of goat meat are scarce. Low levels of total *trans* 18:1 have been reported in ruminal fluid (Rana et al. 2012) and meat fat of goat kids (Ebrahimi et al. 2012), which suggests a better efficiency to complete the biohydrogenation process, avoiding the accumulation of FA intermediates as compared with other ruminant species. Usually, *t*11 18:1 is the most abundant isomer of *trans* octadecenoic acid produced in the rumen (Bauman and Griinari 2001) and found in meat fat of beef cattle fed a forage based diet (68% total *trans* 18:1; Faucitano et al. 2008). However, a shift toward *t*10 18:1 production at the expense of *t*11 18:1 could be observed when feeding a high concentrate diet (Bauman and Griinari 2001). In the current experiment, the level of *t*11 18:1, as a percentage of total *trans* 18:1 FA, was less than 30% and tended to decrease with CBD as compared with BBD (Table 3.6). However, it is difficult to determine if the low *t*11 to *t*10 18:1 ratio was the result of a shift in the biohydrogenation pathway, or to very low proportions of all *trans* octadecenoic acids, including *t*11 18:1.

Table 3.6 Profile of *trans* 18:1 isomers in the fat of the *longissimus thoracis et lumborum* muscle of Boer kids ($n = 5$ per dietary treatment) fed 100% barley- (BBD), 50% barley- and 50% corn- (BCBD), or 100% corn- (CBD) based diet.

	Diet			SEM	P-value	
	BBD	BCBD	CBD		L	Q
Total <i>trans</i> 18:1 (% by weight)	1.15	1.07	0.97	0.08	0.14	0.92
<i>t</i> 6-8 18:1, % of total <i>trans</i> 18:1	9.70	10.92	11.02	0.57	0.13	0.43
<i>t</i> 9 18:1, % of total <i>trans</i> 18:1	22.10	20.64	22.55	1.07	0.77	0.22
<i>t</i> 10 18:1, % of total <i>trans</i> 18:1	21.00	18.97	23.73	2.77	0.50	0.34
<i>t</i> 11 18:1, % of total <i>trans</i> 18:1	29.03	26.18	23.06	2.32	0.09	0.96
<i>t</i> 12 18:1, % of total <i>trans</i> 18:1	12.34	17.48	14.20	1.09	0.24	<0.01
<i>t</i> 16 18:1, % of total <i>trans</i> 18:1	5.83	5.81	5.44	0.30	0.38	0.66
<i>t</i> 11: <i>t</i> 10 18:1 ratio	1.47	1.66	1.02	0.27	0.26	0.22

3.4.4 Conclusion

A greater proportion of barley at the expense of corn in concentrate-based diet increased intake and tended to increase ADG of Boer goat kids. However, grain source had no influence carcass traits and meat quality of this animal. Concentrations of

polyunsaturated FA of both n-6 and n-3 families were increased in fat of the LTL muscle of kids fed CBD as compared with BBD. However, the increase in meat fat proportion of n-3 FA observed with corn was of a greater magnitude when compared relative to n-6 FA. As a result, the ratio n-6 to n-3 FA in meat fat was decreased with an increase of the proportion of corn in the diet, which has been reported to be more favorable for human health (Wood et al. 2003). Total *trans* 18:1 FA concentration in meat fat (1.06 g / 100 g of total fatty acids) was low and not affected by dietary treatments. However, there was a tendency for a lower concentration of *tl1* 18:1 in meat fat as the proportion of corn increased in the diet. It has been shown with animals that an alteration of *trans* FA pattern in fat of ruminant origin can be detrimental to blood lipid profile of human (Bauchart et al. 2007). Therefore, the impact of the overall changes in FA profile on the nutritive value of goat meat for human remains difficult to assess. Overall, the results reported here indicate that goat meat with quality attributes that meet consumer's expectation can be produced in Canada under the conditions used in the current study.

3.5 Acknowledgements

The authors would like to thank the Ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation du Québec for financial support and the farm staff at the Centre de recherche en sciences animales de Deschambault for care and feeding of goat kids. Appreciation is also extended to technicians at the Saint-Hyacinthe Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, and the Département des sciences animales, Université Laval, for assisting in laboratory analyses.

3.6 Literature cited

- Abijaoudé, J.A., Morand-Fehr, P., Tessier, J., Schmidely, P., and Sauvant, D. 2000. Diet effect on the daily feeding behaviour, frequency and characteristics of meals in dairy goats. *Livest. Sci.* 64: 29-37. doi:10.1016/S0301-6226(00)00173-1.
- Aldai, N., Aalhus, J.L., Dugan, M.E.R., Robertson, W.M., McAllister, T.A., Walter, L.J., and McKinnon, J.J. 2010. Comparison of wheat- versus corn-based dried distillers' grains with solubles on meat quality of feedlot cattle. *Meat Sci.* 84: 569-577. doi:10.1016/j.meatsci.2009.10.014.
- Animut, G., Goetsch, A.L., Aiken, G.E., Puchala, R., Detweiler, G., Krehbiel, C.R., Merkel, R.C., Sahlu, T., Dawson, L.J., Johnson, Z.B., and Kiesler, D.H. 2006. Performance by goats and sheep consuming a concentrate-based diet subsequent to grazing grass/forb pastures at three stocking rates. *Small Rumin. Res.* 66: 92-101. doi:10.1016/j.smallrumres.2005.07.023.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2006. Official Methods of Analysis of the Association Official Analytical Chemists. 18th ed., Arlington, VA, USA.
- Bauchart, D., Roy, A., Lorenz, S., Chardigny, J-M., Ferlay, A., Gruffat, D., Sébédio, J-L., Chilliard, Y., and Durand, D. 2007. Butters varying in *trans* 18:1 and *cis*-9,*trans*-11 conjugated linoleic acid modify plasma lipoproteins in the hypercholesterolemic rabbit. *Lipids.* 42: 123-133. doi:10.1007/s11745-006-3018-0.
- Bauman, D.E., and Griinari, J.M. 2001 Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Livest. Prod. Sci.* 70: 15-29. doi:10.1016/S0301-6226(01)00195-6.
- Boles, J.A., Bowman, J.G.P., Boss, D.L., and Surber, L.M.M. 2005. Meat color stability affected by barley variety fed in finishing diet to beef steers. *Meat Sci.* 70:633-638. doi:10.1016/j.meatsci.2005.02.012.
- Cameron, M.R., Luo, J., Sahlu, T., Hart, S.P., Coleman, S.W., and Goetsch, A.L. 2001. Growth and slaughter traits of Boer × Spanish, Boer × Angora, and Spanish goats consuming a concentrate-based diet. *J. Anim. Sci.* 79: 1423-1430. doi:10.2527/2001.7961423x.
- Canadian Council on Animal Care (CCAC). 2009. Guidelines on the care and use of farm animals in research, teaching and testing. CCAC., Ottawa, ON.
- Dhanda, J.S., Taylor, D.G., McCosker, J.E., and Murray, P.J. 1999a. The influence of goat genotype on the production of Capretto and Chevron carcasses. 1. Growth and carcass characteristics. *Meat Sci.* 52: 355-361. doi:10.1016/S0309-1740(99)00016-9.
- Dhanda, J.S., Taylor, D.G., Murray, P.J., and McCosker, J.E. 1999b. The influence of goat genotype on the production of Capretto and Chevron carcasses. 2. Meat quality. *Meat Sci.* 52: 363-367. doi:10.1016/S0309-1740(99)00015-7.
- Dhanda, J.S., Taylor, D.G., and Murray, P.J. 2003. Part 1. Growth, carcass and meat quality parameters of male goats: effects of genotype and liveweight at slaughter. *Small Rumin. Res.* 50: 57-66. doi:10.1016/S0921-4488(03)00112-3.
- Ebrahimi, M., Rajion, M.A., Goh, Y.M., and Sazili, A.Q. 2012. Impact of different inclusion levels of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) fronds on fatty acid profiles of goat muscles. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 96: 962-969. doi:10.1111/j.1439-0396.2011.01206.x.

- Faucitano, L., Chouinard, P.Y., Fortin, J., Mandell, I.B., Lafrenière, C., Girard, C.L., and Berthiaume, R. 2008. Comparison of alternative beef production systems based on forage finishing or grain-forage diets with or without growth promotants: 2. Meat quality, fatty acid composition, and overall palatability. *J. Anim. Sci.* 86: 1678-1689.doi:10.2527/jas.2007-0756.
- Fellner, V., Burns, J., and Marshall, D.S. 2008. Effect of feeding corn, hull-less or hulled barley on fermentation by mixed cultures of ruminal microorganisms. *J. Dairy Sci.* 91: 1936-1941.doi:10.3168/jds.2007-0078.
- Fredrickson, E.L., Galyean, M.L., Betty, R.G., and Cheema, A.U. 1993. Effects of four cereal grains on intake and ruminal digestion of harvested forage by beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40: 93-107.doi:10.1016/0377-8401(93)90149-E.
- Gadiyaram, K.M., Kannan, G., Pringle, T.D., Kouakou, B., McMillin, K.W., and Park, Y.W. 2008. Effects of postmortem carcass electrical stimulation on goat meat quality characteristics. *Small Rumin. Res.* 78: 106-114.doi:10.1016/j.smallrumres.2008.05.013.
- Gaebe, R.J., Sanson, D.W., Rush, I.G., Riley, M.L., Hixon, D.L., and Paisley, S.I. 1998. Effects of extruded corn or grain sorghum on intake, digestibility, weight gain, and carcasses of finishing steers. *J. Anim. Sci.* 76: 2001-2007.doi:10.2527/1998.7682001x.
- Gagliostro, G. and Lavandera, S. 1997. Feeding corn and barley concentrates to grazing dairy cows. Milk production, plasma metabolite, responses to insulin and glucose challenges to β -adrenergic stimuli. *Ann. Zootech.* 46: 147-161.doi:10.1051/animres:19970205.
- Gibb, M.J., Cook, J.E., and Treacher, T.T. 1993. Performance of British Saanen, Boer $\times$ British Saanen and Anglo-Nubian castrated male kids from 8 weeks to slaughter at 28, 33 or 38 kg live weight. *Anim. Sci.* 57: 263-271. doi:10.1017/S0003356100006875.
- Gipson, T.A., Goetsch, A.L., Detweiler, G., and Sahlu, T. 2007. Effects of feeding method, diet nutritive value and physical form and genotype on feed intake, feeding behavior and growth performance by meat goats. *Small Rumin. Res.* 71: 170-178.doi:10.1016/j.smallrumres.2006.06.004.
- Hart, S. P., and Doyle, J. J. 1985. Adaptation of early-weaned lambs to high-concentrate diets with three grain sources, with or without sodium bicarbonate. *J. Anim. Sci.* 61: 975-984. doi:10.2527/jas1985.614975x.
- Herrera-Saldana, R.E., Huber, J.T., and Poore, M.H. 1990. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73: 2386-2393.doi:10.3168/jds.S0022-0302(90)78922-9.
- Hill, F. 1966. The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. *J. Food Sci.* 31: 161-166.doi:10.1111/j.1365-2621.1966.tb00472.x.
- Hocquette, J.-F., Botreau, R., Picard, B., Jacquet, A., Pethick, D.W., and Scollan, N.D. 2012. Opportunities for predicting and manipulating beef quality. *Meat Sci.* 92: 197-209.doi:10.1016/j.meatsci.2012.04.007.
- Hopkins, D.L., Hegarty, P.J., Walker, P.J., and Petnick, D.W. 2006. Relationship between animal age, intramuscular fat, cooking loss, pH, shear force and eating quality of aged meat from sheep. *Aust. J. Exp. Agric.* 46: 879-884.doi:10.1071/EA05311.

- Hu, W., Gipson, T.A., Hart, S.P., Dawson, L.J., Sahlu, T., and Goetsch, A.L. 2012. Optimum duration of performance testing for growth rate, feed intake, and feed efficiency in growing Boer bucks. *Small Rumin. Res.* 104: 114-21. doi:10.1016/j.smallrumres.2011.09.047.
- Huang, A.H.C. 1992. Oil bodies and oleosins in seeds. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43: 177-230. doi:10.1146/annurev.pp.43.060192.001141.
- Kannan, G., Gadiyaram, K.M., Galipalli, S., Carmichael, A., Kouakou, B., Pringle, T.D., McMillin, K.W., and Gelaye, S. 2006. Meat quality in goats as influenced by dietary protein and energy level, and postmortem aging. *Small Rumin. Res.* 61: 45-52. doi:10.1016/j.smallrumres.2005.01.006.
- Kannan, G., Kouakou, B., Terrill, T.H., and Gelaye, S. 2003. Endocrine, blood metabolite, and meat quality changes in goats as influenced by short-term pre-slaughter stress. *J. Anim. Sci.* 81: 1499-1507. doi:10.2527/2003.8161499x.
- Kannan, G., Terrill, T.H., Kouakou, B., Gelaye, S., and Amoah, E.A. 2002. Simulated pre-slaughter holding and isolation effects on stress responses and live weight shrinkage in meat goats. *J. Anim. Sci.* 80: 1771-1780. doi:10.2527/2002.8071771x.
- Kolar, K. 1990. Colorimetric determination of hydroxyproline as measure of collagen content in meat and meat products: NMKL collaborative study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 73: 54-57.
- Lee, H.J., Jung, J.Y., Oh, Y.K., Lee, S.-S., Madsen, E.L., and Jeon, C.O. 2012. Comparative survey of rumen microbial communities and metabolites across one caprine and three bovine groups, using bar-coded pyrosequencing and ¹H nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Appl. Environ. Microbiol.* 78: 5983-5993. doi:10.1128/aem.00104-12.
- Mansilla, M., Banchio, C., and Mendoza, D. 2008. Signalling pathways controlling fatty acid desaturation. Pages 71-99 in: P. Quinn and X. Wang, eds. *Lipids in Health and Disease*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- McAllister, T.A., Rode, L.M., Major, D.J., Cheng, K.J., and Buchanan-Smith, J.G. 1990. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Can. J. Anim. Sci.* 70: 571-579. doi:10.4141/cjas90-069.
- Miller, R.K., Rockwell, L.C., Lunt, D.K., and Carstens, G.E. 1996. Determination of the flavor attributes of cooked beef from cross-bred Angus steers fed corn- or barley-based diets. *Meat Sci.* 44: 235-243. doi:10.1016/S0309-1740(96)00030-7.
- Mohammed, R., Kennelly, J.J., Kramer, J.K.G., Beauchemin, K.A., Stanton, C.S., and Murphy, J.J. 2010. Effect of grain type and processing method on rumen fermentation and milk rumenic acid production. *Animal* 4: 1425-1444. doi:10.1017/S175173111000039X.
- Morand-Fehr, P. 2005. Recent developments in goat nutrition and application: A review. *Small Rumin. Res.* 60: 25-43. doi:10.1016/j.smallrumres.2005.06.004.
- National Research Council. 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. National. Academy. Press, Washington, DC, USA.
- Ngwa, A.T., Dawson, L.J., Puchala, R., Detweiler, G.D., Merkel, R.C., Wang, Z., Tesfai, K., Sahlu, T., Ferrell, C.L., and Goetsch, A.L. 2009. Effects of breed and diet on growth and body composition of crossbred Boer and Spanish wether goats. *J. Anim. Sci.* 87: 2913-2923. doi:10.2527/jas.2009-1835.

- Paradis, C., Berthiaume, R., Lafrenière, C., Gervais, R., and Chouinard, P.Y. 2008. Conjugated linoleic acid content in adipose tissue of calves suckling beef cows on pasture and supplemented with raw or extruded soybeans. *J. Anim. Sci.* 86: 1624-1636.doi:10.2527/jas.2007-0702.
- Petit, H.V. 2000. Effect of whole and rolled corn or barley on growth and carcass quality of lambs. *Small Rumin. Res.* 37: 293-297.doi:10.1016/S0921-4488(99)00118-2.
- Pouliot, É., Gariépy, C., Thériault, M., Avezard, C., Fortin, J., and Castonguay, F.W. 2009. Growth performance, carcass traits and meat quality of heavy lambs reared in a warm or cold environment during winter. *Can. J. Anim. Sci.* 89: 229-239.doi:10.4141/cjas08101.
- Pouliot, É., Gariépy, C., Thériault, M., Avezard, C., Fortin, J., Simmons, N.J., and Castonguay, F.W. 2012. Effects of low-voltage electrical stimulation and aging on lamb meat quality. *Can. J. Anim. Sci.* 92: 59-66.doi:10.4141/cjas2011-076.
- Rana, M.S., Tyagi, A., Hossain, S.A., and Tyagi, A.K. 2012. Effect of tanniniferous *Terminalia chebula* extract on rumen biohydrogenation, Δ^9 -desaturase activity, CLA content and fatty acid composition in *longissimus dorsi* muscle of kids. *Meat Sci.* 90: 558-563.doi:10.1016/j.meatsci.2011.09.016.
- Schönfeldt, H.C., Naudé, R.T., Bok, W., van Herden, S.M., and Smit, R. 1993. Flavour- and tenderness-related quality characteristics of goat and sheep meat. *Meat Sci.* 34: 363-379.doi:10.1016/0309-1740(93)90084-U.
- Simela, L., Webb, E.C., and Frylinck, L. 2004a. Post-mortem metabolic status, pH and temperature of chevon from South African indigeneous goat slaughtered under commercial conditions. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 34: 204-207.
- Simela, L., Webb, E.C., and Frylinck, L. 2004b. Effect of sex, age, and pre-slaughter conditioning on pH, temperature, tenderness properties and colour of indigeneous South African goats. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 34: 208-211.
- Simmons, N.J., Auld, M.M., Thomson, B., Cairney, J.M., and Daly, C.C. 2000. Relationship between intermediate pH and toughness in the striploin and other muscles of the beef carcass. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 60: 117-119.
- Solaiman, S., Min, B.R., Gurung, N., Behrends, J., and McElhenney, W. 2012. Effects of breed and harvest age on feed intake, growth, carcass traits, blood metabolites, and lipogenic gene expression in Boer and Kiko goats. *J. Anim. Sci.* 90: 2092-2108.doi:10.2527/jas.2011-3945.
- Sormunen-Cristian, R. 2013. Effect of barley and oats on feed intake, live weight gain and some carcass characteristics of fattening lambs. *Small Rumin. Res.* 109, 22-27.doi:10.1016/j.smallrumres.2012.07.009.
- Tan, C.Y., Zhong, R.Z., Tan, Z.L., Han, X.F., Tang, S.X., Xiao, W.J., Sun, Z.H., and Wang, M. 2011. Dietary inclusion of tea catechins changes fatty acid composition of muscle in goats. *Lipids* 46: 239-247.doi:10.1007/s11745-010-3477-1.
- Ward, R.J., Travers, M.T., Richards, S.E., Vernon, R.G., Salter, A.M., Buttery, P.J., and Barber, M.C. 1998. Stearoyl-CoA desaturase mRNA is transcribed from a single gene in the ovine genome. *Biochim. Biophys. Acta, Lipids Lipid Metab.* 1391: 145-156.doi:10.1016/S0005-2760(97)00210-5.
- Webb, E.C., Casey, N.H., and Simela, L. 2005. Goat meat quality. *Small Rumin. Res.* 60: 153-166.doi:10.1016/j.smallrumres.2005.06.009.

- Wismer, W.V., Okine, E.K., Stein, A., Seibel, M.R., and Goonewardene, L.A. 2008. Physical and sensory characterization and consumer preference of corn and barley-fed beef. *Meat Sci.* 80: 857-863.doi: 10.1016/j.meatsci.2008.04.002.
- Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R., and Enser, M. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.* 66: 21-32.doi:10.1016/S0309-1740(03)00022-6.
- Yahaghi, M., Liang, J.B., Balcells, J., Valizadeh, R., Seradj, A.R., Alimon, R., and Ho, Y.W. 2013. Effect of substituting barley with sorghum on starch digestion, rumen microbial yield and growth in Iranian Baluchi lambs fed high concentrate diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 183: 96-105.doi:10.1016/j.anifeedsci.2013.04.019.
- Yang, Y., Li, X.M., Sun, Z.H., Yang, T., Tan, Z.L., Wang, B.F., Han, X.F., and He, Z.X. 2012. The growth performance and meat quality of goats fed diets based on maize or wheat grain. *J. Anim. Feed Sci.* 21: 587-598.
- Young, O.A., Lane, G.A., Priolo, A., and Fraser, K. 2003. Pastoral and species flavour in lambs raised on pasture, lucerne or maize. *J. Sci. Food Agric.* 83: 93-104.doi:10.1002/jsfa.1282.

Chapitre 4 Effect of concentrate or intensive rotational grazing diets on growth performance, carcass characteristics and meat quality of goat kids of meat or dairy breeds

4.0 Résumé

Le but de cette expérience était d'évaluer l'effet de la race et du régime alimentaire sur la croissance, les caractéristiques de la carcasse et la qualité de la viande chez le chevreau. Les chevreaux de race bouchère ont eu un gain moyen quotidien supérieur aux chevreaux de race laitière ($P < 0,01$) mais le régime alimentaire n'a pas eu d'effet sur la croissance. Pour la majorité des découpes, les chevreaux de race bouchère ont accumulé plus de gras et moins de muscle lorsqu'ils recevaient des concentrés en comparaison avec le pâturage alors que ces paramètres étaient peu influencés par le régime alimentaire pour les chevreaux de race laitière (régime $\times$ race, $P \leq 0,07$). La force de cisaillement et le potentiel glycolytique étaient plus grands, mais le pH et le ratio n-6/n-3 étaient inférieurs dans la viande des chevreaux au pâturage plutôt que dans celle des chevreaux recevant les concentrés ($P < 0,01$).

4.1 Abstract

The aim of this study was to evaluate the effects of breed and feeding regimen on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of male goat. Meat kids had a greater average daily gain as compared with dairy kids ($P < 0.01$), but feeding treatments had no effects on growth rate. For most of primal cuts, meat kids accumulated more fat and less lean when they were fed concentrates in comparison with pasture, whereas these parameters were less influenced by dietary treatment in dairy kids (feed $\times$ breed, $P \leq 0.07$). Pasture-fed kid meat had greater Warner-Bratzler shear force and glycolytic potential, but lower ultimate pH and n-6/n-3 ratio compared with concentrate-fed kid meat ($P < 0.01$).

4.2 Introduction

Demand for goat meat is rising in America seemingly because healthier products such as lean meat with reduced fat and cholesterol concentrations are claimed by consumers (Webb, 2014). Boer goats are greatly used to produce meat, as their potential for muscle growth is well known (Van Niekerk and Casey, 1988). Nevertheless, raising male

kids for meat may also represent an opportunity for dairy goat farms. In this regard, Urge et al. (2004) indicated that average daily gain (ADG) of Alpine (dairy breed) and Boer kids were similar when fed a 75% concentrate-based diet. Moreover, Nubian (dairy breed) and Alpine goats are used in crosses that have shown positive heterosis for ADG before weaning (Gebrelul et al., 1994) and equivalent sire effects on carcass traits as compared with Boer (Shrestha and Fahmy, 2007). Consequently, dairy breeds could represent a valuable opportunity for goat meat production.

Feeding regimen is known to influence not only growth rate, but also carcass characteristics (Zervas and Tsiplakou, 2011). Indeed, concentrate-based diet usually allowed greater ADG and carcass dressing yield (Asizua et al., 2014), whereas forage feeding led to lower BW at slaughter (Turner et al., 2015) and leaner carcasses (Liméa et al., 2009) in goats. However, Ngwa et al. (2009) observed that body composition of crossbreed Boer × Spanish and Spanish (meat breed) were similar whether goats received concentrate- or grass-based diet. Some meat quality attributes, such as fatty acid (FA) profile, were also influenced by pasture in comparison with a confinement feeding diet (Goetsch et al., 2011). In fact, meat was darker for goats reared under extensive system (Ozcan et al., 2014). Warner-Bratzler shear force (WBSF), juiciness, and overall tenderness of Boer crossbred kid meat were similar irrespective of levels of concentrate in the diets (0, 50, 60, 70%; Ryan et al., 2007). Muscle FA profile lambs (Jacques et al., 2017) and from kids and lambs (Turner et al., 2014) grown on grass-legume pastures contained more n-3 and showed a lower n-6 to n-3 FA ratio compared with those fed commercial concentrate and hay (Jacques et al., 2017) or supplemented with cottonseed (Turner et al., 2014).

Multiple feeding management systems do exist. For example, extensive (no supplementation), semi-intensive (with supplementation), and intensive (concentrate-based diets) systems are available. Each of them presents different expenses and income (Lupton et al., 2008). Feed purchases represent a major proportion of total expenses on livestock farms. Optimal utilization of pasture can limit the needs for harvested or stored feedstuffs, and then enhance farm profitability and sustainability (Mulliniks et al., 2015). Rotational intensive grazing (short grazing period) limits the need for supplementation and even

allows the harvesting of excess forage in comparison with continuous grazing (Beck et al., 2016). Rotational intensive grazing has been evaluated recently with convincing results in cattle (Beck et al., 2016) and sheep (Jacques et al., 2011), but not with goats. The aim of this experiment was to evaluate the effects of breed and feeding regimen on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of goat kids.

4.3 Materials and methods

4.3.1 Animals and diets

Experimental procedures using animals were in accordance with the principles and guidelines of the Canadian Council of Animal Care and were approved by a local animal care committee. Forty kids with an initial BW of 26.0 ± 1.5 kg from meat ($n = 20$; Boer) or dairy ($n = 20$; mostly Alpine and Saanen) breed, weaned at 3 months of age, were transported to the Centre de Recherche en Sciences Animales de Deschambault, QC, Canada. Meat kids were purchased from seven commercial farms whereas dairy kids came from one farm. Within breed, kids were blocked in 10 groups of 2 animals according to BW, then randomly allotted to either intensive rotational grazing or a concentrate-based diet. Kids reared indoors in individual pen were phase fed *ad libitum* grass hay (50 % refusals) and restricted amount of hand-mixed experimental concentrate consisting of a mixture of whole corn, soybean meal, and vitamin-mineral premix (Table 4.1). Indoor diets were designed to meet the NRC (2007) requirements for maintenance and growth of 150 g/d. Dietary supplies were adjusted for kid BW, determined on a weekly basis, throughout the experiment (Table 4.2). Hay and concentrate were both offered in 2 equal meals daily at 0800 and 1500 h. Kids had free access to water and a salt block (La Coop fédérée, Montréal, QC, Canada) at all times. Concentrate and hay refusals were weighed every morning before feeding for DMI calculations.

A 0.7-ha field plot subdivided in 40 paddocks, utilizing electrified poly-wire fencing, was used for intensive rotational grazing throughout the experiment. Pasture was composed of 33% ladino clover (*Trifolium repens* L.), 26% timothy (*Phleum pratense* L.), and 41% smooth brome grass (*Bromus inermis* Leyss.). Grazing kids from each breed were

stocked in groups at an average density of 15 m²/(head·d). Kids were offered a new paddock every day (approximately at 1500 h) with an herbage height at entry of approximately 10 to 15 cm. When targeted height was exceeded, paddocks were mowed and allowed to regrow before to be grazed again. Shelter was provided to kids where they had unrestricted access to water and a vitamin-mineral block (150 g of Ca, 50 g of P, 30 g of Mg, 60 g of Na, 155 g of salt, 50 mg I, 3,000 mg Fe, 2,000 mg Mn, 2,100 mg Zn, 30 mg Se, 500,000 IU vitamin A, 125,000 IU vitamin D, and 450 IU vitamin E per kg, as fed basis; La Coop fédérée).

Table 4.1 Composition and digestibility of the legume-grass mixture during the grazing season and feed ingredients used in the indoor dietary regimen

Item	Legume-grass pasture						Grass hay	Whole corn	Soybean meal
	May	June	July	August	September	October			
DM, % as fed	27.7	22.9	21.9	21.2	19.6	19.7	90.7	89.9	90.9
OM, % of DM	93.0	91.6	90.6	89.3	83.9	82.7	91.4	98.5	93.3
ADF, % of DM	22.9	28.1	31.1	29.6	34.4	33.9	33.9	2.7	6.9
NDF, % of DM	42.4	46.2	43.1	42.5	46.5	46.3	56.1	8.5	8.7
CP, % of DM	16.2	15.3	16.4	17.2	16.9	16.1	12.3	8.4	49.5
IVDMD ¹ , % of DM	92.7	87.2	85.8	86.2	82.6	83.1	80.0	97.2	99.7
IVOMD ² , % of OM	92.7	84.6	82.6	82.9	78.5	78.5	79.3	97.4	99.6
Fatty acids, g/100 g of total FA ³									
12:0	0.80	1.38	0.87	1.00	1.03	1.20	0.95	0.15	0.13
14:0	1.62	1.95	1.65	1.82	1.89	2.62	2.08	0.13	0.19
16:0	28.95	33.34	31.96	29.56	28.98	27.93	38.38	15.75	19.83
c9 16:1	0.87	1.24	1.08	1.02	1.17	1.25	1.48	0.38	0.37
17:0	0.55	0.75	0.72	0.73	0.72	0.80	0.80	0.22	0.39
18:0	3.59	4.62	4.63	6.04	4.55	4.06	4.20	2.71	5.69
c9 18:1	5.90	6.50	6.83	6.68	6.95	6.18	5.68	26.90	12.53
c11 18:1	1.17	1.26	1.20	1.19	1.20	1.27	1.53	1.23	2.14
c9c12 18:2	18.13	19.01	21.28	19.27	20.81	19.75	17.03	50.70	51.82
c9c12c15 18:3	36.87	27.90	27.98	30.95	30.99	33.17	25.96	1.18	6.27
20:0	1.56	2.06	1.81	1.74	1.71	1.77	1.90	0.64	0.63

¹In vitro dry matter digestibility.

²In vitro organic matter digestibility.

³FA = Fatty acids

Table 4.2 Daily amount (g of DM) of concentrate fed to kids reared indoors.

	BW			
	20–25 kg	26–30 kg	31–35 kg	36–40 kg
Whole corn	290	450	460	550
Soybean meal	130	130	130	130
Vitamin-mineral premix ¹	30	30	30	30

¹Contained, per kilogram, 230 g of Ca, 25 g of Mg, 7 g of K, 500 mg of I, 27,000 mg of Fe, 4,000 mg of Cu, 21,000 mg of Mn, 22,000 mg of Zn, 250 mg of Co, 10 mg of Se, 920,000 IU of vitamin A, 126,000 IU of vitamin D and 4,650 IU of vitamin E, as fed basis; La Coop fédérée, Montréal, QC, Canada.

Pasture intake was evaluated according to Brassard et al., (2016). Briefly, measurements of fecal output were performed by fitting kids with a collection bag held in place by a harness for 7 days, during weeks 7 and 12 of the grazing period. Feces were harvested and weighed twice daily and 10% aliquots were saved to form a composite that was kept frozen between each sampling day. Twice weekly, pasture intake was also estimated by group using the quadrat method with 10 quadrats (0.3 × 0.3 m) hand-clipped to ground level before and after kids had grazed the paddock. In addition, predicted values of intake for grazing and concentrate-fed kids were calculated according to the equations recommended by NRC (2007). Calculations were based on energy concentration of indoor feed ingredients and pasture. Intake values thus obtained were compared with actual intakes for weeks of feces collection at pasture (weeks 7 and 12).

Samples of hay, corn, soybean meal, pasture and feces were dried at 55°C in a forced air oven to determine DM concentration, and then ground using a Wiley mill (Standard Model 3, Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA) to pass through a 1-mm screen. Samples of ground hay, pasture, and feces were scanned by near-infrared reflectance spectroscopy using a Foss NIR System 6500 Monochromator (Foss, Hillerød, Denmark). Calibration sets (n = 75 for each sample type; hay, pasture, and feces) were selected, based on spectral variability, using WinISI III (version 1.61) software (Infrasoft International LLC., State College, PA). Samples of corn and soybean meal used in indoor diets, along with hay, pasture, and feces selected for infrared calibration sets were chemically analyzed for the following nutritive attributes. Concentrations of analytical DM and ash were determined using a thermogravimetric analyzer (Leco model TGA 701, Leco Corp., St. Joseph, MI). Fiber extractions were done using the Ankom filter bag technique

(Ankom200 Fiber Analyzer, Fairport, NY). The ADF was determined according to Association of Official Analytical Chemists (method 973.18;1990). The NDF was analyzed following Mertens (2002) with addition of sodium sulfite and a heat-stable α -amylase. Samples were mineralized using a mixture of sulfuric and selenious acids as described by Isaac and Johnson (1976). This extract was used to determine total N concentration (method 13–107–6-2-E; Lachat Instruments, 2013) using a Lachat QuikChem8000 flow injection analysis system (Zellweger Analytics Inc., Lachat Instruments Division, Milwaukee, WI). Crude protein concentration was calculated as total N $\times$ 6.25. The indoor feed ingredients and pasture samples were also analyzed for the *in vitro* true digestibility of DM, and the *in vitro* OM digestibility according to da Silva et al. (2013).

Weekly, BW was recorded until kids reached the targeted live weight of 45 kg. Kids were fasted overnight (16 h) with free access to water, and were weighed (shrunk BW) just before they were transported to a commercial slaughterhouse.

4.3.2 Carcass and non-carcass measurements

At slaughter, non-carcass components (feet, head, hide, heart, liver, kidneys, adipose tissue depots, respiratory tract, and digestive tract) were removed and weighed. The anterior feet were cut out at the metacarpal articulation, between carpal and metacarpal bones, and posterior feet were excised at the metatarsal articulation, between tarsal and metatarsal bones. Head was removed at the atlanto-occipital joint. Among adipose tissue depots, omental and mesenteric fats were first dissected, whereas perinephric and pelvic fats, as well as kidneys and testes remained on the carcass until jointing procedure. Respiratory tract was composed of trachea, lungs, and diaphragm. Compartments of the digestive tract, including stomach (reticulum, rumen, omasum, and abomasum) and intestine, were emptied, washed and weighed to estimate empty BW (EBW) calculation. Carcasses were then weighed and stored in the slaughterhouse chilling room at 4°C. Dressing yield was calculated as hot carcass weight divided by EBW multiplied by 100.

Approximately 48 h post-mortem, carcasses were weighed again for shrinkage calculation. Kidneys, perinephric and pelvic fats, as well as testes were removed and

weighed. Carcasses were split along the vertebral column and the left side was jointed as described by Colomer-Rocher et al. (1987) with some adaptations. Briefly, neck was obtained with a straight cut between the 4th and 5th cervical vertebra. Shoulder was separated from the carcass with a cut between the 5th and 6th rib from the vertebral column through the chest. The bottom cut, which separates shoulder from foreshank and brisket, was made along the 5th, 4th, and 3rd costochondral joints up to the front of the chest through the supracondylar ridge of the humerus, which was then part of the foreshank. Leg was separated from the carcass by a cut going perpendicularly from the vertebral column between the 5th and 6th lumbar vertebra to the flank brushing against the anterior part of ilium. Flank was obtained by a cut parallel to the vertebral column from the anterior cut of the leg to the posterior cut of the shoulder passing exactly through the 13th costochondral joint. The remaining part of the carcass was cut between the 12th and 13th rib. The anterior part was referenced as the rib (from the 5th to 12th rib) and the posterior part as the loin (from the 12th rib to the 6th vertebra). Each cut was weighed and dissected into muscle, fat, bones and remaining, which contained blood vessels and glands.

4.3.3 Meat quality analysis

Ultimate pH (pHu) was measured according to Jacques et al. (2017), whereas meat, perirenal fat and subcutaneous caudal fat color indices L* (lightness), a* (redness), and b* (yellowness) were measured with a Minolta Colorimeter (Chroma Meter CR-300, Data Processor DP-301, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan) during the jointing procedure. The *longissimus thoracis et lumborum* (LTL) muscle from the rib and the loin cuts, as well as 2 samples of approximately 1-cm thick, were frozen packed for further analyses. Rib parts of the LTL were weighed and cooked in a convection oven (Market Forge 2600PHE, Market Forge Industries, Burlington, VT) to an internal temperature of 68°C as monitored with thermocouples (Type T, Omega Engineering Canada, Laval, Canada). Cooked LTL rib parts were weighed for cooking loss calculations. A minimum of ten meat sticks of 1 cm², cut perpendicularly to fiber orientation, were used to perform WBSF with a Zwick/Roell Z0.5 TS (Zwick Gmbh & Co. KG, Ulm, Germany) fitted with a Warner-Bratzler V-blade. Sarcomere length measurements were determined with one slice of LTL according to Jacques et al. (2017). Glycolytic potential was obtained following the enzymatic

determination of glycogen, glucose, glucose-6-P, and lactate on the other slice of LTL as described by Monin et al. (1987).

4.3.4 Muscle chemical composition

Loin parts of the LTL were ground using a meat grinder. Subsamples of ground meat were freeze dried for DM determination and for FA analysis. Crude protein concentration ($N \times 6.25$) was calculated after determination of N concentration on dried samples using the LECO FP-428 Nitrogen Determinator (LECO Corporation, St. Joseph, MI) according to Association of Official Analytical Chemists official method (2001-11; 2005). Crude fat concentration was analyzed with a Soxtec 2050 (Foss, Hillerød, Denmark) according to Association of Official Analytical Chemists official method (2003.06; 2006). Methyl esters of FA were extracted according to Villeneuve et al. (2013) with modifications. Briefly, a first incubation of 1g of meat in 2 mL of sodium methoxide (0.5 M in methanol) at 70°C for 60 min was performed before a second incubation in 3 mL HCL 15% in methanol (vol/vol) at 50°C for 30 min. FA profile were determined by gas chromatography following the method described by Paradis et al. (2008).

4.3.5 Statistical analysis

Statistical analyses were performed using the MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc.; Cary, NC). Breed and feeding treatments were included in the model as fixed effects whereas block was considered as random effect. Statistical significance was declared when $P \leq 0.05$ and trend was considered when $0.05 < P \leq 0.10$.

4.4 Results

Chemical composition along with *in vitro* digestibility of pasture grass during the grazing season and feed ingredients used in the indoor dietary regimen are presented in Table 4.1. Pasture NDF and ADF concentrations increased, DM and OM digestibility decreased, whereas CP concentration remained similar during the grazing season. Forages contained more n-3 FA than corn and soybean meal, which contained more n-6 FA.

Pasture-fed kids had greater DMI compared with concentrate-fed kids (1560 vs. 944 g/d; $P < 0.01$; Table 4.3). Moreover, their intake was also superior for OM, ADF, NDF, and CP ($P < 0.01$). According to calculations based on feed composition and NRC (2007) equations, dairy and meat kids were predicted to have a significantly greater DMI on pasture as compared with concentrate-based diets. However, intake of dairy kids on pasture was predicted, based on NRC (2007) equations, to be higher compared with meat kids whereas intake of concentrate was predicted to be similar for the two breeds (feed $\times$ breed; $P < 0.01$). Actual DMI of meat kids showed similar deviation from predicted values when receiving pasture or concentrate-based diets (15 and 19%, respectively), whereas dairy kids ate 19 % less when fed pasture and 18% more DM when fed concentrate-based diets in comparison to predicted values (feed $\times$ breed; $P < 0.01$). Quadrats measurement underestimated DMI of both dairy and meat kids (19 vs. 24%, respectively), but these estimated intakes were numerically similar between breeds as observed for actual measurements.

Dairy kids had greater BW than meat kids at the beginning of the experiment (28.2 vs. 23.8 kg; $P < 0.01$; Table 4.4), but meat kids gained 27% more weight during the experimental period (163 vs. 119 g/d; $P < 0.01$). Consequently, there was no breed effect on the length of fattening period ($P = 0.26$). There was also no effect of feeding system on ADG ($P = 0.63$). The nutritive value of pasture managed under intensive rotational program allowed a similar ADG in pasture-fed kids when compared with concentrate-fed kids (141 g/d). The growing rate was close to the experiment objective (150 g/d), although, pasture-fed kids tended to take a longer period to reach the slaughter weight compared with kids receiving the concentrate-based diet (120 vs. 108 d; $P = 0.07$). Concentrate-fed kids carcasses were heavier (22.4 vs. 21.1 kg; $P < 0.01$) and had greater dressing yield than pasture-fed kids (60.5 vs. 57.5%; $P < 0.01$).

Table 4.3 Effect of intensive rotational grazing or concentrate-based diet on intake of dairy and meat kids

Item	Dairy		Meat		SEM	P-value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
Actual intake, g/d								
DM	1,527	950	1,592	938	64	<0.01	0.67	0.54
OM	1,163	888	1,203	878	45	<0.01	0.73	0.56
NDF	674	252	712	230	28	<0.01	0.77	0.28
ADF	488	137	510	124	20	<0.01	0.84	0.38
CP	227	135	240	137	10	<0.01	0.42	0.54
Estimated group DM intake, g/d ²	1,195		1,177					
Predicted DM intake, g/d ³	1,768	755 ^a	1,328	742 ^a	21	<0.01	<0.01	<0.01
Actual intake vs. predicted intake, %	-19	18 ^a	15 ^a	19 ^a	5	<0.01	<0.01	<0.01
Actual intake vs. estimated intake, %	19		24					

^aWhen the interaction of feed by breed was significant, values followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$.

¹F = effect of feed (pasture vs. concentrate), B = effect of breed (dairy vs. meat), and F × B = interaction of feed by breed.

²Estimated by breed groups based on the quadrat method.

³Predicted based on feed energy concentration and NRC (2007) equations.

Table 4.4 Effect of intensive rotational grazing or concentrate-based diet on growth performance of dairy and meat kids

Item	Dairy		Meat		SEM	P-value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
Initial BW, kg	28.4	28.0	23.7	23.9	1.50	0.92	<0.01	0.60
Final BW, kg	44.4	43.8	43.7	45.1	0.69	0.56	0.63	0.15
ADG, g	119	120	159	167	11	0.63	<0.01	0.71
Carcass weight, kg	21.1	22.3	21.1	22.6	0.40	<0.01	0.66	0.77
Dressing yield ² , %	57.0	61.2	58.0	59.9	1.09	<0.01	0.86	0.24
Shrinkage, %	3.0	2.5	2.5	2.1	0.76	0.53	0.52	0.96
Fattening period, d	125	111	115	106	8	0.07	0.26	0.69

¹F = effect of feed (pasture vs. concentrate), B = effect of breed (dairy vs. meat), and F × B = interaction of feed by breed.

²Dressing yield = carcass weight / EBW × 100.

Dietary treatment influenced the proportion of non-carass components expressed as percentage of EBW (Table 4.5). Concentrate-fed kids showed greater proportion of respiratory tract (1.60 vs. 1.38%, $P = 0.01$) and deposited almost twice more omental and mesenteric fat (6.11 vs. 3.42%) as well as perinephric and pelvic fats (2.24 vs. 0.97%) than pasture-fed kids, respectively ($P < 0.01$). On the other hand, pasture-fed kids showed greater proportions of kidneys (0.32 vs. 0.30 % EBW; $P = 0.08$), stomach (2.99 vs. 2.10 % EBW; $P < 0.01$), and intestine (2.68 vs. 2.38 % EBW; $P = 0.03$) compared with concentrate-fed kids. Dairy kids had proportionately heavier head (4.47 vs. 4.23 % EBW; $P = 0.04$), heart (0.50 vs. 0.44 % EBW; $P < 0.01$), and kidneys (0.35 vs. 0.27 % EBW; $P < 0.01$) compared with meat kids. Meat kids showed greater proportions of hide (15.81 vs. 13.10 % EBW; $P < 0.01$) and stomach (2.66 vs. 2.43 % EBW; $P = 0.03$) than dairy kids.

Both breed and feeding regimen affected the proportions of primal cuts from half-carasses (Table 4.6). Pasture-fed kids tended to have greater proportion of neck than concentrate-fed kids (7.45 vs. 6.52 % of the half carcass; $P = 0.06$). Dairy kids had greater proportion of neck (7.56 vs. 6.41% of the half carcass; $P = 0.02$) and shoulder (27.73 vs. 25.13% of the half carcass; $P < 0.01$) in comparison with meat kids, whereas meat kids tended to have greater proportions of loin and leg (10.77 vs. 10.14 and 31.82 vs. 28.81% of the half carcass, respectively; $P \leq 0.08$) than dairy kids. Flank proportions of the half-carass in dairy kids were similar, regardless of feeding regimen, whereas meat kids had significantly greater flank proportion when fed concentrate compared with pasture (feed $\times$ breed; $P = 0.04$).

Table 4.5 Effect of intensive rotational grazing and concentrate-based diet on non-carass components of dairy and meat kids as a proportion of empty body weight (EBW)

Offals, % of EBW	Dairy		Meat		SEM	P-value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
Head	4.53	4.41	4.31	4.15	0.12	0.21	0.04	0.85
Hide	13.34	12.86	16.25	15.36	0.47	0.09	<0.01	0.60
Heart	0.48	0.53	0.44	0.44	0.02	0.12	<0.01	0.11
Respiratory tract	1.34	1.56	1.43	1.63	0.09	0.01	0.32	0.89
Liver	2.07	2.03	2.18	2.05	0.07	0.17	0.30	0.43
Kidney	0.35	0.35	0.29	0.25	0.02	0.08	<0.01	0.17
Testis	0.50	0.43	0.57	0.47	0.03	0.10	0.26	0.77
Stomach	2.83	2.02	3.15	2.17	0.11	<0.01	0.03	0.40
Intestine	2.53	2.43	2.82	2.33	0.13	0.03	0.43	0.13
Omental fat ²	3.44	6.05	3.40	6.17	0.42	<0.01	0.92	0.83
Perinephric fat ³	0.89	2.12	1.05	2.36	0.18	<0.01	0.24	0.80

¹F = effect of feed (pasture vs. concentrate), B = effect of breed (dairy vs. meat), and F × B = interaction of feed by breed.

²Including omental and mesenteric fat.

³Including perinephric and pelvic fat.

Table 4.6 Effect of intensive rotational grazing and concentrate-based diet on half-carass proportions of primal cuts of dairy and meat kids

Item, % of EBW	Dairy		Meat		SEM	P-value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
Neck	7.74	7.37	7.15	5.67	0.51	0.06	0.02	0.26
Foreshank and brisket	8.34	9.09	10.09	9.81	0.75	0.76	0.11	0.49
Shoulder	28.19	27.28	25.12	25.14	0.74	0.42	<0.01	0.39
Flank	8.97 ^{a,b,y}	8.85 ^{a,y}	8.72 ^{a,y}	10.57 ^{b,z}	0.48	0.07	0.11	0.04
Rib	8.17	8.19	9.20	8.18	0.48	0.30	0.28	0.28
Loin	9.87	10.41	10.64	10.89	0.38	0.25	0.08	0.66
Leg	28.63	28.98	33.92	29.73	1.61	0.22	0.06	0.15

^{a,b}When the interaction of feed by breed was significant, values followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$.

^{y,z}When the interaction of feed by breed was significant, values followed by the same letter are not significantly different at $0.05 < P \leq 0.10$.

¹F = effect of feed (pasture vs. concentrate), B = effect of breed (dairy vs. meat), and F × B = interaction of feed by breed.

Meat kids reared indoors showed greater proportion of fat, shoulder, flank and loin, and a tendency for greater proportion in half-carcass and leg, compared with kids reared outdoor, whereas dairy kids accumulated similar proportion of fat in those joints regardless of feeding regimen (feed $\times$ breed; $P \leq 0.07$; Tableau 4.7). In the same line, dairy kids deposited similar proportion of lean in half-carcass, foreshank and brisket, rib, and loin, irrespective of feeding regimen, whereas meat grazing kids deposited greater proportion of lean compared with meat concentrate-fed kids (feed $\times$ breed; $P \leq 0.07$). Pasture-fed kids had significantly more lean in shoulder (66.23 vs. 60.85%; $P < 0.01$) and neck than concentrate-fed kids (64.74 vs. 59.76%; $P = 0.03$). Concentrate-fed kids deposited significantly more fat in foreshank and brisket (10.89 vs. 9.17%; $P = 0.01$) and tended to deposit more fat in ribs (14.24 vs. 9.17%; $P = 0.08$) than pasture-fed kids. Bone yield of foreshank and brisket, ribs, loin, and leg were significantly greater ($P < 0.01$) whereas for half-carcass and shoulder it tended to be greater ($P \leq 0.09$) for dairy compared with meat kids. Dairy kids deposited less fat in neck, foreshank and brisket, and ribs ($P \leq 0.03$), and tended to have more lean in shoulder than meat kids (64.96 vs. 62.12%; $P = 0.07$).

Meat pHu was greater (6.02 vs. 5.68; $P < 0.01$) whereas glycolytic potential was lower for concentrate-fed kids compared with pasture-fed kids (110.20 vs. 160.48 μmol of lactate eq/g of tissue; $P < 0.01$; Table 4.8). Meat of pasture-fed kids had greater WBSF compared with meat of concentrate-fed kids (69.02 vs. 51.09 N; $P < 0.01$). Pasture regimen led to a greater protein concentrations (23.35 vs. 22.37 %; $P < 0.01$) and a lower fat concentrations in meat compared with concentrate regimen (2.00 vs. 2.82 %; $P < 0.01$). Meat L^* tended to be greater for pasture- compared with concentrate-fed kids (41.75 vs. 40.61; $P = 0.05$). The a^* value of subcutaneous fat (2.88 vs. 1.00) and perirenal fat (0.50 vs. -1.65) was greater with pasture regimen compared with concentrate regimen, respectively ($P \leq 0.01$). The b^* value of perirenal fat was greater for pasture- than concentrate-fed kids (8.10 vs. 6.38; $P < 0.01$). Meat kids had a significantly greater ribeye area (15.4 vs. 13.5 cm^2 ; $P = 0.02$) and tended to have longer sarcomere than dairy kids (2.06 vs. 1.90 μm ; $P = 0.07$). Boer kids had meat with greater L^* (41.91 vs. 40.46; $P = 0.02$) and lower a^* value (13.74 vs. 15.26; $P = 0.04$) than dairy kids. Dairy kids had subcutaneous fat with lower L^* (70.77 vs. 74.54; $P < 0.01$) and tended to have greater a^* (2.62 vs. 1.25; $P = 0.06$) and b^*

value (10.75 vs. 9.62; $P = 0.07$) than meat kids. Perirenal fat from meat kids showed lower a^* value than that of dairy kids (-1.06 vs. -0.09; $P < 0.01$).

Table 4.7 Effect of intensive rotational grazing or concentrate-based diet on proportions of separable tissue of primal cuts of dairy and meat kids

Item	Dairy		Meat		SEM	<i>P</i> -value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
Half-carcass, kg	9.94	10.41	9.35	10.44	0.31	0.01	0.34	0.29
Lean, %	63.12 ^{a,b,y,z}	61.64 ^{a,b,y}	69.86 ^{b,z}	59.22 ^{a,y}	2.47	0.01	0.35	0.05
Bone, %	28.14	28.39	26.70	24.12	1.44	0.42	0.06	0.33
Fat, %	7.54 ^a	8.83 ^a	10.46 ^a	15.58 ^b	0.98	<0.01	<0.01	0.06
Neck								
Lean, %	65.28	62.30	64.19	57.21	2.23	0.03	0.17	0.37
Bone, %	28.87	30.63	27.62	30.32	2.35	0.35	0.74	0.84
Fat, %	3.92	3.59	6.27	7.91	1.21	0.52	<0.01	0.34
Foreshank and brisket								
Lean, %	50.30	52.22	54.09	50.93	1.39	0.65	0.37	0.07
Bone, %	43.05	39.81	36.81	34.42	1.91	0.15	<0.01	0.82
Fat, %	5.67	7.71	9.44	14.07	1.21	0.01	<0.01	0.29
Shoulder								
Lean, %	66.94	62.97	65.52	58.72	1.56	<0.01	0.07	0.35
Bone, %	24.00	26.34	22.75	23.35	1.28	0.24	0.09	0.48
Fat, %	7.77 ^a	9.11 ^a	9.36 ^a	15.84 ^b	0.88	<0.01	<0.01	<0.01

Item	Dairy		Meat		SEM	<i>P</i> -value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
Flank								
Lean,%	65.14	64.87	64.51	58.89	2.50	0.23	0.18	0.27
Bone, %	21.24	21.99	20.96	18.59	1.35	0.53	0.16	0.23
Fat, %	14.28 ^{a,y}	13.13 ^{a,y}	15.21 ^{a,b,y}	23.63 ^{b,z}	2.49	0.14	0.02	0.05
Rib								
Lean, %	56.54 ^a	56.46 ^a	61.25 ^b	51.32 ^a	1.77	<0.01	0.90	<0.01
Bone, %	34.47	32.64	27.51	29.15	1.67	0.95	<0.01	0.29
Fat, %	7.50	9.39	10.84	19.10	2.85	0.08	0.03	0.27
Loin								
Lean, %	51.54 ^a	52.38 ^a	62.56 ^b	52.45 ^a	2.57	0.06	0.03	0.03
Bone, %	37.06	33.12	26.77	24.87	2.36	0.20	<0.01	0.65
Fat, %	10.35 ^a	13.70 ^a	11.27 ^a	21.19 ^b	1.47	<0.01	<0.01	0.03
Leg								
Lean, %	68.33	67.30	70.12	67.82	1.13	0.15	0.31	0.58
Bone, %	24.94	25.34	21.75	20.60	0.82	0.65	<0.01	0.35
Fat, %	6.33 ^a	6.98 ^a	7.74 ^a	11.12 ^b	0.73	0.01	<0.01	0.07

^{a,b}When the interaction of feed by breed was significant, values followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$.

^{y,z}When the interaction of feed by breed was significant, values followed by the same letter are not significantly different at $0.05 < P \leq 0.10$.

¹F = effect of feed (pasture vs. concentrate), B = effect of breed (dairy vs. meat), and F × B = interaction of feed by breed.

Table 4.8 Effect of intensive rotational grazing and concentrate-based diet on meat quality attributes of dairy and meat kids

Item	Dairy		Meat		SEM	P-value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
Ultimate pH	5.68	6.03	5.69	6.02	0.09	<0.01	0.99	0.93
Cooking loss, %	29.18	26.43	26.67	26.89	1.06	0.22	0.32	0.15
Warner-Bratzler shear force ² , N	71.16	52.31	66.87	49.86	5.15	<0.01	0.51	0.85
Glycolytic potential, $\mu\text{mol lactate/g tissue}$	162.27	106.92	158.69	113.49	11.34	<0.01	0.89	0.64
Sarcomere length, μm	1.93	1.87	2.05	2.08	0.09	0.86	0.07	0.62
Ribeye area, cm^2	12.6	14.3	15.2	15.7	0.78	0.16	0.02	0.44
Humidity, %	73.85	74.46	74.20	74.21	0.43	0.48	0.90	0.48

Item	Dairy		Meat		SEM	<i>P</i> value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
Protein, %	23.30	22.36	23.40	22.39	0.29	<0.01	0.84	0.91
Fat, %	2.05	2.54	1.96	3.09	0.21	<0.01	0.27	0.13
Fat thickness at 5 th rib, cm	0.11	0.11	0.12	0.15	0.01	0.50	0.36	0.18
Fat thickness at 12 th rib, cm	0.12	0.10	0.11	0.15	0.02	0.25	0.06	0.46
Meat color ³								
L*	41.12	39.80	42.39	41.42	0.68	0.05	0.02	0.76
a*	15.18	15.35	14.21	13.26	0.76	0.58	0.04	0.42
b*	7.97	7.94	7.46	7.08	0.57	0.70	0.20	0.74
Color of the subcutaneous caudal fat ³								
L*	70.55	71.00	74.06	75.01	1.52	0.59	<0.01	0.85
a*	3.50	1.74	2.25	0.26	0.81	0.01	0.06	0.86
b*	10.54	10.97	10.40	8.84	0.70	0.36	0.07	0.11
Color of the perirenal fat ³								
L*	83.51	82.99	84.09	83.41	0.62	0.29	0.38	0.88
a*	0.80	-0.97	0.21	-2.33	0.38	<0.01	<0.01	0.28
b*	8.67	6.59	7.54	6.18	0.57	<0.01	0.18	0.52

¹F = effect of feed (pasture vs. concentrate), B = effect of breed (dairy vs. meat), and F × B = interaction of feed by breed.

²WBSF = Warner Bratzler shear force.

³L* = lightness, a* = redness, and b* = yellowness.

Meat fat FA profile were largely affected by dietary treatments as well as breeds (Table 4.9). Meat fat of concentrate-fed kids had (*iso* 16:0, *anteiso* 15:0, *anteiso* 17:0, 15:0, and 17:0; $P \leq 0.01$) or tended to have (*iso* 15:0, *iso* 17:0; $P = 0.07$) greater odd - and branched-chain FA concentrations compared with meat fat of pasture-fed kids. Concentrate-fed kids accumulated more *c9* 16:1 and 16:0 in their meat fat compared with pasture-fed kids ($P = 0.01$). Moreover, concentrates compared with pasture decreased meat fat 18:0 (13.692 vs. 16.678%; $P < 0.01$), but increased meat fat *c9* 18:1 (42.961 vs. 37.460%; $P < 0.01$) concentrations and desaturase indexes for 18:0, and *t11* 18:1 ($P \leq 0.04$). Meat fat concentrations of the intermediates of *c9c12c15* 18:3 biohydrogenation, such as *t11* 18:1, *t11c15* 18:2, *c9t11* 18:2, and *c9t11c15* 18:3 were decreased when kids were given concentrates ($P < 0.01$) instead of pasture. Feeding concentrate also decreased meat fat total *trans* FA concentration, mostly for *t11* 18:1 (0.598 vs. 1.403 %; $P < 0.01$). In fact, this major decrease (57%) led to an increase of *t6-8*, *t9* and *t10* 18:1 as a proportion of total *trans* 18:1 identified ($P < 0.01$) in meat fat of kids. Consequently, meat fat *t11/t10* FA ratio was decreased with concentrate feeding vs. pasture (1.844 vs. 5.225; $P < 0.01$). In addition, meat fat of concentrate-fed kids showed an almost 4-fold increase of n-6/n-3 FA ratio compared with meat of pasture-fed kids, whereas this ratio was 1.4-fold greater in meat fat of dairy than in meat fat of meat kids ($P < 0.01$). Non-conjugated 18:2 isomers such as *t9c13* 18:2 + *t8c12* 18:2, *c9c12* 18:2, *t9t12* 18:2, *t8c13* 18:2, and *t9c12* 18:2 were all decreased in meat fat of indoor fed kids ($P \leq 0.05$). These same FA, except for *t9t12* 18:2, were found in lower proportion in meat fat of meat than dairy kids. Greater proportions of *trans* FA biohydrogenation intermediates such as *t6-8* 18:1, *t9* 18:1, *t10* 18:1, *t11* 18:1, *t16* 18:1, and total *trans* 18:1, but lower proportions of *cis* FA such as *c11* 18:1, *c12* 18:1, and *c13* 18:1 were found in meat fat of meat compared with dairy kids ($P \leq 0.05$). Proportions of *c9c12* 18:2 and other n-6 FA such as *c11c14* 20:2, *c8 c11c14* 20:3 and, hence, total n-6 FA in meat fat were increased when dairy kids were fed with concentrate compared with pasture whereas the contrary occurred with meat kids (feed $\times$ breed, $P \leq 0.01$). Total n-3 FA concentrations, as well as several individual FA from this family (i.e. *9c12c15* 18:3, *c8c11c14c17* 20:4, *c5c8c11c14c17* 20:5 and *c4c7c10c13c16c19* 22:6), decreased in meat fat when dairy kids were fed concentrate compared with pasture, whereas for meat kids this phenomenon was similar but at a greater level (feed $\times$ breed; $P \leq$

0.04). Meat fat concentration of monounsaturated FA was not influenced by feeding in dairy kids whereas had increases in meat kids fed concentrate compared with pasture (feed $\times$ breed: $P \leq 0.02$). Similarly, dairy kids deposited a similar proportion of polyunsaturated FA in their meat fat irrespective of feeding regimen whereas meat kids deposited greater proportion in meat fat while given pasture compared with concentrate (feed $\times$ breed: $P = 0.02$). Meat fat saturated FA proportions were greater with pasture-fed kids than concentrate-fed kids ($P = 0.01$).

Table 4.9 Effect of intensive rotational grazing or concentrate-based diet on fatty acid composition of meat fat of dairy and meat kids.

Item, g/100 g of total FA ²	Dairy		Meat		SEM	P-value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
12:0	0.118	0.135	0.139	0.093	0.019	0.36	0.52	0.06
14:0	1.676	1.952	1.903	1.952	0.149	0.23	0.40	0.39
<i>c</i> 9 14:1	0.122	0.138	0.119	0.132	0.014	0.19	0.65	0.85
<i>c</i> 11 14:1	0.023	0.020	0.021	0.020	0.003	0.52	0.62	0.69
<i>iso</i> 15:0	0.124	0.075	0.128	0.078	0.008	<0.01	0.67	0.94
<i>anteiso</i> 15:0	0.154	0.102	0.148	0.098	0.011	<0.01	0.65	0.97
15:0	0.411	0.271	0.455	0.367	0.028	0.00	0.02	0.36
<i>iso</i> 16:0	0.191	0.180	0.144	0.109	0.012	0.07	<0.01	0.32
16:0	19.661	20.908	19.270	20.920	0.569	0.01	0.72	0.70
<i>t</i> 9 16:1	0.122	0.049	0.130	0.083	0.013	<0.01	0.10	0.30
<i>c</i> 9 16:1	1.729 ^a	1.835 ^{a,b}	1.654 ^a	2.159 ^b	0.116	0.01	0.28	0.09
<i>c</i> 11 16:1	0.037	0.037	0.028	0.043	0.007	0.21	0.78	0.25
<i>c</i> 13 16:1	0.029	0.026	0.039	0.036	0.004	0.39	0.01	0.83
<i>iso</i> 17:0 ³	0.391	0.359	0.586	0.435	0.056	0.07	0.01	0.22
<i>anteiso</i> 17:0 ⁴	0.561	0.457	0.489	0.449	0.025	0.01	0.11	0.21
17:0	1.095 ^b	0.765 ^a	1.063 ^b	1.074 ^b	0.062	0.01	0.03	0.01
<i>iso</i> 18:0 + <i>c</i> 7 17:1 + <i>c</i> 8 17:1	1.149 ^{a,b,z}	0.890 ^{a,y}	1.020 ^{a,b,y,z}	1.250 ^{b,z}	0.074	0.84	0.12	<0.01
18:0	16.270	14.025	17.085	13.358	0.655	<0.01	0.91	0.26
<i>t</i> 4-5 18:1	ND	ND	ND	ND	ND	—	—	—
<i>t</i> 6-8 18:1	0.096	0.081	0.131	0.107	0.011	0.07	0.01	0.66
<i>t</i> 9 18:1	0.185	0.163	0.228	0.257	0.015	0.83	<0.01	0.10
<i>t</i> 10 18:1	0.256	0.265	0.352	0.342	0.032	0.98	0.01	0.75
<i>t</i> 11 18:1	1.265	0.396	1.541	0.800	0.118	<0.01	0.01	0.59
<i>t</i> 16 18:1 ⁵	0.231	0.120	0.321	0.176	0.017	<0.01	<0.01	0.28
<i>c</i> 9 18:1 ⁶	37.757 ^{a,b,y}	41.394 ^{b,z}	37.163 ^{a,y}	44.527 ^{b,c,z}	0.961	<0.01	0.19	0.06
<i>c</i> 11 18:1 ⁷	2.314	2.451	1.614	1.955	0.146	0.11	<0.01	0.48
<i>c</i> 12 18:1	0.375	0.390	0.297	0.277	0.034	0.94	0.01	0.61
<i>c</i> 13 18:1	0.165	0.177	0.126	0.165	0.014	0.06	0.05	0.32

Item, g/100 g of total FA ²	Dairy		Meat		SEM	P-value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
t9c13 + t8c12 18:2	0.322	0.153	0.420	0.228	0.021	<0.01	<0.01	0.58
c9t12 18:2	0.071	0.056	0.081	0.069	0.005	0.01	0.02	0.73
t9t12 18:2	0.034	0.015	0.026	0.013	0.004	<0.01	0.24	0.46
t8c13 18:2	0.123	0.071	0.165	0.114	0.008	<0.01	<0.01	0.96
t9c12 18:2	0.040	0.038	0.038	0.029	0.003	0.05	0.05	0.12
t11c15 18:2	0.195	0.019	0.192	0.023	0.012	<0.01	0.95	0.73
c9c12 18:2	5.393 ^b	6.918 ^c	4.596 ^{a,b}	3.836 ^a	0.393	0.33	<0.01	0.01
c9t11 18:2	0.528 ^{b,c}	0.183 ^a	0.581 ^c	0.431 ^b	0.030	<0.01	<0.01	<0.01
c9c12c15 18:3	1.573 ^b	0.436 ^a	1.834 ^b	0.249 ^a	0.092	<0.01	0.67	0.02
c6c9c12 18:3	0.046	0.047	0.035	0.046	0.006	0.32	0.36	0.38
c9t11c15 18:3	0.019	0.011	0.020	0.015	0.002	<0.01	0.15	0.41
c6c9c12c15 18:4	0.038	0.023	0.032	0.015	0.003	<0.01	0.02	0.60
19:0 + c15 18:1	0.120	0.049	0.151	0.079	0.007	<0.01	<0.01	0.88
20:0	0.049 ^a	0.050 ^a	0.083 ^b	0.050 ^a	0.006	0.01	0.01	0.01
c11c14 20:2	0.046 ^{a,b}	0.057 ^b	0.045 ^{a,b}	0.035 ^a	0.004	0.87	0.01	0.01
c11c14c17 20:3	0.044 ^b	0.017 ^a	0.048 ^b	0.010 ^a	0.004	<0.01	0.60	0.07
c8c11c14 20:3	0.186 ^{a,b,y,z}	0.217 ^{b,z}	0.208 ^{a,b,z}	0.158 ^{a,y}	0.015	0.50	0.20	0.01
c8c11c14c17 20:4	0.035 ^b	0.018 ^a	0.046 ^b	0.011 ^a	0.004	<0.01	0.59	0.04
c5c8c11 c14 20:4	2.477	2.761	2.100	1.833	0.216	0.97	<0.01	0.19
c5 c8c11c14c17 20:5	0.499 ^b	0.150 ^a	0.798 ^c	0.135 ^a	0.041	<0.01	<0.01	<0.01
22:0	0.022	0.021	0.021	0.017	0.002	0.27	0.17	0.43
c13 22:1	0.018	0.017	0.021	0.019	0.002	0.38	0.14	0.51
c13c16 22:2	0.021	0.013	0.021	0.012	0.002	<0.01	0.75	0.77
c7c10c13c16 22:4	0.023	0.021	0.025	0.015	0.003	0.06	0.42	0.18
c7c10c13c16c19 22:5	0.026	0.015	0.028	0.012	0.004	<0.01	0.97	0.49
c4c7c10c13c16c19 22:6	0.149 ^b	0.053 ^a	0.297 ^c	0.070 ^a	0.016	<0.01	<0.01	<0.01
24:0	0.023	0.021	0.025	0.015	0.003	0.06	0.42	0.18
24:1	0.026	0.015	0.028	0.012	0.004	<0.01	0.97	0.49

Item, g/100 g of total FA ²	Dairy		Meat		SEM	P-value ¹		
	Pasture	Concentrate	Pasture	Concentrate		F	B	F × B
n-6 fatty acids ⁸	8.342 ^{a,b,y}	10.361 ^{b,z}	7.166 ^{a,x,y}	6.169 ^{a,x}	0.602	0.39	<0.01	0.02
n-3 fatty acids ⁹	3.162 ^b	1.106 ^a	4.425 ^c	0.898 ^a	0.180	<0.01	0.01	<0.01
n-6/n-3 fatty-acid ratio	2.726	9.686	1.651	7.336	0.598	<0.01	0.01	0.26
Polyunsaturated fatty acids	13.171	12.286	13.495	8.433	0.955	<0.01	0.01	<0.01
Monounsaturated fatty acids	44.750	47.672	43.821	51.227	0.652	<0.01	0.17	0.02
Saturated fatty acids	39.325	37.953	40.070	37.844	0.671	0.01	0.63	0.52
Total <i>trans</i> fatty acids identified ¹⁰	2.032	1.024	2.576	1.565	0.146	<0.01	<0.01	0.99
<i>t</i> 6-8 18:1, % total <i>trans</i> 18:1	4.849	7.854	5.152	6.646	0.528	<0.01	0.40	0.17
<i>t</i> 9 18:1, % total <i>trans</i> 18:1	9.138	16.305	9.150	17.008	0.993	<0.01	0.72	0.73
<i>t</i> 10 18:1, % total <i>trans</i> 18:1	13.139	25.787	13.691	20.998	1.609	<0.01	0.19	0.10
<i>t</i> 11 18:1, % total <i>trans</i> 18:1	61.010	37.986	59.307	43.967	2.601	<0.01	0.41	0.15
<i>t</i> 16 18:1, % total <i>trans</i> 18:1	11.864	12.115	12.613	11.291	1.013	0.59	0.97	0.43
<i>t</i> 11/ <i>t</i> 10 18:1 ratio	5.805	1.560	4.644	2.128	0.651	<0.01	0.65	0.19
Desaturase index ¹¹								
<i>c</i> 9 14:1/ <i>c</i> 9 14:1 + 14:0	0.067	0.064	0.059	0.063	0.004	0.89	0.12	0.29
<i>c</i> 9 16:1/ <i>c</i> 9 16:1 + 16:0	0.081 ^{y,z}	0.080 ^{y,z}	0.079 ^y	0.094 ^z	0.004	0.09	0.17	0.07
<i>c</i> 9 18:1/ <i>c</i> 9 18:1 + 18:0	0.699	0.747	0.684	0.769	0.012	<0.01	0.76	0.12
CLA/CLA + <i>t</i> 11 18:1	0.308	0.323	0.280	0.376	0.026	0.04	0.62	0.12

^{a,b}When the interaction of feed by breed was significant, values followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$.

^{y,z}When the interaction of feed by breed was significant, values followed by the same letter are not significantly different at $0.05 < P \leq 0.10$.

¹F = effect of feed (pasture vs. concentrate), B = effect of breed (dairy vs. meat), and F × B = interaction of feed by breed.

² FA = fatty acids

³Coelution with minor concentration of *t*10 16:1.

⁴Coelution with minor concentration of *c*10 16:1.

⁵Coelution with lower concentrations of *c*14 18:1.

⁶Coelution with lower concentrations of *c*10 18:1, *t*13/14 18:1 et *t*12 18:1.

⁷Coelution with lower concentrations of *t*15 18:1.

⁸Sum of n-6 fatty acids = *c*9*c*12 18:2, *c*6*c*9*c*12 18:3, *c*11*c*14 20:2, *c*8*c*11*c*14 20:3, *c*5*c*8*c*11*c*14 20:4, *c*13*c*16 22:2, *c*7*c*10*c*13*c*16 22:4.

⁹Sum of n-3 fatty acids = *c*9*c*12*c*15 18:3, *c*6*c*9*c*12*c*15 18:4, *c*11*c*14*c*17 20:3, *c*8*c*11*c*14*c*17 20:4, *c*5*c*8*c*11*c*14*c*17 20:5, *c*7*c*10*c*13*c*16*c*19 22:5, *c*4*c*7*c*10*c*13*c* 16*c*19 22:6.

¹⁰Sum of *t*18:1 identified = *t*6 to 8 18:1, *t*9 18:1, *t*10 18:1, *t*11 18:1, *t*16 18:1.

¹¹Values represent the ratio of product/(substrate + product) for Δ^9 -desaturase. CLA = *c*9*t*11 18:2.

4.5 Discussion

Pasture-fed kids greater DM intake was observed compared with concentrate-fed kids was observed by Zervas et al., (1999) with lambs. Greater energy requirements, associated with greater energy costs of activity on pasture (Brassard et al., 2016), and lower energy density of pasture- compared with concentrate-based diets may explained the increase DM intake of grazing kids. Moreover, grazing kids had access to good quality forage, as a result of intensive rotational management (new paddock each day) and a maximum herbage height of 15 cm at the entrance, which could also have influenced their intake. Furthermore, kids were allowed to graze selectively since refusals of 40% of DM offered were always present. According to Urge et al. (2004), Alpine and Boer wether goats had similar intake on concentrate-based diet. It appears that breed because of difference in mature size influences intake (Lewis and Emmans, 2010) but mature size of Boer (115 kg) and Alpine (80 to 100 kg) goats are similar (Warmington and Kirton, 1990). Difference in the grazing behavior of dairy and meat kids could explain that actual intake of dairy kids was less than predicted for pasture, whereas it was not observed with dairy kids offered concentrates or meat kids at pasture on concentrates. Indeed, Goetsch et al., (2010) observed that Boer and Spanish goats that were introduced in the same pasture, one year apart, displayed a different pattern of exploration and grazing inside fences. As the authors stated, factors such as genotype and plant species preferences could be responsible for those disparities. Unfortunately, hand-plucked samples of forage, which could have been more precise than quadrats material analysis, were not performed in the present study. Hand-plucked samples aim to represents bite that are similar to that being selected by the kids. Discrepancies between actual intake at pasture and estimated intake could be explained by the fact that quadrats were used throughout the fattening period whereas fecal collection measurements were done for 2 weeks. According to Macoon et al. (2003), the herbage disappearance method led to lower values of intake when compared with marker methods.

Dairy kids were heavier at the beginning of the experiment but had lower ADG than meat kids. Therefore, the length of the fattening period was similar for both breeds. Even if dairy kids had satisfying ADG, meat kids are known for superior growth rate (Urge et al.,

2004). The lack of difference between feeding systems for ADG allowed the authors to believe that there is a real potential to grow kids exclusively on intensive rotational pasture management. Greater carcasses weight and dressing yield of concentrate- compared with pasture-fed kids were in agreement with results of Ryan et al. (2007).

Heavier hide and digestive tracks results in grazing than concentrate-fed kids coincided with findings of Asizua et al. (2014). Ortigues and Doreau (1995) noted, in their review, that greater intake increased gastrointestinal tract and liver weight. Accretion of epithelium related to greater DMI and physical effects of digesta from pasture diets could also be part of the explanation (Goetsch, 1998). According to Finegan et al. (2001), greater proportion of the gastrointestinal tract relative to EBW supported greater thermogenesis related to this organ in forage- than concentrate-fed ruminants. Important internal fat deposition observed with high-energy diet was in agreement with results of Liméa et al. (2009) with Creole kids reared with or without concentrates, and with Ryan et al. (2007) experiment on the effect of different levels of concentrate in the diet of Boer kids.

Non-carcass components are known to be affected by breed (Oman et al., 1999), as observed in the present study. Dhanda et al. (2003) observed differences in head, heart, kidneys, and hide proportion of EBW among 6 genotypes in goats. Fore limb was affected by genotype in meat goat with lower proportion for Black Bengal goat, a breed specially selected for growth (Amin et al., 2000). Moreover, a study comparing secretion (Holstein) with accretion (Charolais) cattle breed revealed that dairy breeds had longer heads (Pfuhl et al., 2007). Such characteristics could explain greater head weight and heavier anterior primal cuts of dairy kids. Accordingly, cross carcass section area of Charolais was significantly greater than Holstein showing that posterior cuts, such as the loin and leg, probably resulted from selection for muscle growth leading to greater meat yield for breeds reared for meat production. According to Argüello et al. (2007), there was no effect of regimen on neck primal cut proportion of carcass, while we observed higher neck proportions for pasture-fed kids. Growth development of carcasses with different slaughter weights showed that neck develops at a later stage in goats (Fernandes et al., 2008). Slaughter weight in the present experiment was attained after more than 100 days of

fattening with an average initial BW of 26 kg while non-weaned kids were slaughtered at an average of 8.2 kg at 35 days of age (Fernandes et al., 2008). Results of Liméa et al. (2009) also indicated no effect of feeding treatment on primal cuts proportions. Different carcass jointing procedures possibly explained discrepancies between experiments.

Flank of meat kids were heavier in concentrate- than pasture-fed animals, whereas, dairy kids flank weights were similar irrespective of feeding treatments. Dissection revealed that meat kids accumulated more fat with concentrates than with pasture whereas dairy kids accumulated similar proportions of fat irrespective of dietary treatment in flank and in some primal cuts. Consequently, dairy kids deposited similar proportions of lean in some primal cuts whereas meat kids tended to deposit more lean tissue when fed pasture. Nuernberg et al. (2005) also observed interaction between feeding system (concentrate vs. grass-fed) and breed (German Holstein vs. German Simmental) for age at slaughter and ADG. Similar to our results, Simmental bulls were more influenced by feeding system than Holstein bulls. On the contrary, Geay and Robelin (1979) observed an inverse interaction between genotype and nutrition, as lipid accumulation as a proportion of gain was greater in dairy (Friesian) than beef breed (Limousin bulls) with a similar energy intake.

Lower energy concentration in the pasture-fed kid diet prevented fat deposition and resulted in greater lean proportion in some primal cuts. Increased lean deposition with grazing systems was consistent with findings of Hamdi et al. (2016). Consequently, it was anticipated that concentrate-fed kids would deposit more fat than grazing kids. Meat kids deposited more fat compared with dairy kids whereas the latter had a greater proportion of bones in almost all primal cuts. According to Bertrand et al. (1983), it seems difficult to have similar fat deposition in dairy compared with meat breeds even if BW at slaughter are similar. Indeed, dairy breeds reach physiological maturity later than meat breeds and follow a distinctive pattern of fat-partitioning (Tatum et al., 1986). Therefore, dairy kids, as observed in the present study, deposited more lean and bone but less fat, and would probably have needed more time to reach physiological maturity and would have heavier BW at slaughter, to deposit similar fat proportion compared with meat kids.

Lower glycolytic potential led to greater pHu and to a tendency for darker meat in concentrate- than pasture-fed kids. These results were unexpected mainly because concentrate-fed kids had greater energy concentration in the diet, which usually allowed greater accumulation of glycogen in the muscle (Priolo et al., 2001). However, rearing conditions and possible stress encountered at the time of slaughter probably played a role in this phenomenon. Indeed, according to Kadim et al. (2006), meat quality traits such as pHu and color are influenced by stress. Time spent with humans was shorter in concentrate- than pasture-fed kids. All manipulations and measurements related to fence movements and to quadrat and feces collections constrained staff to spend a lot of time outside in the field with goats grazing close to them. While transport conditions and pre-slaughter manipulations were similar for all kids, concentrate-fed kids had probably experienced more stressful situations during those manipulations since they had less human contact during the experiment.

Even if sarcomere lengths were not influenced by feeding treatment, and meat pHu was lower, pasture-fed kids had greater WBSF than concentrate-fed kids. Priolo et al. (2002a) indicated from panel evaluation that meat from grass- compared with concentrate-fed lambs was less tender. As observed in the present study, meat from concentrate-fed animals contained greater concentration of fat, which, according to Priolo et al. (2002a), is softer than lean. Moreover, goat meat from intensive reared system compared with system based on pasture had greater juiciness and tenderness, and better texture (McMillin and Brock, 2005). In contrast, effect of the feeding system on meat tenderness is not clear since Ryan et al. (2007) studying meat from range- compared with concentrate-fed goats observed similar WBSF and overall meat tenderness, even if meat marbling score was significantly greater for concentrate-fed kids. According to Kadim et al. (2006), breed had no effect on sarcomere length. Longer sarcomere was usually related to tender meat, which was not the case in the present study. Indeed, even if meat kids had longer sarcomeres, there was no difference between breed in meat WBSF ($P = 0.51$). Although breed had significant effect on meat WBSF among 7 beef breeds, trained sensory panels were not able to detect differences in meat tenderness (Wheeler et al., 2005). Although, they reported greater protein concentration in the whole carcass of goats fed hay compared with goats fed

different levels of concentrate supplementation, Mushi et al. (2009) did not indicate difference in protein concentration of the LTL muscle, as opposed to our results. Finally, greater ribeye area for Boer kids compared with other breeds is well documented (Mahgoub et al., 2012).

According to Kadim et al. (2006), breed had no effect on meat color. On the contrary, differences among breeds for meat a^* and L^* values observed in the present study were also found in sheep (Cloete et al., 2012; Ekiz et al., 2009). Lower a^* value in fat depot of indoor-reared kids could be related to vascularization. Indeed, hypertrophy of fat cells in meat tissue of concentrate-fed animals, consequence of high-energy concentrations in grain, could have altered adipose tissue vessels and capillaries (Crandall et al., 1997). Another explanation could be linked to greater antioxidant concentration in grass that could effectively prevent formation of oxidized molecules influencing fat color similar to myoglobin in meat (Abuelfatah et al., 2016). Perirenal fat greater b^* value, which can be due to lutein accumulation that came from green forage (Yang et al., 1992), was also observed with lambs (Priolo et al., 2002b). Breed effect was reported on color of subcutaneous fat in sheep (Baker et al., 1985), whereas no effect of genotype was observed in goat subcutaneous fat measured at the 12th rib (Dhanda et al., 1999). Priolo et al. (2002b) observed that fat carotenoid concentration increased with water evaporation during storage. Fat color measurement were performed 24h after slaughtering by Dhanda et al. (1999) while in the present study, those measurements were performed 48h after slaughtering. Such time between measurements may explain differences observed. Moreover, carotene and hemoglobin concentration in fat affect color as well as translucency (Irie, 2001). Differences of fat thickness deposition between measurement sites (Delfa et al., 1995) may have impacted fat color measurements and could partially explain the present discrepancies between dairy and meat kids results. In the present study, there was a tendency for greater fat thickness for meat than dairy goats at the 12th rib site but not at the 5th rib. Less fatty carcasses of dairy kids could also explain differences in a^* value between breeds in subcutaneous and perirenal fat and was possibly emphasized by the metabolic status of the fat tissue. Indeed, brown adipose tissue such as perirenal fat is metabolically and

morphologically different from white adipose tissue such as caudal fat (Lefterova and Lazar, 2009).

In accordance with our results, Demirel et al. (2006) also noticed interactions between breed of different purposes (meat or milk) and feeding system, influencing FA concentrations in lamb meat. In the present study, meat fat of dairy kids on concentrate-based diet was enriched with n-6 FA as is usually observed when animal are offered concentrates instead of pasture. Corn, a major ingredient in concentrates, contained *c9c12* 18:2, an important n-6 FA, that probably avoided biohydrogenation in the rumen and accumulated in meat fat of concentrate-fed dairy kids. In fact, meat fat concentration of *c9t11* 18:2 was 65% lower with concentrate compared with pasture for dairy kids. Diets containing more than 70% concentrate (77% for the concentrate-fed kids of the present study) lowered biohydrogenation in the rumen (Doreau and Chilliard, 2007). In the present study, desaturation and elongation of *c9c12* 18:2 also occurred as *c11c14* 20:2 and *c8c11c14* 20:3 accumulated in meat of concentrate-fed dairy kids, which led to an increase of total n-6 FA in meat. The process seemed to differ for meat kids since meat fat n-6 FA concentrations were similar regardless of the feeding system. In parallel, meat fat *c9* 18:1 and *c9* 16:1 concentrations tended to be greater in concentrate- than pasture-fed meat kids whereas these meat attributes were not influenced by the feeding system in dairy kids. One hypothesis to explain this phenomenon could be that the biohydrogenation process is more effective in the rumen of meat than dairy kids. Caroprese et al. (2017) also speculated about possible differences in ruminal biohydrogenation between Friesian and Jersey cows. As a result, less unsaturated FA could have left the rumen of meat kids intact or as intermediates of biohydrogenation, and more desaturation in meat of those kids would then occur. Thus, as more 18:0 and 16:0 were produced and circulating, desaturation in meat with those substrates was enhanced leading to greater proportion of monounsaturated FA in meat fat of meat kids than dairy kids. Furthermore, the desaturation of *t11* 18:1 in *c9t11* 18:2 was reduced with concentrates compared with pasture fed kids of both breeds, but at a lower magnitude for meat kids. Presence of more *t11* 18:1 and less *c9c12* 18:2 in meat fat of meat kids fed concentrate compared with dairy kids fed similar regimen may indicate greater biohydrogenation of *c9c12* 18:2 in the rumen of meat kids.

It was demonstrated that greater fat accumulation in carcass and meat was negatively correlated with polyunsaturated FA concentration in meat (Wood et al., 2008). As was already discussed, meat kids reared indoors on concentrates stored more fat in the carcass than dairy kids under the same conditions, which may explain why dairy kids accumulated greater proportion of polyunsaturated FA with pasture compared with concentrate but at a lower magnitude than meat kids. Greater proportion of most n-3 biohydrogenation intermediates and total n-3 were measured in meat of pasture-fed kids compared with concentrate-fed kids. However, meat kids accumulated almost 5-fold more n-3 FA in meat fat, whereas dairy kids showed 2.9-fold more n-3 FA in meat, when they were fed with pasture compared with concentrates. Nuernberg et al. (2005) reported the same interaction with different cattle breeds eating grass- and concentrate-based diets. Pasture-fed kids accumulated c9c12c15 18:3 in their meat probably because predominance of this FA in pasture allowed a greater quantity to reach the rumen whereas highly solicited rumen bacteria would then let c9c12c15 18:3 escape the rumen without biohydrogenation and accumulate in meat. In addition, dietary c9c12c15 18:3 would be desaturated and elongated until the formation of c4c7c10c13c16c19 22:6 (Aurousseau et al., 2004) as this last FA was observed in meat of pasture- in comparison with concentrate-fed kids. The same phenomenon was observed at a greater magnitude in meat vs. dairy kids.

Concentration of odd- and branched-chain FA in meat fat was in accordance with values reported by Lopes et al. (2014). Lipids contained in cellulolytic bacteria, present in greater quantity in the rumen of animals fed a forage-based diets, are enriched with odd- and even-chain of *iso*- and *anteiso*-FA (Vlaeminck et al., 2006), supporting higher concentration of those FA in the meat fat of pasture-fed kids. Biohydrogenation by ruminal microbes that transform unsaturated FA such as c9c12c15 18:3 from pasture into saturated FA could sometimes be incomplete, leading to the absorption of intermediates to be delivered to the body tissues (Jenkins et al., 2008) and accumulated in fat. In the present study, concentrate feeding system decreased concentration in meat fat of all intermediates of c9c12c15 18:3 biohydrogenation such as c9t11c15 18:3 (33%), t11c15 18:2 (89%), and t11 18:1 (57%). Therefore, less t11 18:1 was available for CLA production (c9t11 18:2) by Δ^9 -desaturase, which is suggested by Daniel et al. (2004) to be the first factor controlling

CLA production. However, concentrate-based diets compared with forage-based diets led to greater expression of Δ^9 -desaturase mRNA (Daniel et al., 2004) and greater insulin plasma level in sheep (Achmadi et al., 1993). Elevated insulin levels were shown to positively modulate desaturase activity (Ward et al., 1998). Lower meat fat concentration of 18:0 in concentrate- compared with pasture-fed kids could possibly indicated that this FA was used as substrate. Furthermore, desaturase index and c9 18:1 concentration in meat fat were increased for concentrate-fed kids. Concentrate led to greater levels of volatile FA production in the rumen and consequently more substrate available for FA production in fat tissue. Daniel et al. (2004) observed that abomasal content of concentrate- compared with forage-fed sheep had similar concentration of 18:0. Thus, the increase in c9 18:1 for concentrate-fed kids can be the result of more substrate available for lipogenesis, and insulin stimulation of Δ^9 -desaturase. The decreased of t11/t10 18:1 ratio in meat fat was probably another consequence of lower concentration of t11 18:1 in meat fat of concentrate-fed kids. Greater n-6/n-3 FA ratio (3.9 fold) in meat fat of concentrate-fed kids was explained by greater concentrations of n-3 FA for grazing kids and no effect of feeding system on total n-6 FA in meat fat. The enhanced production of *trans*-isomers of biohydrogenation for meat kids and the decrease of *cis*-isomers with dairy kids suggested that breed affected meat fat FA profile. Camacho et al. (2017) also noticed difference in *cis* 18:1 but not in *trans* 18:1 in meat fat lambs. Horcada et al. (2016) concluded, in an experiment with Limousine, Charolais, and Retinta, that response in meat fat FA profile to dietary treatment are breed-related. An accumulation of about 30% more n-6 and 25% less n-3 FA in meat fat of dairy than meat kids led to a more favorable n-6/n-3 FA ratio in meat fat of meat kids, in regards to human health (Enser et al., 1998).

Compared of using more concentrate in the diet, rotational intensive grazing permitted similar ADG, less internal accumulation of fat in the carcass, and similar good quality meat of goat kids. Interaction between feeding systems and breed for most of primal carcass cuts showed that dairy kids were less influenced by feeding system in regards to carcass fat and lean accumulation in comparison with meat kids. Pasture enhanced n-3 FA concentration whereas concentrate enhanced n-6 FA concentration in meat fat but with a

different amplitude for dairy and meat kids suggesting a breed-related effect of feeding treatment on the meat fat FA profile in goat kids.

4.6 Literature cited

- Abuelfatah, K., A. B. Z. Zuki, Y. M. Goh, and A. Q. Sazili. 2016. Effects of enriching goat meat with n – 3 polyunsaturated fatty acids on meat quality and stability. *Small Rumin. Res.* 136:36-42. doi:10.1016/j.smallrumres.2016.01.001.
- Achmadi, J., T. Yanagisawa, H. Sano, and Y. Terashima. 1993. Pancreatic insulin secretory response and insulin action in heat-exposed sheep given a concentrate or roughage diet. *Domest. Anim. Endocrinol.* 10:279-287. doi:10.1016/0739-7240(93)90032-7.
- Amin, M. R., S. S. Husain, and A. B. M. M. Islam. 2000. Evaluation of Black Bengal goats and their cross with the Jamunapari breed for carcass characteristics. *Small Rumin. Res.* 38:211-215. doi:10.1016/S0921-4488(00)00165-6.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. *Official Methods of Analysis of the Association Official Analytical Chemists*. 15th ed., Arlington, VA.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2005. *Official Methods of Analysis of the Association Official Analytical Chemists*. 18th ed., Arlington, VA.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2006. *Official Methods of Analysis of the Association Official Analytical Chemists*. 18th ed., Arlington, VA.
- Asizua, D., D. Mpairwe, F. Kabi, D. Mutetikka, K. Kamatara, T. Hvelplund, M. R. Weisbjerg, S. K. Mugasi, and J. Madsen. 2014. Growth performance, carcass and non-carcass characteristics of Mubende and Mubende×Boer crossbred goats under different feeding regimes. *Livest. Sci.* 169:63-70. doi:10.1016/j.livsci.2014.09.010.
- Aurousseau, B., D. Bauchart, E. Calichon, D. Micol, and A. Priolo. 2004. Effect of grass or concentrate feeding systems and rate of growth on triglyceride and phospholipid and their fatty acids in the M. longissimus thoracis of lambs. *Meat Sci.* 66:531-541. doi:10.1016/S0309-1740(03)00156-6.
- Baker, R. L., T. Steine, A. W. Våbenø, and D. Breines. 1985. The inheritance and incidence of yellow fat in Norwegian sheep. *Acta Agric. Scand.* 35:389-397. doi:10.1080/00015128509442050.
- Beck, P. A., C. B. Stewart, M. B. Sims, M. S. Gadberry, and J. A. Jennings. 2016. Effects of stocking rate, forage management, and grazing management on performance and economics of cow–calf production in Southwest Arkansas. *J. Anim. Sci.* 94:3996-4005. doi:10.2527/jas.2016-0634.
- Bertrand, J. K., R. L. Willham, and P. J. Berger. 1983. Beef, dairy and beef × dairy carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 57:1440-1448. doi:10.2527/jas1983.5761440x.
- Brassard, M. E., R. Puchala, T. A. Gipson, T. Sahlu, and A. L. Goetsch. 2016. Factors influencing estimates of heat energy associated with activity by grazing meat goats. *Livest. Sci.* 193:103-109. doi:10.1016/j.livsci.2016.10.005.
- Camacho, A., A. Torres, J. Capote, J. Mata, J. Viera, L. A. Bermejo, and A. Argüello. 2017. Meat quality of lambs (hair and wool) slaughtered at different live weights. *J. Appl. Anim. Res.* 45:400-408. doi:10.1080/09712119.2016.1205498.
- Caroprese, M., R. Mancino, M. G. Ciliberti, A. Di Luccia, B. La Gatta, and M. Albenzio. 2017. Fatty acid profile and coagulating ability of milk from Jersey and Friesian cows fed whole flaxseed. *J. Dairy Res.* 84:14-22. doi:10.1017/S002202991600073X.

- Cloete, J. J. E., L. C. Hoffman, and S. W. P. Cloete. 2012. A comparison between slaughter traits and meat quality of various sheep breeds: Wool, dual-purpose and mutton. *Meat Sci.* 91:318-324. doi:10.1016/j.meatsci.2012.02.010.
- Colomer-Rocher, F., P. Morand-Fehr, and A. H. Kirton. 1987. Standard methods and procedures for goat carcass evaluation, jointing and tissue separation. *Livest. Prod. Sci.* 17:149-159. doi:10.1016/0301-6226(87)90060-1.
- Crandall, D. L., G. J. Hausman, and J. G. Kral. 1997. A review of the microcirculation of adipose tissue: Anatomic, metabolic, and angiogenic perspectives. *Microcirculation* 4:211-232. doi:10.3109/10739689709146786.
- da Silva, M. S., G. F. Tremblay, G. Bélanger, J. Lajeunesse, Y. A. Papadopoulos, A. E. S. Fillmore, and C. C. Jobim. 2013. Energy to protein ratio of grass–legume binary mixtures under frequent clipping. *Agron. J.* 105:482-492. doi:10.2134/agronj2012.0281.
- Daniel, Z. C. T. R., R. J. Wynn, A. M. Salter, and P. J. Buttery. 2004. Differing effects of forage and concentrate diets on the oleic acid and conjugated linoleic acid content of sheep tissues: The role of stearoyl-CoA desaturase. *J. Anim. Sci.* 82:747-758. doi:10.2527/2004.823747x.
- Delfa, R., C. Gonzalez, L. Gosalvez, M. Tor, and A. Teixeira. 1995. Use of three joints as predictors of carcass and body fat depots in Blanca Celtibérica goats. In: A. Purroy, editor, *Body composition of sheep and goats: Methodological aspects applications*. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes. Paris, France. p. 121-131.
- Demirel, G., H. Ozpinar, B. Nazli, and O. Keser. 2006. Fatty acids of lamb meat from two breeds fed different forage:concentrate ratio. *Meat Sci.* 72:229-235. doi:10.1016/j.meatsci.2005.07.006.
- Dhanda, J. S., D. G. Taylor, and P. J. Murray. 2003. Part 1. Growth, carcass and meat quality parameters of male goats: Effects of genotype and liveweight at slaughter. *Small Rumin. Res.* 50:57-66. doi:10.1016/S0921-4488(03)00112-3.
- Dhanda, J. S., D. G. Taylor, P. J. Murray, and J. E. McCosker. 1999. The influence of goat genotype on the production of Capretto and Chevon carcasses. 2. Meat quality. *Meat Sci.* 52:363-367. doi:10.1016/S0309-1740(99)00015-7.
- Doreau, M., and Y. Chilliard. 2007. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.* 78:15-35. doi:10.1079/BJN19970132.
- Ekiz, B., A. Yilmaz, M. Ozcan, C. Kaptan, H. Hanoglu, I. Erdogan, and H. Yalcintan. 2009. Carcass measurements and meat quality of Turkish Merino, Ramlic, Kivircik, Chios and Imroz lambs raised under an intensive production system. *Meat Sci.* 82:64-70.
- Enser, M., K. G. Hallett, B. Hewett, G. A. J. Fursey, J. D. Wood, and G. Harrington. 1998. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. *Meat Sci.* 49:329-341. doi:10.1016/S0309-1740(97)00144-7.
- Fernandes, M. H. M. R., K. T. D. Resende, L. O Tedeschi, J. S. Fernandes Jr, I. A. M. A. Teixeira, G. E. Carstens, and T. T. Berchielli. 2008. Predicting the chemical composition of the body and the carcass of 3/4Boer $\times$ 1/4Saanen kids using body components. *Small Rumin. Res.* 75:90-98. doi:10.1016/j.smallrumres.2007.09.005

- Finegan, E. J., J. G. Buchanan-Smith, and B. W. McBride. 2001. The role of gut tissue in the energy metabolism of growing lambs fed forage or concentrate diets. *Br. J. Nutr.* 86:257-264. doi:10.1079/BJN2001393.
- Geay, Y., and J. Robelin. 1979. Variation of meat production capacity in cattle due to genotype and level of feeding: Genotype-nutrition interaction. *Livest. Prod. Sci.* 6:263-276. doi:10.1016/0301-6226(79)90044-7.
- Gebrelul, S., L. S. Sartin, and M. Iheanacho. 1994. Genetic and non-genetic effects on the growth and mortality of Alpine, Nubian and crossbred kids. *Small Rumin. Res.* 13:169-176. doi:10.1016/0921-4488(94)90093-0.
- Goetsch, A. L. 1998. Splanchnic tissue energy use in ruminants that consume forage-based diets ad libitum. *J Anim Sci.* 76:2737-2746. doi:10.2527/1998.76102737x.
- Goetsch, A. L., T. A. Gipson, A. R. Askar, and R. Puchala. 2010. Invited review: Feeding behavior of goats. *J. Anim. Sci.* 88:361-373. doi:10.2527/jas.2009-2332.
- Goetsch, A. L., R. C. Merkel, and T. A. Gipson. 2011. Factors affecting goat meat production and quality. *Small Rumin. Res.* 101:173-181. doi:10.1016/j.smallrumres.2011.09.037 .
- Hamdi, H., L. Majdoub-Mathlouthi, B. Picard, A. Listrat, D. Durand, I. A. Znaïdi, and K. Kraiem. 2016. Carcass traits, contractile muscle properties and meat quality of grazing and feedlot Barbarine lamb receiving or not olive cake. *Small Rumin. Res.* 145:85-93. doi:10.1016/j.smallrumres.2016.10.028.
- Horcada, A., O. Polvillo, M. Juárez, C. Avilés, A. L. Martínez, and F. Peña. 2016. Influence of feeding system (concentrate and total mixed ration) on fatty acid profiles of beef from three lean cattle breeds. *J. Food Compost. Anal.* 49:110-116. doi:10.1016/j.jfca.2016.04.008.
- Irie, M. 2001. Optical evaluation of factors affecting appearance of bovine fat. *Meat Sci.* 57:19-22. doi:10.1016/S0309-1740(00)00069-3.
- Isaac, R. A., and W. C. Johnson. 1976. Determination of total nitrogen in plant tissue, using a block digester. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 59:98-100.
- Jacques, J., R. Berthiaume, and D. Cinq-Mars. 2011. Growth performance and carcass characteristics of Dorset lambs fed different concentrates:forage ratios or fresh grass. *Small Rumin. Res.* 95:113-119. doi:10.1016/j.smallrumres.2010.10.002.
- Jacques, J., P. Y. Chouinard, C. Gariépy, D. Cinq-Mars. 2017. Meat quality, organoleptic characteristics and fatty acid composition of Dorset lambs fed different forage to concentrate ratio or fresh grass. *Can. J. Anim. Sci.* 97:290-301. doi:10.1139/CJAS-2016-0104.
- Jenkins, T. C., R. J. Wallace, P. J. Moate, and E. E. Mosley. 2008. Board-invited review: Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *J. Anim. Sci.* 86:397-412. doi:10.2527/jas.2007-0588.
- Kadim, I. T., O. Mahgoub, A. Al-Kindi, W. Al-Marzooqi, and N. M. Al-Saqri. 2006. Effects of transportation at high ambient temperatures on physiological responses, carcass and meat quality characteristics of three breeds of Omani goats. *Meat Sci.* 73:626-634. doi:10.1016/j.meatsci.2006.03.003.
- Lachat Instruments. 2013. Methods list for automated ion analyzers (flow injection analyses, ion chromatography). Lachat Instruments, Loveland, CO. Accessed Jun. 8, 2017. www.lachatinstruments.com/download/LL022-Rev-7.pdf.
- Lefterova, M. I., and M. A. Lazar. 2009. New developments in adipogenesis. *Trends Endocrinol. Metab.* 20:107-114. doi:10.1016/j.tem.2008.11.005.

- Lewis, R. M., and G. C. Emmans. 2010. Feed intake of sheep as affected by body weight, breed, sex, and feed composition. *J. Anim. Sci.* 88:467-480. doi:10.2527/jas.2008-1735.
- Liméa, L., M. Boval, N. Mandonnet, G. Garcia, H. Archimède, and G. Alexandre. 2009. Growth performance, carcass quality, and noncarcass components of indigenous Caribbean goats under varying nutritional densities. *J. Anim. Sci.* 87:3770-3781. doi:10.2527/jas.2009-1834.
- Lopes, L. S., S. R. Martins, M. L. Chizzotti, K. C. Busato, I. M. Oliveira, O. R. Machado Neto, P. V. R. Paulino, D. P. D. Lanna, and M. M Ladeira. 2014. Meat quality and fatty acid profile of Brazilian goats subjected to different nutritional treatments. *Meat Sci.* 97:602-608. doi:10.1016/j.meatsci.2014.03.005.
- Lupton, C. J., J. E. Huston, J. W. Hruska, B. F. Craddock, F. A. Pfeiffer, and W. L. Polk. 2008. Comparison of three systems for concurrent production of high quality mohair and meat from Angora male kids. *Small Rumin. Res.* 74:64-71. doi:10.1016/j.smallrumres.2007.03.008.
- Macon, B., L. E. Sollenberger, J. E. Moore, C. R. Staples, J. H. Fike, and K. M. Portier. 2003. Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *J. Anim. Sci.* 81:2357-2366. doi:10.2527/2003.8192357x.
- Mahgoub, O., I. T. Kadim, and E. Webb. 2012. Goat meat production and quality. CABI, Oxfordshire. UK.
- McMillin, K. W., and A. P. Brock. 2005. Production practices and processing for value-added goat meat. *J. Anim. Sci.* 83:57-68. doi:10.2527/2005.8313_supplE57x.
- Mertens, D. R. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: Collaborative study. *J. AOAC Int.* 85:1217-1240.
- Monin, G., A. Mejenes-Quijano, A. Talmant, and P. Sellier. 1987. Influence of breed and muscle metabolic type on muscle glycolytic potential and meat pH in pigs. *Meat Sci.* 20:149-158. doi:10.1016/0309-1740(87)90034-9.
- Mulliniks, J. T., A. G. Rius, M. A. Edwards, S. R. Edwards, J. D. Hobbs, and R. L. G. Nave. 2015. Forages and pastures symposium: Improving efficiency of production in pasture- and range-based beef and dairy systems. *J. Anim. Sci.* 93:2609-2615. doi:10.2527/jas.2014-8595.
- Mushi, D. E., J. Safari, L. A. Mtenga, G. C. Kifaro, and L. O. Eik. 2009. Effects of concentrate levels on fattening performance, carcass and meat quality attributes of Small East African $\times$ Norwegian crossbred goats fed low quality grass hay. *Livest. Sci.* 124:148-155. doi:10.1016/j.livsci.2009.01.012.
- Ngwa, A. T., L. J. Dawson, R. Puchala, G. D. Detweiler, R. C. Merkel, Z. Wang, K. Tesfai, T. Sahlu, C. L. Ferrell, and A. L. Goetsch. 2009. Effects of breed and diet on growth and body composition of crossbred Boer and Spanish wether goats. *J. Anim. Sci.* 87:2913-2923. doi:10.2527/jas.2009-1835.
- NRC. 2007. Nutrients requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new camelids. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Nuernberg, K., D. Dannenberger, G. Nuernberg, K. Ender, J. Voigt, N. D. Scollan, J. D. Wood, G. R. Nute, and R. I. Richardson. 2005. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. *Livest. Prod. Sci.* 94:137-147. doi:10.1016/j.livprodsci.2004.11.036.

- Oman, J. S., D. F. Waldron, D. B. Griffin, and J. W. Savell. 1999. Effect of breed-type and feeding regimen on goat carcass traits. *J. Anim. Sci.* 77:3215-3218. doi:10.2527/1999.77123215x.
- Ortigue, I., and M. Doreau. 1995. Responses of the splanchnic tissues of ruminants to changes in intake: Absorption of digestion end products, tissue mass, metabolic activity and implications to whole animal energy metabolism. *Ann. Zootech.* 44:321-346. doi:10.1051/animres:19950401.
- Ozcan, M., H. Yalcintan, C. Tölü, B. Ekiz, A. Yilmaz, and T. Savaş. 2014. Carcass and meat quality of Gokceada goat kids reared under extensive and semi-intensive production systems. *Meat Sci.* 96:496-502. doi:10.1016/j.meatsci.2013.08.008.
- Paradis, C., R., Berthiaume, C. Lafreniere, R. Gervais and P. Y. Chouinard. 2008. Conjugated linoleic acid content in adipose tissue of calves suckling beef cows on pasture and supplemented with raw or extruded soybeans. *J. Anim. Sci.* 86:1624-1636. doi: 10.2527/jas.2007-0702.
- Pfuhl, R., O. Bellmann, C. Kühn, F. Teuscher, K. Ender, and J. Wegner. 2007. Beef versus dairy cattle: A comparison of feed conversion, carcass composition, and meat quality. *Arch. Tierz.* 50:59-70.
- Priolo, A., D. Micol, and J. Agabriel. 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Anim. Res.* 50:185-200. doi:10.1051/animres:2001125.
- Priolo, A., D. Micol, J. Agabriel, S. Prache, and E. Dransfield. 2002a. Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Sci.* 62:179-185. doi:10.1016/S0309-1740(01)00244-3.
- Priolo, A., S. Prache, D. Micol, and J. Agabriel. 2002b. Reflectance spectrum of adipose tissue to trace grass feeding in sheep: Influence of measurement site and shrinkage time after slaughter. *J. Anim. Sci.* 80:886-891. doi:10.2527/2002.804886x.
- Ryan, S. M., J. A. Unruh, M. E. Corrigan, J. S. Drouillard, and M. Seyfert. 2007. Effects of concentrate level on carcass traits of Boer crossbred goats. *Small Rumin. Res.* 73:67-76. doi:10.1016/j.smallrumres.2006.11.004.
- Shrestha, J. N. B., and M. H. Fahmy. 2007. Breeding goats for meat production: 2. Crossbreeding and formation of composite population. *Small Rumin. Res.* 67:93-112. doi:10.1016/j.smallrumres.2005.10.018.
- Tatum, J. D., F. L. Williams, and R. A. Bowling. 1986. Effects of feeder-cattle frame size and muscle thickness on subsequent growth and carcass development. III. Partitioning of separable carcass fat. *J. Anim. Sci.* 62:132-138. doi:10.2527/jas1986.621132x.
- Turner, K. E., D. P. Belesky, K. A. Cassida, and H. N. Zerby. 2014. Carcass merit and meat quality in Suffolk lambs, Katahdin lambs, and meat-goat kids finished on a grass–legume pasture with and without supplementation. *Meat Sci.* 98:211-219. doi:10.1016/j.meatsci.2014.06.002
- Turner, K. E., D. P. Belesky, A. M. Zajac, and M. K. Dowd. 2015. Performance and blood parameters when lambs and meat-goat kids were finished on pasture with and without whole cottonseed (*Gossypium hirsutum*) supplementation. *Grass Forage Sci.* 70:451-464. doi:10.1111/gfs.12121.
- Urge, M., R. C. Merkel, T. Sahlu, G. Animut, and A. L. Goetsch. 2004. Growth performance by Alpine, Angora, Boer and Spanish wether goats consuming 50 or

- 75% concentrate diets. *Small Rumin. Res.* 55:149-158. doi:10.1016/j.smallrumres.2004.02.004.
- Van Niekerk, W. A., and N. H. Casey. 1988. The Boer goat. II. Growth, nutrient requirements, carcass and meat quality. *Small Rumin. Res.* 1:355-368. doi:10.1016/0921-4488(88)90061-2.
- Villeneuve, M.-P., Y. Lebeuf, R. Gervais, G. F. Tremblay, J. C. Vuillemard, J. Fortin and P. Y. Chouinard. 2013. Milk volatile organic compounds and fatty acid profile in cows fed timothy as hay, pasture, or silage. *J. Dairy. Sci.* 96:7181-7194. doi:10.3168/jds.2013-6785.
- Vlaeminck, B., V. Fievez, A. R. J. Cabrita, A. J. M. Fonseca, and R. J. Dewhurst. 2006. Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131:389-417. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.06.017.
- Ward, R. J., M. T. Travers, S. E. Richards, R. G. Vernon, A. M. Salter, P. J. Buttery, and M. C. Barber. 1998. Stearoyl-CoA desaturase mRNA is transcribed from a single gene in the ovine genome. *Biochim. Biophys. Acta, Lipids Lipid Metab.* 1391:145-156. doi:10.1016/S0005-2760(97)00210-5.
- Warmington, B. G., and A. H. Kirton. 1990. Genetic and non-genetic influences on growth and carcass traits of goats. *Small Rumin. Res.* 3:147-165. doi:10.1016/0921-4488(90)90089-O.
- Webb, E. C. 2014. Goat meat production, composition, and quality. *Animal Frontiers* 4:33-37. doi:10.2527/af.2014-0031.
- Wheeler, T. L., L. V. Cundiff, S. D. Shackelford, and M. Koohmaraie. 2005. Characterization of biological types of cattle (Cycle VII): Carcass, yield, and longissimus palatability traits. *J. Anim. Sci.* 83:196-207. doi:10.2527/2005.831196x
- Wood, J. D., and M. Enser. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* 78:343-358. doi:10.1079/BJN19970134.
- Yang, A., T. Larsen, and R. Tume. 1992. Carotenoid and retinol concentrations in serum, adipose tissue and liver and carotenoid transport in sheep, goats and cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 43:1809-1817. doi:10.1071/AR9921809.
- Zervas, G., I. Hadjigeorgiou, G. Zabeli, K. Koutsotolis, and C. Tziala. 1999. Comparison of a grazing- with an indoor-system of lamb fattening in Greece. *Livest. Prod. Sci.* 61:245-251. doi:10.1016/S0301-6226(99)00073-1.
- Zervas, G., and E. Tsiplakou. 2011. The effect of feeding systems on the characteristics of products from small ruminants. *Small Rumin. Res.* 101:140-149. doi:10.1016/j.smallrumres.2011.09.034.

Conclusions

Bien qu'encore méconnue des Québécois, la viande de chèvre est en forte demande partout sur la planète. L'élevage de la chèvre de boucherie est une industrie encore jeune et peu de recherches ont été réalisées sous notre climat. Ainsi de nombreuses questions portant sur des aspects incontournables de la production influençant, entre autres, les matières premières, les façons de faire, le suivi de la production, le produit et même la valorisation des produits transformés, restent sans réponses. Cette industrie peu organisée et encore marginale nécessite qu'on s'y attarde puisque de nouveaux producteurs l'adoptent chaque année et que plusieurs marchés restent encore à conquérir. Les travaux de cette thèse ont été élaborés afin de mieux comprendre les liens étroits qui unissent l'alimentation, la croissance, la qualité de la carcasse et de la viande chez le chevreau de boucherie.

Les travaux résumés dans cette thèse ont d'abord permis de valider la théorie du synchronisme énergie / protéines avec des rations à teneur élevée en concentrés et d'étudier ses effets sur la digestibilité des nutriments, l'environnement ruminal et la production de protéine microbienne (PMic) dans le rumen. En effet, cette production a été calculée grâce au dosage des différents dérivés de purines, présents dans l'urine et résultant exclusivement de la digestion de la population microbienne par le chevreau. Contrairement au principe de la théorie du synchronisme énergie / protéines stipulant que la dégradabilité de l'énergie doit être synchronisée avec celle de la protéine dans le rumen, il a été observé que l'énergie lentement fermentescible dans le rumen, apportée par le maïs, couplée à la protéine rapidement dégradable dans le rumen, fournie par le tourteau de soya (TS), permet une synthèse de PMic maximisée chez le chevreau en croissance. De la même manière, cette synthèse a aussi été supérieure lorsque la source d'énergie rapidement fermentescible de l'orge était servie avec la source de protéine lentement dégradable du tourteau de soya chauffé (TSC). L'énergie du grain non traité, donc plus lentement fermentescible, associée à la protéine rendue moins dégradable en chauffant le TS (TSC) a supporté une production de PMic supérieure dans le rumen du chevreau. Par contre, les différentes dégradabilités de la protéine (TS vs TSC) n'ont pas permis aucune distinction au point de vue de la synthèse ruminale de PMic lorsque qu'appariées avec le grain traité. Il semble que le traitement de la

source d'énergie, par roulage de l'orge ou cassage du maïs, rendant la source d'énergie plus rapidement fermentescible, lorsqu'associé à la disponibilité rapide de la protéine du TS non traité a entraîné des effets néfastes sur l'environnement ruminal des chevreux causant une chute du pH et un ralentissement des processus digestifs (accumulation de MS, MO et NDF dans le rumen). Ainsi, pour maximiser la synthèse de PMic au niveau du rumen, il y a un avantage à choisir le grain entier et à l'associer à une source de protéines rapidement dégradables lorsqu'on formule une ration à teneur élevée en concentrés servie à des chevreux en croissance. De fait, la rumination des grains par le chevreau rend le traitement ce celui-ci inutile.

La seconde étude réalisée dans le cadre des travaux de cette thèse visait à remplacer le maïs par de l'orge dans les rations pour les chevreux en croissance et d'en mesurer les effets sur la croissance et la qualité de la viande produite. Les résultats ont démontré qu'il était possible de remplacer la totalité du maïs par de l'orge sans effet négatif sur les performances des chevreux. De plus, les caractéristiques de la viande n'ont pas été influencées par la céréale de la ration, sauf pour ce qui est de son profil en AG. La concentration en AG polyinsaturés du gras de la viande a augmenté avec l'augmentation de la proportion de maïs dans la ration. En effet, la protection fournie par la matrice protéique de l'amidon du grain de maïs aurait permis à une plus grande proportion d'AG de la famille des n-3 et des n-6 d'échapper à la biohydrogénation dans le rumen pour être incorporés dans le gras intramusculaire des chevreux recevant une proportion croissante de maïs plutôt que d'orge dans la ration. Parallèlement, la proportion plus élevée d'AG n-3 déposée dans la viande comparée à celle des n-6 chez les chevreux recevant le maïs a entraîné une diminution du ratio n-6/n-3 dans le gras de la viande. Aussi, la proportion d'AG *trans* 18:1 dans le gras de la viande s'est révélée faible chez les chevreux nourris de rations à base de maïs. Il faut tout de même souligner que ces gras *trans* ne sont pas de nature industrielle et que certains, comme l'ALC, sont reconnus pour offrir une protection contre certains cancers.

Enfin, la dernière expérience de cette thèse a été planifiée afin d'évaluer les effets de la race et du régime alimentaire sur la croissance, les caractéristiques de la carcasse et la

qualité de la viande chez le chevreau mâle. Les travaux ont permis de confirmer que les chevreaux mâles de race Boer ont un gain supérieur à ceux de races sélectionnées pour la production de lait, comme la race Alpine et Saanen. Le gain de poids moyen quotidien était semblable et l'accumulation de gras dans la carcasse était moins importante chez les chevreaux élevés au pâturage géré de façon intensive comparé aux chevreaux nourris d'une ration à base de concentrés. Aussi, la dissection des demi-carcasses a permis de constater que la production de tissus maigres était semblable pour les 2 races, soit Boer et Alpine/Saanen. D'ailleurs, pour la plupart des découpes, les chevreaux de race bouchère ont accumulé plus de gras et moins de muscle lorsqu'alimentés avec la ration à base de concentrés plutôt que celle à base de pâturage, alors que les chevreaux de race laitière ont obtenu des résultats semblables indépendamment de l'alimentation reçue. Les chevreaux de race bouchère ont obtenus des rendements supérieurs pour les découpes postérieures (longe et gigot) comparé aux chevreaux de race laitière qui ont donné de meilleur rendement pour les découpes antérieures (cou et épaule). Les chevreaux nourris de la ration à base de concentrés ont eu un potentiel glycolytique inférieur menant à une viande démontrant un pHu supérieur à celui des chevreaux au pâturage géré de façon intensive, ce phénomène étant possiblement relié au stress avant abattage. Il a été constaté aussi que la force de cisaillement de la viande des chevreaux nourris de la ration à base de concentrés était inférieure à celle de la viande des chevreaux au pâturage. Le ratio AG n-6/n-3 du gras de la viande s'est révélé supérieur chez les chevreaux recevant la ration à base de concentrés en comparaison avec ceux au pâturage; ce ratio était aussi plus élevé dans la viande des chevreaux laitiers que dans celle des chevreaux de race bouchère. Le pâturage en rotation intensive a permis un gain semblable à celui obtenu avec une ration à base de concentrés, une accumulation de gras interne moins importante dans la carcasse et une viande de bonne qualité chez le chevreau en croissance. À la lumière des informations recueillies, les chevreaux de race laitière représentent une alternative intéressante afin de produire de la viande de chèvre.

Bien que cette thèse apporte des informations importantes au sujet de l'alimentation, de la croissance et de la qualité de la carcasse et de la viande de chèvre, elle met aussi en lumière, conjointement avec la revue des travaux antérieurs, des pistes intéressantes pour

l'avenir. En effet, la synthèse de PMic dans le rumen du chevreau de boucherie semble être favorisée par des sources énergétiques lentement fermentescibles couplées à des sources protéiques à dégradation rapide dans le rumen, et vice versa, c'est-à-dire des sources énergétiques rapidement fermentescibles couplées à des sources protéiques lentement dégradables dans le rumen. La littérature étant mitigée sur le sujet, il serait à propos d'étudier d'autres ingrédients afin d'explorer plus en profondeur l'application de la théorie du synchronisme énergie / protéine dans cet élevage. Aussi, bien que les rations à teneur élevée en concentrés soient utilisées présentement, des rations incorporant de plus grandes proportions de fourrages d'excellente qualité pourraient représenter une avenue envisageable afin de soutenir une production optimale de PMic dans le rumen. De plus, même si la synthèse de PMic dans le rumen soit augmentée avec certains scénarios alimentaires, il serait intéressant de voir si elle se traduit par des performances supérieures chez l'animal.

Les effets de l'alimentation sur la qualité de la viande et les profils en AG du gras de la viande se sont concrétisés dans la seconde et la dernière étude de cette thèse. Bien que des données soient disponibles à ce sujet dans la littérature, le profil en AG de la viande de chèvre s'est avéré peu étudié jusqu'à maintenant. Certains résultats rapportés ici, comme par exemple les faibles proportions en AG *trans* du gras de la viande de chevreau en comparaison avec celle de d'autres espèces et l'interaction présente entre l'alimentation et la race pour certains AG de la viande, pourraient contribuer au développement du marché de la viande de chèvre; les microorganismes qui composent le microbiote du rumen seraient particuliers de sorte que le processus de biohydrogénation ruminal des acides gras serait différent chez la chèvre. Aussi, le potentiel glycolytique supérieur mais le pHu inférieur de la viande des chevreaux alimentés au pâturage couplés à la littérature cataloguant la chèvre comme un animal stressé pourrait inspirer de nouvelles études. En effet, comme le pH influence plusieurs autres paramètres de qualité de la viande, comme sa conservation par exemple, il est essentiel de mieux comprendre la relation entre le comportement de la chèvre et la qualité de sa viande. Qui plus est, il serait primordial d'établir la relation entre le potentiel glycolytique et le pHu spécifiquement chez la chèvre de boucherie.

Les résultats de la dernière étude ont démontré le bon potentiel des races laitières pour la production de viande caprine. Dans un même ordre d'idée, il serait intéressant de déterminer si une race utilisée autant en production de viande que dans l'industrie laitière, comme par exemple la race Nubienne, puisse aussi être une avenue envisageable pour les producteurs, toujours dans l'optique de mieux répondre aux besoins du consommateur et d'améliorer la rentabilité des fermes caprines.