



UNIVERSITE ABDELMALEK ESSAADI
FACULTE DES SCIENCES et TECHNIQUES
TANGER

**Centre d'Etudes Doctorales : « Sciences et Techniques de
l'Ingénieur »**
Formation Doctorale : « Sciences et Techniques de l'Ingénieur »

THESE DE DOCTORAT

**Présentée
Pour l'obtention du**

DOCTORAT EN SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'INGENIEUR

Par : *Mohammed AYADI*

**Discipline : Biologie
Spécialité : Biotechnologie**

**Utilisation des tanins condensés de la pulpe de caroube en
alimentation des caprins du nord du Maroc: Effet sur les
performances de production et la qualité nutritionnelle
des produits**

Composition de jury :

Pr. Mustapha AKSISSOU, Faculté des Sciences - Tétouan

Pr. Mohammed BAKKALI, Faculté des Sciences et Techniques - Tanger

Pr. Mohammed DIOURI, Faculté des Sciences - Meknès

Pr. Hassan BOUZIAN, Faculté des Sciences - Tétouan

Pr. Abdelhafid KELI, Ecole Nationale d'Agriculture - Meknès

Pr. Amin LAGLAOUI, Faculté des Sciences et Techniques - Tanger

Pr. Abdelhay ARAKRAK, Faculté des Sciences et Techniques – Tanger

Président

Rapporteur

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Invité

Directeur de thèse

Structure de recherche accréditée d'accueil :

UAE/09FST : Equipe de Recherche en Biotechnologies et Génie des Biomolécules de la FST de Tanger

Financements

Ce travail de thèse a été financé par l'Institut National de la Recherche Agricole (INRA) dans le cadre du projet de recherche à moyen terme «**Amélioration de la productivité et de la durabilité des systèmes de productions caprins à production mixte et à production de viande dans le nord du Maroc** » et en grande partie par le projet FRAB (Fond de Recherche Appliquée Belge) intitulé « **Etude du potentiel de production de l'élevage caprin au Nord du Maroc et proposition de voies de développement durable – Université de Namur, Belgique**. Le projet FRAB est conduit sur trois années en collaboration avec le Laboratoire de Physiologie Animale. Ce projet qui se veut multidisciplinaire, mène des recherches à la fois fondamentales et appliquées en matière d'élevage caprin ainsi que des activités de transfert de technologie qui sont conduites en étroite collaboration avec le service de recherche et de développement, la DPA de Chefchaouen, l'ANOC et l'Association Chefchaounie des Eleveurs Caprins (ACEC).

DEDICACES

A toute ma famille

Liste des tableaux

- Tableau 1: Qualité diététique de la viande cuite des animaux d'élevage.
- Tableau 2: Composition (en ingrédient et nutritionnelle) de la ration alimentaire des lots de chèvres tests (G5 and G10) et témoin (G0) en % MS.
- Tableau 3: Composition physicochimique du lait des chèvres du lot témoin (G0) et tests G5 et G10.
- Tableau 4: Composition en acides gras (en % des acides gras totaux) du lait des chèvres du lot témoin (G0) et des lots tests G5 et G10.
- Tableau 5: Composition nutritive de la ration du concentré alimentaire des lots tests (K5, K10) et témoin (K0) en % de MS.
- Tableau 6: Effet des tanins condensés sur les performances de croissance des chevreaux du lot témoin K0 et des lots tests K5 et K10.
- Tableau 7: Effet des tanins condensés sur la caractérisation de la carcasse des chevreaux du lot témoin K0 et des lots tests K5 et K10.
- Tableau 8: Effet des tanins condensés sur les paramètres diététique et technologique de la viande des chevreaux du lot témoin K0 et des lots tests K5 et K10.
- Tableau 9: Effet des tanins condensés sur la composition en acides gras (en % des acides gras totaux) de la viande du *Longissimus dorsi* des chevreaux du lot témoin K0 et des lots tests K5 et K10.
- Tableau 10: Composition nutritive de la ration du concentré alimentaire des lots tests (20PEG , 40PEG) et témoin (0PEG) en % de MS.
- Tableau 11: Effet de l'apport de polyéthylène glycol (PEG) à un complément concentré contenant 10% MS de tanins condensés sur la composition chimique du lait de chèvre.
- Tableau 12: Effet de l'apport de polyéthylène glycol (PEG) à un complément concentré contenant 10% MS de tanins condensés sur les groupes d'acides gras du lait de chèvre.
- Tableau 13: Effet de l'apport de PEG aux chèvres recevant un complément concentré contenant 10% MS de tanins condensés sur la composition en acides gras du lait de chèvre.
- Tableau 14: Composition nutritive de la ration du concentré alimentaire des chevreaux des lots tests (10PEG, 20PEG) et témoin (0PEG) en % de MS.
- Tableau 15: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les performances de croissance des chevreaux du lot témoin 0PEG et des lots tests 10PEG et 20PEG.
- Tableau 16: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les caractéristiques de la carcasse des chevreaux du lot témoin 0PEG et des lots tests 10PEG et 20PEG.
- Tableau 17: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les paramètres diététique et technologique de la viande des chevreaux du lot témoin 0PEG et des lots tests 10PEG et 20PEG.
- Tableau 18: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les groupes d'acides gras de la viande du *Longissimus dorsi* (en % des acides gras totaux) des chevreaux du lot témoin 0PEG et des lots tests 10PEG et 20PEG.
- Tableau 19: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les acides gras de la viande du *Longissimus dorsi* (en % des acides gras totaux) des chevreaux du lot témoin 0PEG et des lots tests 10PEG et 20PEG.

Liste des figures

Figure 1: Structure des tanins hydrolysable et des acides associés.

Figure 2: Structure du tanin condensé.

Figure 3: Structure chimique de catéchine.

Figure 4: Caroube en gousse et concassée.

Figure 5: Facteurs pouvant influencer la qualité de la viande en relation avec les différentes phases de la filière viande.

Figure 6: Evolution de la production laitière par chèvre sous l'effet des PEG.

Figure 7: Effet de l'apport de polyéthylène glycol (PEG) à un complément concentré contenant 10% MS de tanins condensés sur les groupes d'acides gras du lait de chèvre (%).

Figure 8: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les groupes d'acides gras de la viande du *Longissimus dorsi* (en % des acides gras totaux) des chevreaux 0PEG, 10PEG et 20PEG (n=7).

Remerciements

Nous ne saurons commencer ce rapport sans remercier ALLAH le tout puissant, le tout miséricordieux qui nous a donné grâce et bénédiction pour mener à terme ce travail.

Je tiens à remercier tout particulièrement Le Docteur Rachid MRABET, Le Chef de la Division Scientifique à l'Institut National de la Recherche Agronomique qui m'a facilité l'engagement à mener cette thèse.

J'adresse ma vive gratitude au Professeur Mohammed BADRAOUI, Directeur de l'Institut National de la Recherche Agronomique qui m'a autorisé à réaliser cette thèse et pour son soutien à la formation du personnel de l'INRA.

Mes remerciements sont adressés également à Mon promoteur Abdelhay ARAKRAK, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Tanger qui a bien voulu diriger mon travail par sa grande expérience. Je le remercie infiniment aussi pour sa patience, ses conseils précieux, ses remarques pertinentes et constructives. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et admiration pour l'exemplarité dont elle fait preuve.

Je tiens à remercier Mohammed BAKKALI et Amin LAGLAOUI, Professeurs au Département des Sciences de la vie à la Faculté des Sciences et Techniques de Tanger, pour le soutien et le temps qui m'ont consacré pour m'apporter leurs conseils précieux.

Mes remerciements sont adressés également à Mes Copromoteurs, le Docteur Abdelouahid CHRIYAA, et le Docteur Mouad CHENTOUF qui m'ont supporté pour réaliser ce travail et pour leur rigueur scientifique et conseils précieux.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous les membres du Jury, qui m'ont honoré en acceptant d'examiner ma thèse.

Que tous ceux qui ont eu patience de satisfaire ma curiosité et de m'aider dans mon travail par les précieux conseils, réponses et recommandations dont ils m'ont fait part, trouvent ici l'expression de mes plus sincères remerciements.

LISTE DES ABREVIATIONS

°C	: Degré Celsius
°D	: Degré Dornic
a*	: Indice du rouge
ALA	: Acide α -linoléique
b*	: Indice du jaune
CLA	: Acide linoléique conjugué
DFA	: Acide gras désirable
DM	: Dry matter
FDA	: Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux
FID	: Détecteur à ionisation de flamme
GLM	: Modèle linéaire généralisé
GMQ	: Gain moyen quotidien
L*	: Indice de luminosité
LCFA	: Acide gras à chaîne longue
LD	: <i>Longissimus dorsal</i> ,
LDL	: Low-density lipoprotein (le mauvais cholestérol)
LSD	: Last square deviation
MAT	: matière azotée totale
MCFA	: Acide gras à chaîne moyenne
MS	: Matière sèche
MUFA	: Acide gras mono-insaturé
PDI	: protéine digestible dans l'intestin
PEG	: Polyéthylène glycol
PUFA	: Acide gras poly-insaturé
SCFA	: Acide gras à chaîne courte
SEM	: standard erreur de la moyenne
SFA	: Acide gras saturé
SFA	: Acide gras saturé
SM	: Muscle Semimembraneux
TC	: Tanins condensés
UF	: Unité fourragère
UFA	: Acide gras insaturé
UFA	: Acide gras insaturé
UFL	: Unité fourragère lait
UFV	: Unité fourragère viande
USDA	: Département de l'Agriculture des Etats Unies
ω 3	: Acide gras ω 3
ω 6	: Acide gras ω 6

RESUME

Ce travail consiste à étudier l'effet des tanins condensés (TC) sur les performances zootechniques et les paramètres qualitatives des produits de l'élevage caprin (*Capra hircus*) du nord du Maroc et par la suite tester la possibilité d'améliorer ces performances et ces paramètres en cas d'ingestion par l'animal d'une quantité élevée de TC et ceci via l'utilisation du polyéthylène glycol (PEG). Pour ce faire, cette étude a été réalisée en deux étapes.

La première étape a consisté à étudier l'effet des TC de la pulpe de caroube sur la production et la qualité des produits caprins (lait, viande et carcasse). Trois rations de concentré contenant 0%, 5% et 10% de TC ont été distribuées respectivement à 3 groupes de chèvres en période de lactation (G0, G5 et G10) et à trois groupes de chevreaux (K0, K5 et K10) en croissance. Le résultat a montré que les taux élevés d'incorporation de TC (G10, K10) améliorent la qualité du lait (teneur en matière grasse +18%, protéine +16% et composition en acides gras insaturé : +25% d' ω 3, +60% de linoléique et -2,2% de SFA) et de la viande (acide linoléique +16,7%, acides gras ω 3 +115%, acides gras polyinsaturés +97%). Mais parallèlement, ces taux diminuent la production du lait (-18%) et de la viande (GMQ, poids et rendement de la carcasse).

La deuxième étape a abordé l'étude de l'effet de l'administration du PEG 4000 PM aux caprins recevant une ration à teneur élevée en TC (10% de MS de l'aliment concentré), sur la production et la qualité du lait, viande et carcasse. Pour cela, trois doses de solution de PEG 75/100- p/v (0, 20 et 40 g/jour/chèvre) ont été administrées par voie buccale respectivement à 3 lots de chèvres en lactation (0PEG, 20PEG et 40PEG) et trois autres doses contenant 0, 10 et 20 g/jour/chevreaux ont été administrées respectivement à 3 lots de chevreaux (0PEG, 10PEG et 20PEG) à partir de 3 à 6 mois d'âge.

L'administration de la dose 20PEG améliore la production en lait de +31,5%. La composition du lait en acides gras désirables, ω 3, acides gras insaturés et mono-insaturés a connu une amélioration avec le traitement 20PEG (respectivement une augmentation de +20%, +17%, +73% et +110%) et une diminution de la teneur en acides gras saturés indésirables (-20%). Cependant, la dose 40PEG a fait baisser la production laitière de -4%.

Les niveaux de doses de PEG utilisées sur les chevreaux se montrent inefficaces pour améliorer significativement à la fois les performances de croissance et la qualité de la viande. En effet, on note une absence de l'amélioration significative des performances de croissance des chevreaux suite à l'ajout de PEG. Concernant, la composition en acides gras, l'apport de 10 et 20 g de PEG aux chevreaux a provoqué une diminution remarquable en ω 3 (-49,6% et -5,7%), acides gras désirables (-10,6% et -9,9%), acides gras insaturés (-18,0% et -13,9%), acides gras mono-insaturés (-19,6% et -34,4%) et acides gras poly-insaturés (-19,2% et -3,4%) et à chaîne longue (-7,7% et -8,3%).

L'ingestion de TC en quantité élevée (supérieure à 10%MS) par les caprins favorise une production en lait, viande et carcasse de qualité appréciée. Dans ces conditions, les performances de production en terme quantitative sont diminuées. Afin d'obtenir une production laitière satisfaisante avec une qualité diététique acceptable, des taux d'ingestion modérés de TC sont à respecter (10%MS) avec un apport journalier de 20 g de PEG. Dans le cas de l'élevage des chevreaux, afin de préserver la bonne qualité nutritive de la viande obtenue avec l'ingestion des taux d'incorporation élevés de TC dans la ration, d'autres traitements (par NH_4^+ ou CaOH) doivent être entreprises pour amortir l'effet régressant des TC sur les performances de croissance.

Mots clés: caprin, caroube, tanins condensés, PEG, qualité, production laitière, croissance.

Effect of condensed tannins on the production and quality of goat products and opportunity for improvement

Abstract

This work is a study of the effect of condensed tannins (CT) by using carob on growth performances and products qualitative parameters of the goats and testing the ability to improve these performances and parameters in the case of a high amount of CT ingestion by goat by using polyethylene glycol (PEG). To do this, this study was conducted in two stages.

The first stage has studied the effect of CT on goats and kids production performances and quality of milk, meat and carcass. Three diets with 0%, 5% and 10% of CT were respectively distributed to three groups of lactating goats (G0, G5 and G10) and three groups of kids (K0, K5 and K10). The result showed that high levels of CT incorporation (G10, K10) better improve milk quality (fat content, protein composition and unsaturated fatty acids) and meat (linoleic acid, ω 3, polyunsaturated fatty acids). But alongside, these rates depress production of milk (-15%) and meat (ADG, weight and carcass yield).

The second stage has studied the effect of PEG 4000 PM goats fed a diet with high content of TC (10% DM of concentrate diet) on production and quality of milk, meat and carcass of goat and kids. For this, three doses of PEG solution 75/100 - w/v (0; 20 and 40 g/day/goat) were respectively administered orally to 3 groups of lactating goats (0PEG, 20PEG, 40PEG) and three doses containing 0, 10 and 20 g/day/kid were respectively administered to 3 groups of kids (0PEG, 10PEG, 20PEG) between 3-6 months of age.

The dose of 20PEG improves milk production (+31.5%). Desirable fatty acids composition of milk, ω 3 fatty acids, unsaturated and monounsaturated fatty acids have improved with treatment 20PEG (+ 20%, + 17%, + 73%, and + 110% respectively) and decreased the content of undesirable saturated fatty acids (-20%). However, 40PEG dose has lowered milk production by 4%.

The dose levels used in PEG kids proved to be insufficient to significantly improve growth performances and meat quality. In fact, there is no significant improvement in growth performances of goats after addition of PEG. About fatty acid composition, the intake of 10 to 20 g of PEG to the goats induced intense inhibition of CT protective action against bio-hydrogenation of beneficial fatty acids, which caused a dramatic decrease in ω 3 (-49.6% and -5.7%), desirable (-10.6% and -9.9%), unsaturated (-18.0% and -13.9%), monounsaturated (-19.6% and -34.4%) and polyunsaturated (-19.2% and -3.4%) and long-chain (-7.7% and -8.3%) fatty acids.

Ingestion of CT with high quantities by goats (superior to 10% DM) promotes an appreciated quality of milk, meat and carcass. In this case, quantitative performances are depressed. In order to obtain a satisfactory milk production with acceptable quality, moderated CT rates of ingestion must be provide (10% DM) with a daily intake of 20 g of PEG. In the case of rearing kids, to preserve the good nutritional quality of meat which is obtained with high ingestion of CT, other techniques must be taken to minimize the depressing effect of CT on growth performance.

Keywords: goat, carob, condensed tannins, PEG, quality, milk production, growth.

تأثير مادة تانين المكثف على إنتاج وجودة منتجات الماعز و إمكانية تحسينهما

ملخص

هذا العمل هو دراسة تأثير التانين المكثف (TC) على نمو وجودة منتجات ماعز الشمال ومن ثم اختبار و إمكانية تحسينهما في حالة استهلاك كمية عالية من TC من قبل الماعز وذلك باستخدام البولي ايثيلين جلايكول (PEG). وللقيام بذلك، أجريت هذه الدراسة على مرحلتين.

في مرحلة أولى تمت دراسة تأثير TC في الخروب على إنتاج وجودة حليب الماعز ولحومها. تم توزيع ثلاث حصص مركزة تحتوي على 0% و 5% و 10% من TC على ثلاث مجموعات من الماعز الحلوب على التوالي (G0، G5 و G10) وثلاث مجموعات من صغار الماعز (K0، K5 و K10). أظهرت النتائج أن المستويات العالية من TC (G10، K10) تحسن جودة الحليب (محتوى الدهون، البروتين والأحماض الدهنية غير المشبعة) واللحم (حمض اللينوليك والأحماض الدهنية $\omega 3$ ، الأحماض الدهنية الغير المشبعة المتعددة). غير أن هذه أن المستويات العالية تقلص من إنتاج الحليب (15%-) واللحوم (زيادة الوزن اليومية، الوزن ومرد ودية الذبيحة).

في المرحلة الثانية تمت دراسة فعالية استعمال PEG 4000 على الماعز في حالة تناولها غذاء يحتوي على كمية عالية من TC (10%) على إنتاج وجودة الحليب واللحم. لهذا، تم تقديم ثلاث جرعات من محلول PEG 75/100 - حجم/وزن (0 و 20 و 40 غ/اليوم/للرأس) على التوالي إلى 3 مجموعات من الماعز الحلوب (OPEG، 20PEG، 40PEG)؛ وأيضا تقديم ثلاث جرعات تحتوي على 0 و 10 و 20 غ/اليوم/للرأس على التوالي على 3 مجموعات من صغار الماعز دو 3 إلى 6 أشهر من العمر (OPEG و 10PEG و 20PEG).

بينت النتائج على أن تقديم 20PEG يعزز تفعيل الأنزيمات الهاضمة، وبالتالي يحسن من إنتاج الحليب ب 31.5%. كما أن تركيبة الحليب من الأحماض الدهنية المرغوب فيها، والغير المشبعة و الغير المشبعة الأحادية و $\omega 3$ قد تحسنت مع جرعة 20PEG (20%، +17% و +73% و +110%) وانخفض محتوى الأحماض الدهنية المشبعة الغير مرغوب فيها ب 20% غير أن جرعة 40PEG خفضت إنتاج الحليب بنسبة 4%.

كما أظهرت النتائج أن مستويات جرعات PEG المستعملة على صغار الماعز غير فعالة في تحسين أداء النمو وجودة اللحوم. هناك نمو غير إحصائي لصغار الماعز ونقص في جودة اللحم بعد إضافة PEG. أما فيما يخص تركيبة الأحماض الدهنية، فان تناول 10 إلى 20 غ من PEG أدى إلى تثبيط مكثف للعملية الوقائية للتانين ضد الهدرجة الحيوية للأحماض الدهنية المفيدة، حيث أدت هذه الجرعتان على التوالي إلى انخفاض هائل في $\omega 3$ (-49.6% (و -5.7%)، والأحماض الدهنية المرغوب فيها (-10.6% و -9.9%)، والغير المشبعة (-18.0% و -13.9%)، و الغير المشبعة الأحادية (-19.6% و -34.4%) والغير المشبعة المتعددة (-19.2% و -3.4%) وذات السلسلة الطويلة (-7.7% و -8.3%).

تناول TC بنسبة تعادل أو تفوق من 10% م.ي يعزز إنتاج الحليب واللحم و الذبيحة بجودة مقبولة. في هذه الحالة، يضل الإنتاج الكمي في تناقص. من أجل الحصول على إنتاج مرضي و جودة مميزة للحليب، نؤكد على استهلاك نسبة معتدلة من TC (10% م.ي) مع تناول يومي ل 20 غرام من PEG. في حالة صغار الماعز، لأجل الحفاظ على جودة اللحم التي تم الحصول عليها مع تناول نسبة عالية من TC، يجب اختبار تقنيات أخرى للتخفيف من التأثير المقلص ل TC على أداء النمو.

كلمات البحث: الماعز، الخروب، التانين المكثف، PEG، الجودة، النمو، إنتاج الحليب.

TABLE DES MATIERES

FINANCEMENTS.....	I
LISTE DES TABLEAUX	III
LISTES DES FIGURES.....	IV
REMERCIEMENTS	V
LISTE DES ABREVIATIONS	VI
RESUME	VII
ABSTRACT	VIII
ملخص	IX
INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE 1: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1. INTRODUCTION	3
2. IDENTIFICATIONS DES TANINS	3
2.1. <i>Tanins hydrolysables</i>	4
2.2. <i>Tanins condensés</i>	4
3. PROPRIETES DES TANINS.....	5
3.1. <i>Propriétés biologiques des tanins</i>	5
3.2. <i>Propriétés physicochimiques des tanins</i>	6
4. LES TANINS DANS LA NUTRITION ANIMALE.....	6
4.1. <i>Effets toxiques et antinutritionnels</i>	7
4.2. <i>Effets des tanins sur l'ingestion et l'appétit de l'animal</i>	7
4.3. <i>Effets sur la digestibilité</i>	7
4.4. <i>Toxicité au microbiote ruminal</i>	8
5. LES RESSOURCES ALIMENTAIRES A TANINS : CAS DE LA CAROUBE.....	8
5.1. <i>Présentation de la caroube</i>	8
5.2. <i>Composition nutritive de la caroube</i>	8
6. CARACTERISTIQUES QUALITATIVES DU LAIT DE CHEVRE.....	9
7. CONSOMMATION DES ALIMENTS RICHES EN TANINS CHEZ LES CAPRINS.....	13
7.1. <i>Variabilité du rendement laitier</i>	13
7.2. <i>Effet sur la qualité du lait</i>	14
8. PARTICULARITE DE LA VIANDE CAPRINE.....	16
9. PARAMETRES DE LA QUALITE DE LA VIANDE	16
9.1. <i>Qualité diététique</i>	17
9.2. <i>Qualité technologique</i>	17
9.3. <i>Qualité organoleptique</i>	17
9.4. <i>Qualité hygiénique</i>	19
10. FACTEURS INFLUENÇANT LA QUALITE DE LA VIANDE	19
10.1. <i>Facteurs liés à l'animal</i>	19
10.2. <i>Facteurs environnementaux</i>	20
11. EFFETS DES TANINS SUR LA PRODUCTION DE VIANDE ET SA QUALITE	22
12. LE POLYETHYLENE GLYCOL ET SON EFFET SUR LE LAIT ET LA VIANDE	24
PARTIE 2: RECHERCHE EXPERIMENTALE	27
CHAPITRE 1: EFFET DES TANINS CONDENSÉS SUR LA PRODUCTION ET LA QUALITE DU LAIT DE CHEVRE.....	27
1. CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	27

2. MATERIEL ET METHODES.....	28
3. RESULTATS.....	30
4. DISCUSSION.....	32
5. CONCLUSION.....	39
CHAPITRE 2: EFFET DES TANINS CONDENSÉS SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALITÉ DE LA VIANDE DE CHEVREAUX.....	41
1. CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	41
2. MATERIEL ET METHODES.....	41
3. RESULTATS.....	44
4. DISCUSSION.....	48
5. CONCLUSION.....	50
CHAPITRE 3: EFFET DE POLYETHELENE GLYCOL SUR LA PRODUCTION ET LA QUALITE DU LAIT DE CHEVRE.....	51
1. CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	51
2. MATERIEL ET METHODES.....	51
3. RESULTATS.....	53
4. DISCUSSION.....	60
5. CONCLUSION.....	63
CHAPITRE 4: EFFET DE POLYETHELENE GLYCOL SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALITE DE LA VIANDE DE CHEVREAUX.....	65
1. CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	65
2. MATERIEL ET METHODES.....	65
3. RESULTATS.....	67
4. DISCUSSION.....	73
5. CONCLUSION.....	75
CONCLUSION GENERALE.....	76
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	82

INTRODUCTION GENERALE

La nature des aliments ingérés par les ruminants est l'un des principaux facteurs de variation des performances de production laitière et de croissance, et aussi des caractéristiques qualitatives des produits laitiers et carnés. Dans le nord du Maroc, vu l'environnement écologique dominé par les parcours forestiers favorables à l'élevage caprin, l'alimentation de cet élevage est habituellement basée sur des espèces fourragères pastorales contenant différentes concentrations en éléments phénoliques tels que les tanins qui influencent largement ses performances de production et la qualité nutritionnelle de ses produits.

Les tanins sont des composés phénoliques complexes qui se retrouvent dans presque toutes les plantes et leurs parties (Guignard, 2000). Ces substances sont des facteurs antinutritionnels qui peuvent se lier facilement à de nombreuses molécules, en particulier les protéines, formant un complexe résistant contre les attaques enzymatiques (Silanikove et al., 1996; Ben Salem et al., 1997; Makkar, 2003). Les tanins sont également capables de se lier et d'inhiber plusieurs enzymes telles que l' α -amylase (Kandra et al., 2004), α -glucosidase (Mc Dougall et al., 2005), les protéases (Kocisko, 2004), la trypsine et les hémagglutinines (Gilani et al., 2005; De Mejia 2005). Ingéré en faible quantité, l'appétabilité de l'aliment et sa digestibilité se retrouvent par conséquent souvent à la baisse suite à la l'inhibition de l'activité digestive microbienne dans le rumen (Silanikove et al., 1996; Ben Salem et al., 1997; Makkar, 2003; Dawson et al., 1999).

Au contraire, les tanins peuvent être en même temps bénéfiques pour les ruminants car ils empêchent la forte intensité de dégradation des protéines et augmentent en conséquence la teneur des acides aminés dans le duodénum (Harris et al., 1998; Wang et al., 1996b; Woodward et al., 1999; Barry and Mc Nabb, 1999). Ces substances peuvent améliorer le profil des acides gras, qui se traduit par une augmentation des acides gras insaturés et une diminution des acides gras saturés et en conséquence aura une répercussion positive sur la santé humaine (Chiofalo et al., 2004b). Les tanins présentent aussi des intérêts tels la diminution du risque de météorisation chez les ruminants et l'augmentation de la concentration des lipides du lait (Hadjipanayiotou, 1999).

Les polyéthylènes glycols (PEG) sont des produits pharmaceutiques utilisés comme laxatifs osmotiques en cas de constipation. Ils sont considérés par l'Agence Américaine des produits alimentaires et médicamenteux (FDA) comme un produit sûr. Les PEG ont la spécificité d'inhiber l'action anti-digestive des tanins condensés et par conséquent d'activer la fonction microbienne dans le rumen (Kumar et al., 1990).

La pulpe de caroube, aliment riche en tanin, est appréciée par les éleveurs pour l'engraissement des animaux de boucherie et aussi pour les chèvres laitières. Elle a été utilisée dans ce travail comme source de tanins dans les rations alimentaires des caprins expérimentaux.

Plusieurs arbustes fourragers pastoraux et ressources alimentaires du marché utilisées en élevage caprin contiennent des teneurs variables en tanins condensés. Les effets de l'utilisation des tanins alimentaires ont été largement étudiés chez les bovins (Marten et al. 1987 ; Mangan et al., 1976) et les ovins (wang et al., 1996a, b,c; McNabb et al., 1993; waghorm et al., 1994a,b). Toutefois, peu d'informations sont disponibles sur les effets de la forme condensée de tanin sur les performances de production et la qualité des produits caprins qui est devenue actuellement une exigence par le consommateur. La connaissance de la composition optimale des tanins dans le régime alimentaire des caprins est fondamentale pour rationaliser l'utilisation des sous-produits à tanins dans l'alimentation de cette espèce, spécialement ses effets possibles sur la qualité du lait et de la viande, et ses implications dans la nutrition et la santé humaine. Ces informations constitueront une base de données qui permettra d'envisager comment entreprendre les voies possibles pouvant atténuer les effets controversés des tanins sur la production et la qualité des produits caprins qui font défaut au niveau de la littérature.

Le présent travail vise à étudier l'effet de l'incorporation des tanins condensés de la pulpe de caroube, sans et avec polyéthylène glycol comme inhibiteur de tanins condensés, dans la ration alimentaire des caprins (*Capra hircus*) sur la variation de la production et la qualité du lait et de la viande caprine, en utilisant la pulpe de caroube en tant que source de tanins condensés.

Ces informations sont fondamentales pour la communauté scientifique pour proposer une amélioration de l'efficacité de l'utilisation digestive d'une ration alimentaire de concentré riche en tanins condensés par les ruminants.

PARTIE 1: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Introduction

Les tanins sont des métabolites secondaires des plantes phénoliques, que l'en trouve en fréquemment en dominance dans les légumineuses fourragères et pastorales. Chez les ruminants nourris avec des aliments de fourrage frais de haute qualité (25-35 g d'azote (N)/kg de matière sèche (MS)), la plupart des protéines sont rapidement solubilisés et libèrent entre 56 et 65% de la concentration d'azote dans le rumen lors de la rumination; par conséquent, des larges pertes d'azote se produisent (25 à 35%) sous forme d'ammoniac absorbé par le rumen et rejeté dans les urines (Min et al., 2000). Plusieurs travaux de recherche ont rapporté que l'utilisation efficace de l'azote par les ruminants peut être produite à travers l'amélioration de la rétention d'azote suite à l'utilisation des composés naturels d'origine végétale ou animale connues par leur capacité de réduire la protéolyse tels que les tanins condensés (TC). Toutefois, l'incorporation de ce composé phénolique dans l'alimentation animale avec des doses variables mérite une connaissance approfondie de ses effets qui peuvent affecter les performances de production en lait et en viande et aussi leur qualité nutritionnelle.

2. Identifications des tanins

Le mot tanin fait référence à un large groupe de composés (poly) phénoliques naturellement produits par les plantes. Ces composés, solubles dans l'eau, se caractérisent par leur faculté à se combiner aux protéines et à d'autres polymères organiques tels que des glucides, des acides nucléiques, des stéroïdes, des alcaloïdes ou des ions métalliques, formant ainsi des complexes stables et résistant aux attaques enzymatiques (Mueller-Harvey et Mc Allan, 1992; Bravo, 1998). Cette propriété confère à l'aliment des caractères astringents et diminue ainsi fortement son appétence. Ce sont des molécules assez volumineuses avec un poids moléculaire généralement compris entre 500 et 3000 PM.

Les tanins sont des substances naturelles phénoliques présentant de nombreux groupements hydroxyles et phénoliques qui leur confèrent la propriété de se lier avec de nombreuses macromolécules et de les précipiter. Ce sont des métabolites secondaires des plantes supérieures que l'on trouve dans pratiquement toutes les parties des végétaux (écorces, racines, feuilles, fruits etc.) où ils jouent le rôle d'armes chimiques défensives

contre certains parasites. Sur le plan chimique, ils sont constitués soit de polyol (glucose le plus souvent), de catéchine ou de triterpénoïde auxquels sont attachés des unités gallyoles (ou leurs dérivés) soit des oligomères ou des polymères de flavanols.

En 1920 Freudenberg (cité par Griffiths, 1991) répartit les tanins en deux classes : les tanins condensés et les tanins hydrolysables.

2.1. Tanins hydrolysables

Ils sont formés d'un noyau central de glucose sur lequel se fixent des acides par une liaison ester. Ce sont donc des esters de sucre simple qui par hydrolyse libèrent de l'acide gallique ou de l'acide éllagique, ce qui divise cette classe de tanin en deux sous classe (figure 1): tanin gallique et tanin éllagique (Salunkhe, 1990). Présents uniquement que chez les dicotylédones, les tanins hydrolysables peuvent être hydrolysés dans le rumen et partiellement absorbés à travers la paroi intestinale sous forme de phénols de faible masse molaire (Bernays et al., 1989).

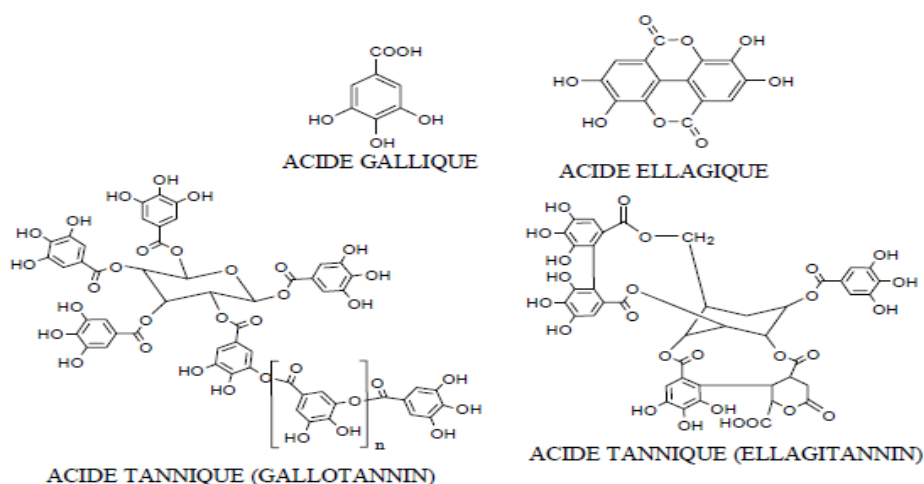


Figure 1 : Structure des tanins hydrolysable et des acides associés (Salunkhe, 1990)

2.2. Tanins condensés

Les tanins non-hydrolysables ou condensés (proanthocyanidine et phlorotanins) sont des polymères de flavanes-3-ol ou d'anthocyanidols (flavonoïdes) (figure 2). C'est le type le plus commun des tanins présents dans les légumineuses fourragères, des arbustes et des feuilles d'arbres (Min et al., 2003). Ils ne s'hydrolysent pas sous l'action des acides et donnent à l'ébullition des composés insolubles appelés phlobaphènes ou rouge de tanin.

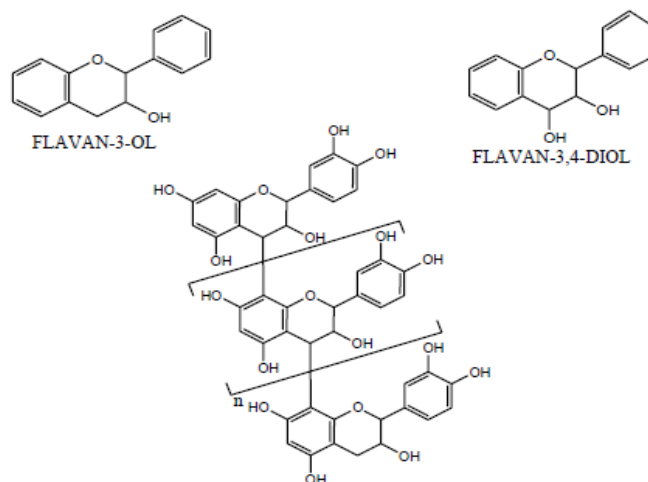


Figure 2 : Structure du tanin condensé (Khanbabaee et Van Ree, 2002)

Khanbabaee et Van Ree (2002) ont réparti les tanins en quatre classes : les gallotanins, les éllagitanins, les tanins complexes qui sont construits par une unité gallotanin ou éllagitanin comportant une liaison à une catéchine (figure 3) et en fin les tanins condensés.

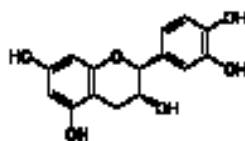


Figure 3 : Structure chimique de catéchine

3. Propriétés des tanins

3.1. Propriétés biologiques des tanins

Les tanins étaient anciennement utilisés dans l'industrie du cuir (tannage) car en se liant aux protéines constitutives des peaux d'animaux, les tanins rendent le cuir solide, imputrescible et résistant aux microorganismes. Ils sont généralement non cristallisables, solubles dans l'eau, l'alcool, l'acétone et peu ou pas soluble dans l'éther. Ils précipitent en présence de protéines (gélatine et albumine), d'alcaloïdes et de certains colorants.

Les tanins forment avec les métaux lourds, et notamment les sels de fer, des précipités de couleur très foncée : noirs, bruns, bleus sombres, utilisés pour cette raison dans la fabrication de certaines encres. Ils sont également utilisés comme coagulants dans le caoutchouc.

Les propriétés biologiques des tanins sont principalement liées à leur capacité à former des complexes avec les macromolécules, en particulier les protéines. C'est pourquoi ils sont

utilisés dans le traitement des aliments et la clarification des jus de fruits. Ils font également partie des formulations des agents de conservation du bois. En solutions alcooliques, ils donnent avec le chlorure ferrique, très dilué, une coloration bleue (tanins galliques) ou verte (tanins catéchiques). Certains tanins, comme ceux de la noix de galle, sont hydrolysables par les acides ou par la tannase (Chung et Wei, 1998).

L'une des conséquences directes de la capacité des tanins à complexer les protéines est l'inactivation des enzymes soit directement ou indirectement, par fixation aux sites actifs ou par encombrement stérique par la fixation de la molécule de tanin sur l'enzyme (Zimmer et Cordesse, 1996). Les tanins sont capables de piéger les radicaux libres par l'inactivation des ions pro-oxydants (Bruneton, 1999 ; Lim et al., 2007). Certains drogues à tanins présentaient des effets antimicrobiens (Chung et al., 1998; Hatano, et al., 2005; Song et al., 2006). Aussi, le tanin du jus de raisin et du vin a un effet préventif sur des maladies cardiovasculaire (Bruneton, 1999).

3.2. Propriétés physicochimiques des tanins

Les tanins se dissolvent dans l'eau sous forme de solution colloïdale. Ils sont aussi solubles dans les alcools et l'acétone. Les tanins se fixent à la quasi-totalité des protéines formant ainsi des complexes insolubles à pH physiologique de 7,4 (Zimmer et Cordesse, 1996). En plus de former des liaisons directes avec des protéines, les tanins établissent des 'ponts' entre les protéines, ce qui entraîne leur précipitation (Zimmer et Cordesse, 1996; Bruneton, 1999). Les tanins peuvent également former des complexes avec les acides nucléiques (Mueller-Harvey et Mc Allan, 1992). Labieniec et Gabryelak (2006) ont montré que les dérivés de l'acide tannique interagissaient avec l'ADN induisant des modifications conformationnelles. Les tanins ont la propriété de chélater les ions ferriques et cuivriques. Ainsi, l'acide tannique chélate les ions ferriques par ces groupements gallates ce qui limite l'absorption intestinale du fer non-hémique (Hagerman, 2011).

4. Les tanins dans la nutrition animale

Les plantes contiennent des taux variés de composés phénoliques (tanins) qui jouent un rôle très important sur le plan organoleptique et nutritionnel. Leurs effets sur les animaux, qui les consomment, varient de bénéfiques à toxiques et ils peuvent même être létaux (Makkar,

2003). Ces effets dépendent du type et du taux de tanins, qui tous les deux varient à travers les différentes espèces végétales.

4.1. Effets toxiques et antinutritionnels

Les effets antinutritionnels et/ou toxiques des tanins sont surtout associés à leur grande affinité à se combiner aux protéines endogènes et exogènes (protéines du tractus digestifs et diététiques), aux polymères (cellulose, hémicelluloses et pectine) et aux éléments minéraux, ralentissant ainsi leur digestion. Les associations protéine-tanin influent sur divers facteurs, tels que le goût et la valeur nutritive des aliments. En inhibant certaines enzymes, les tanins peuvent avoir des conséquences de destruction nutritionnelle envers les herbivores qui les ingèrent

4.2. Effets des tanins sur l'ingestion et l'appétit de l'animal

L'action des tanins sur l'ingestion des aliments se produit au niveau de la cavité buccale car les premières interactions entre les tanins et les protéines se déclenchent à ce niveau. En effet, la mastication entraîne la rupture des cellules des tissus de la plante et expose les protéines et le reste des constituants cellulaires à l'action des tanins. Il en résulte un phénomène d'astringence provenant de la formation de complexes entre les tanins et les glycoprotéines salivaires. Ces effets se manifestent du point de vue sensoriel par une sécheresse de la bouche due à la contraction des canaux salivaires (Mitjavila et al., 1997). Le goût amer, qui en découle, réduit d'une façon considérable la sapidité de l'animal qui se répercute directement sur l'ingestion.

4.3. Effets sur la digestibilité

Les tanins (proanthocyanidines) ne sont pas généralement absorbés à travers le tractus digestif des ruminants, ils restent sous forme libre ou liée dans le rumen et diminuent la digestibilité de la matière organique, en particulier celle des protéines et des parois végétales (McSweeney et al., 2001). Au niveau du tractus digestif, ces composés polyphénoliques peuvent réduire le processus d'activation des enzymes et inhiber l'activité des principales enzymes, surtout les protéases digestives en créant des complexes avec les mêmes enzymes (Villalba et al., 2002).

4.4. Toxicité au microbiote ruminal

Les polyphénols, en particulier les tanins condensés, exercent une action inhibitrice sur la croissance des microorganismes du rumen. Contrairement aux tanins hydrolysables, les tanins condensés sont très difficiles à dégrader dans les conditions anaérobies qui règnent dans cet écosystème.

5. Les ressources alimentaires à tanins : cas de la caroube

5.1. Présentation de la caroube

La gousse de caroube est le fruit de caroubier (*Ceratonia siliqua*) qui pousse dans toute la région méditerranéenne (figure 4). Il est cultivé depuis l'antiquité dans la région méditerranéenne plus précisément en Afrique du Nord. Préférant les sols calcaires, le Maroc est considéré le deuxième producteur mondial. Les graines sont utilisées généralement comme substituant du cacao. Le broiement des graines, donnent la gomme utilisée dans l'alimentation comme additif (code E410), la confiserie, la cosmétique et l'industrie pharmaceutique. La pulpe peut être utilisée dans l'alimentation animale, la production de chocolat ou la préparation d'alcools. La feuille de caroubier est appréciée par le cheptel. L'écorce et les racines renferment des tanins utilisés dans le traitement des entérites animales et la conservation de certains produits périssables.



Figure 4 : Caroube en gousse et concassée

5.2. Composition nutritive de la caroube

La caroube est un excellent aliment énergétique pour le bétail. En fait, la pulpe de la caroube est très riche en sucres hydrosolubles (46,6 à 55,2% MS) mais pauvre en lipides (0,4 à 0,6% MS), protéines (4,2 à 6% MS) (Avallone et al., 1997; Chung et Wei, 1998). Par ailleurs, la pulpe présente également une teneur très élevée en fibres (27 à 50%); et elle est riche en tanins condensés (19,8% MS, Ayadi et al., 2010). Sa valeur énergétique varie de 0,6 à 0,99 UF/ kg MS (Avallone et al., 1997). Quant à son contenu en vitamines et en minéraux, elle est

beaucoup moins riche en phosphore, en potassium et en fer, mais elle est deux fois plus riche en calcium. Les polyphénols de la caroube ont une masse moléculaire très élevée rarement rencontrée chez d'autres plantes (Batlle and Tous, 1997). Grâce à son effet bénéfique contre certaines maladies de bétail, la caroube permet en effet, de diminuer les diarrhées, fluidifier le sang, diminue les tumeurs, et améliore la qualité des viandes par ses effets anti-oxydants.

Le taux d'incorporation de la pulpe de caroube peut aller jusqu'à 30% de la ration. L'incorporation de la pulpe de caroube en substitution à l'orge à raison de 20% de la ration totale engendre une amélioration significative du niveau d'ingestion de la ration et des gains de poids des agneaux. Cependant, cet effet positif ne se maintient pas à des taux d'incorporation plus élevés (Chung et Wei, 1998).

6. Caractéristiques qualitatives du lait de chèvre

La composition du lait varie sensiblement avec plusieurs facteurs, notamment la qualité des matières premières composant la ration (Bocquier et Caja 2001; Atti et Rouissi 2003; Rouissi et al. 2008). Sur le plan physico-chimique, le lait se définit comme une émulsion de matières grasses sous forme de globules de gras, constitué des éléments comme les minéraux, lactose, protéines du lactosérum, etc.; qui peuvent être soit à l'état dissous dans le sérum, soit à l'état colloïdal lorsqu'ils sont associés aux micelles de caséines.

6.1. Acides gras du lait

Les acides gras sont des acides carboxyliques à chaîne aliphatique (linéaire), hydrophobe saturés ou insaturés, selon l'absence ou la présence de doubles liaisons. Le profil des acides gras du lait peut être modifié par le biais de l'alimentation (Gulati et al., 2000, Schmidely et al., 2001, Coulon et al., 2005). La composition en acide gras influence notamment les propriétés technologiques de la matière grasse par leur point de fusion qui résulte d'une combinaison de facteurs impliquant la longueur des acides gras, leur degré de saturation, et leur isométrie géométrique (liaisons cis ou trans). Elle influence aussi les propriétés organoleptiques des produits laitiers par les variations des proportions d'acides gras courts et par l'oxydation des différents acides gras (Parodi 1999, Spector 1999).

Les différents acides gras sont regroupés en grandes familles et sont dénommés et classés selon leur nombre de carbone et leur degré de saturation. Il y a des acides gras saturés,

mono et polyinsaturés, acides gras oméga-6, acides gras oméga-3. Selon la longueur de la chaîne carbonée, ils sont classés en acides gras à chaîne courte (inférieure à 6 carbones), acides gras à chaîne moyenne (C6 à C12) et acides gras à chaîne longue (C13 à C24).

Le lait de chèvre est riche en acides gras à chaîne courte et moyenne (C4-C10), surtout en C10:0 ainsi qu'en acide stéarique, mais ses teneurs en C4:0 et parfois en C16:0 sont faibles, la teneur en acide gras à longue, moyenne et courte chaîne du lait frais de chèvre sont respectivement 13,80% ; 43,44% et 44% (Chilliard et al., 2003a). De même Rondia et al. (2010) présentent respectivement des valeurs de 19%, 37% et 43%.

D'un point de vue biochimique, chez le ruminant, il existe deux grands groupes d'acides gras, d'une part les acides gras volatils, issus du métabolisme ruminal des hydrates de carbone alimentaires et d'autre part, les acides gras issus du métabolisme ruminal des lipides. Cette deuxième catégorie comprend les acides gras synthétisés de nouveau par les microorganismes du rumen, mais aussi les acides gras issus de l'hydrolyse des triacylglycérols alimentaires, dont la plupart subissent dans le rumen une biohydrogénation avant leur absorption intestinale. Les acides gras absorbés sont donc toujours plus saturés que les acides gras ingérés.

Différents facteurs alimentaires ou autres peuvent modifier le profil en acides gras du lait (Palmquist et al., 1993). Les orientations scientifiques actuelles visent à réduire la proportion des acides gras (AG) saturés de chaîne moyenne, tout comme celle de certains AG monoènes de configuration trans, toutes deux liées au risque des maladies cardiovasculaires (EFSA, 2005) contribuant au développement de hypercholestérolémie, l'athérosclérose et d'autres problèmes de santé cardio-vasculaire (Noakes et al., 1996). Inversement, l'augmentation de certains acide gras possédant potentiellement des effets bénéfiques pour la santé humaine est privilégiée (Williams, 2000). Parmi ces acides gras, des isomères conjugués de l'acide linoléique, dont les produits issus des ruminants sont des sources importantes dans l'alimentation humaine, ont attiré depuis une dizaine d'années l'attention des nutritionnistes par leurs possibles effets anti-cancérogènes et antidiabétiques (Bessa et al., 2000). Pareillement, la composition en acides gras et la teneur en enzymes protéolytiques du lait peuvent aussi modifier sensiblement les caractéristiques sensorielles des fromages, en particulier leur texture (Colin et al. 1992, Visser 1993). De nombreuses études utilisant la modification du régime alimentaire ont été menées pour améliorer la composition des

acides gras du lait afin de réduire les concentrations d'acides gras saturés et d'augmenter les concentrations d'acides gras polyinsaturés.

6.2. Matière protéique

Le lait de chèvre contient en moyenne 30,8 g/kg de protéines totales (Institut d'élevage, 2003). Il est intéressant de le quantifier car il est le reflet de la concentration en caséine qui intervient dans la coagulation du lait. En effet, la caséine forme de petits conglomerats avec le calcium et le phosphore, appelés micelles, qui vont ensuite se lier les uns aux autres et ainsi former le caillé du lait lors de la fabrication du fromage. On trouve 68 à 70% de caséine au sein des protéines totales dans le lait de chèvre (St Gelais, 2000). Mais toute la caséine ne forme pas de micelles, une partie est éliminée dans la phase aqueuse du lait, c'est pourquoi le pourcentage de caséine dans le lait est légèrement supérieur au pourcentage de protéines coagulables à proprement dit. Dans le lait de chèvre, on a 75,6% de caséines dont 70,9% de protéines coagulables (Anonyme, 1998 ; Grappin, 1981).

6.3. Lactose

Le lactose est le sucre du lait. Sa teneur varie de 44 à 47 g/Litre en fonction du stade de lactation (Le Mens, 1985). Le lactose est indispensable lors de la fabrication fromagère, en effet le lactose est dégradé par les bactéries lactiques en acide lactique. Cette acidification est préalable à la coagulation du lait. Cet acide est éliminé dans le lactosérum.

6.4. Matière grasse

La matière grasse fait partie des composants majeurs du lait et elle constitue un des déterminants de sa qualité nutritionnelle, organoleptique, technologique et économique. Du fait de l'accroissement des maladies humaines liées à l'alimentation et plus particulièrement à la consommation de la matière grasse, un intérêt croissant est désormais porté sur les qualités nutritionnelles du lait, et la quantité de matière grasse produite. La matière grasse est un mélange complexe de di-et mono-acylglycérols, triacylglycérols (triglycérides), contient des vitamines liposolubles (A, D, E et K) ainsi que des caroténoïdes provitaminiques A comme par exemple le β -carotène, lipides complexes, et de composés liposolubles. La matière grasse du lait est constituée à 99 % de triglycérides, 1% de phospholipides et de substances associées (Cheftel, 1992). Les triglycérides sont composés d'acides gras saturés à longue et à courte chaîne et d'acides gras insaturés à longue chaîne (Banks, 1991). Le taux de

matière grasse ou taux butyrique moyen dans le lait de chèvre est 3,97% (Asim et Sumaira, 2010). C'est le composant le plus variable du lait, sa composition et sa production dépendent principalement des caractéristiques individuelles des animaux ou celles environnementaux (Palmquist et al., 1993), parmi lesquelles l'alimentation constitue le levier le plus rapide de variation (Palmquist et al., 1993; Kennelly, 1996; Ashes et al., 1997; Chilliard et al., 2003a).

6.5. La matière sèche totale

La teneur moyenne en matière sèche du lait de chèvre est comprise entre 12% et 13,73 % (Kanwal et al., 2004; Imran et al., 2008). Ses principaux constituants sont : la matière grasse, les protéines : on distingue deux groupes : les protéines de la caséine, qui représentent 80 % des protéines totales du lait et les séroprotéines minoritaires (20 %) et le lactose. Les composants secondaires du lait sont constitués par les sels, les enzymes, les vitamines et les oligo-éléments; le calcium et le phosphore.

6.6. pH du lait

Le pH n'est pas une valeur constante. Il peut varier au cours du cycle de lactation et sous l'influence de l'alimentation. Le colostrum a un pH plus bas, du fait de la teneur élevée en protéines (Gaucher, 2008). Le lait des caprins a une réaction ionique légèrement acide voisine de la neutralité, il est compris entre 6,50 à 6.80 (Juarez et Ramos, 1986) suite à la présence des anions phosphoriques et de la caséine.

6.7. Matières minérales (ou cendres)

Le lait des caprins est riche en matière minérale 7,1% (Kouniba et al., 2007) chez la race locale du nord. Le calcium est indispensable à la formation du caillé sous l'action de la présure, il est présent en très grande quantité dans le lait de chèvre par rapport à la concentration du calcium dans le lait de vache ou de brebis : la quantité moyenne de calcium dans le lait de chèvre est de 1,26 g/L (Gueguen, 1997). La teneur en phosphore est également très importante, sa quantité moyenne dans le lait est de 0,97g/L.

6.8. L'acidité du lait en degré Dornic

L'acidité Dornic est la résultante de l'acidité naturelle du lait (liée à sa richesse en protéines et minéraux) à laquelle vient s'ajouter l'acidité développée (grâce à l'action des ferments lactiques qui transforment le lactose du lait en acide lactique). Le degré Dornic (°D) est une unité d'acidité du lait. Un lait de chèvre est frais, lorsqu'il a une valeur entre 14 à 18 °D. C'est

un indicateur du degré de conservation du lait. Naturellement le lactose contenu dans le lait se dégrade progressivement en acide lactique par les bactéries. Moins le lait est frais, plus il contient d'acide lactique (Springer et al., 1998).

7. Consommation des aliments riches en tanins chez les caprins

Plusieurs études ont démontré que les tanins condensés dans les rations alimentaires affectent la nutrition animale et les performances de croissance (Silanikove et al., 1996; Ben Salem et al., 1997).

Les tanins condensés sont capables de se lier avec les protéines et de se précipiter (Hagerman, 1992). Ils ont un effet inhibiteur marqué sur l'activité microbienne comparé aux tanins hydrolysables. Ceci se manifeste par la désactivation des enzymes du tube digestif et l'inhibition de la croissance des bactéries du rumen qui dégradent ces protéines (Jones et al., 1994, Silanikove et al., 1994, Min et al., 2005).

Au cours de la digestion, la diminution de la dégradation des fourrages contenant des tanins dans le rumen se traduit par une augmentation des quantités d'azote non ammoniacal arrivant au duodénum (en proportion de la quantité d'azote ingérée). Une conséquence directe de la formation de complexes tanins protéines est la perte partielle ou totale des enzymes digestifs (Daiber, 1975). La dégradation des protéines semble se produire essentiellement au niveau du rumen lorsque les doses des tanins ne dépassent pas 0,4 g de tanins hydrolysables par Kg de poids vif par jour (Murdiati et al., 1992).

D'une manière générale, l'ingestion des végétaux riches en tanins affecte les niveaux de production (lait et gain de poids), et de la digestibilité des protéines (Reed, 1995). Parallèlement, la teneur en ammoniacale du jus de rumen diminue ainsi que la teneur en acides gras volatiles, sans que leurs proportions molaires soient modifiées (Waghorn et al., 1994).

7.1. Variabilité du rendement laitier

Plusieurs travaux ont montré la possibilité d'exploiter dans l'alimentation animale des sous produits de l'agriculture et de l'agro-industrie comme aliments alternatifs, sans pour autant affecter les performances de production (Makkar, 2003 ; Ben Salem et Smith, 2008). Les ressources alimentaires alternatives sont moins utilisées dans les élevages laitiers à cause de leur faible ou moyenne valeur nutritive. Certains sous produits peuvent contenir des

éléments secondaires, tel que les tanins condensés, qui lorsqu' ils sont présentes en quantités élevées peuvent affecter négativement la productivité et la qualité des produits animaux qui les consomment (Makkar, 2003).

En effet, certaines études ont démontré que l'utilisation des ressources alimentaires avec de faibles teneurs en tanins condensés augmente le rendement laitier, le pourcentage des protéines, dues probablement à la disponibilité élevée des acides aminés, en raison d'une diminution du processus de la biodégradation de la matière protéique au niveau du rumen. Avec des concentrations élevées de tanins condensés dans la ration alimentaire des ruminants, l'activité microbienne et la digestion des acides aminés au niveau de l'intestin diminuent d'une manière importante (Chiofalo et al., 2004a). Les travaux réalisés par Cabiddu et al. (2004b) ont montré, au contraire, que l'incorporation des sous produits de l'agriculture à teneur élevée en tanins condensés dans des rations des brebis laitières n'a pas d'effet significatif ni sur le rendement laitier ni sur la composition chimique du lait. Cependant, Hadjipanayiotou (1999) a rapporté que l'incorporation de ces ressources augmente la concentration des lipides du lait chez les brebis et les chèvres laitières.

7.2. Effet sur la qualité du lait

Les aliments riches en tanins ont un effet marqué sur la matière grasse du lait et la composition protéique en fonction de la concentration de tanins présents dans les aliments.

Les tanins en concentrations élevée ont généralement des effets négatifs sur les performances animales. Toutefois, des concentrations modérées pourraient avoir des effets positifs. En effet, Wang et al. (1996a) ont étudié l'effet du tanin condensé sur le rendement et la composition du lait de brebis, en comparant le pâturage des brebis avec *Lotus corniculatus*, qui contenait des concentrations modérées de Tanin (44,5 g / kg MS), complété ou non avec le PEG (polyéthylène glycol qui est un agent qui forme un complexe avec le tanin sans l'interférence avec la digestion animale) (Silanikove et al., 1993). Les traitements n'ont pas d'incidence sur la production de lait jusqu'à la 5^{ème} semaine de lactation, tandis que, de la 6^{ème} jusqu'à la 11^{ème} semaine la production de lait était significativement plus élevée chez les brebis recevant le régime sans PEG. La concentration en matière grasse du lait est plus élevée chez le groupe à régime complété avec PEG, ayant le plus faible rendement du lait. Cependant, aucune différence de la concentration de protéines de lait n'a été observée, malgré les différences dans le rendement en lait. Wang et al. (1996b) ont

déclaré que l'utilisation d'aliments contenant des tanins à faible concentration diminue la dégradation des protéines dans le rumen, et augmente à la fois la concentration des protéines essentielles de la caillette et les acides aminés essentiels d'absorption dans l'intestin grêle. Cette explication est également soutenue par Barry et McNabb (1999).

Les acides gras dans le lait sont de plus en plus importants en raison du lien entre le contenu en acides gras dans l'alimentation et certaines maladies. Des propriétés anti-cancérogène et anti-athérogène ont été attribuées à l'acide linoléique conjugué (CLA) C18: 2 cis-9, trans-11 (rumenic acid); (Lee et al., 2005; Bauman et al., 2006; Soyeurt et al., 2006). L'acide linoléique (C18: 3 cis-9, cis-12, cis-15) est également d'un grand intérêt pour les problèmes cardio-vasculaires (Metka et al., 2006; Mesa et al., 2007), et d'autres acides gras ont été aussi liés à la santé humaine en raison de leur nature mono-insaturés ou polyinsaturés. En conséquence, la recherche est actuellement menée sur le contenu du lait des ruminants en acides gras dans différents domaines, tels que l'amélioration génétique (Bobe et al., 2008; Carta et al., 2008; Soyeurt et al., 2008), variation de la nourriture (Metka et al., 2006; De La Fuente et al. 2009; Tsiplakou et al., 2008), et d'autres alternatives. Cependant, il y a très peu d'information sur les facteurs qui influencent les variations de la teneur en acides gras dans les troupeaux commerciaux de brebis laitières.

Dans une étude précédente, Cabiddu et al. (2005a), ont montré que différentes espèces fourragères peuvent augmenter de manière significative le niveau d'acide gras polyinsaturé (AGPI) et l'acide linoléique conjugué (CLA) dans le lait de brebis. Toutefois, Addis et al. (2005) ont remarqué que le stade phénologique de quelques espèces fourragères, comme la Sulla, peut influencer la tendance de la composition en acides gras du lait. Ces auteurs ont relié le faible niveau d'ALC dans le lait de brebis, à l'augmentation de la teneur en tanin de sulla au cours du printemps (stade de la reproduction de fourrage). Piluzza et al. (2005), ont montré que la teneur de sulla en tanins est maximale en période de floraison, et Molle et al. (2003, 2004), ont montré que le stade phénologique influence le niveau des tanins condensés et des phénols totaux dans la sulla frais.

Dans une autre étude, Sanz et al. (2007) ont montré que les valeurs les plus élevées de CLA dans le lait ont été observées lorsque les brebis ont reçu de bavure médicale, ce qui est logique en raison de leur forte consommation en PUFA. Cependant, la sulla qui était aussi riche en C18:3 a permis une petite augmentation de CLA dans le lait et une augmentation

importante en C18:3 (Addis et al., 2005). Cela est probablement dû à la présence dans la sulla des tanins condensés, qui pourrait inhiber partiellement l'hydrogénation des PUFA dans le rumen. En effet, l'ajout de polyéthylène glycol (PEG), qui inhibe l'action des tanins, a fortement augmenté le taux de CLA et a diminué le taux de C18: 3 dans le lait des brebis consommant du sulla (Cabiddu et al., 2005b.).

8. Particularité de la viande caprine

La chèvre est une source de viande importante pour la plupart des pays d'Afrique et d'Asie. Cette viande est consommée par 70% de la population mondiale (Anonyme, 2014).

La viande caprine est une viande maigre, tendre, de goût fin et de bonne valeur nutritive. Il est conseillé de consommer la viande caprine dans le cas de l'hypercholestérolémie. En fait les viandes rouges sont déconseillées dans ce cas, mais la viande caprine en fait l'exception puisqu'elle est considérée viande maigre car elle contient 2/3 d'acides gras insaturés (Anonyme, 2014). Aussi, la viande caprine est conseillée dans le cas de la prévention des maladies cardiovasculaires (Chilliard et Ferlay, 2004b). En fait, vu son bon profil d'acides gras, elle contribue à la diminution de risque d'athérosclérose en diminuant le mauvais cholestérol LDL. Aussi elle contribue à diminuer le risque de thrombose puisqu'elle contient les omégas 3. Egalement, la viande caprine est conseillée dans le cas de l'Anémie. Sa composition riche en fer héminique et en vitamine B12 et B3 et en protéines d'excellente qualité lui permet de lutter contre l'anémie (Fer héminique : 2 à 5 mg / 100 g, Zinc: 11 mg / 100 g; Anonyme, 2014). De même, la viande caprine est conseillée dans le cas de l'obésité et en cas d'un régime hypo calorique puisque la viande caprine assure une perte de poids régulière parce qu'elle fournit moins de calories principalement celles provenant de graisses (Gebhardt et Thomas, 2002). La viande caprine est très conseillée pour les diabétiques puisqu'elle contribue à diminuer les risques de plusieurs complications telles que la dyslipidémie (Anonyme, 2011 et 2014).

9. Paramètres de la qualité de la viande

La qualité de la viande est l'ensemble des caractéristiques d'une viande qui lui permettent de répondre aux exigences implicites ou explicites du consommateur. On distingue la qualité diététique, technologique, organoleptique et hygiénique.

9.1. Qualité diététique

Le tableau 1 ci-dessous fait ressortir les qualités diététiques de la viande caprine en regard de celles des bovins, des ovins, des porcs et des poulets (USDA, 2000). À partir de ce tableau nous pouvons remarquer que la viande caprine est très maigre, seulement 3,03 mg/100g de gras et très faible en gras saturé comparativement aux autres viandes. Elle est aussi très faible en apport énergétique.

Tableau 1 : Qualité diététique de la viande cuite des animaux d'élevage (par 100 g).

Espèce	Eau (g)	Protéines (g)	Gras (g)	Gras saturés (mg)	Ca (mg)	Fe (mg)
Chèvre	68,2	27,1	3,03	0,93	17,00	3,73
Bœuf	52,77	26,42	19,71	7,77	9,00	2,68
Agneau	55,82	25,51	18,01	7,45	16,00	1,93
Poulet	59,45	27,30	13,60	3,79	15,00	1,26

(USDA, 2000)

9.2. Qualité technologique

La qualité technologique de la viande correspond à ses aptitudes à subir une transformation (Lebret et al., 1999). Parmi les caractéristiques de la viande envisagée dans l'industrie de transformation on distingue le degré d'acidité ou le pH, le pouvoir de rétention d'eau, le genre de découpe, la fermeté, la composition chimique, le pouvoir émulsifiant et les propriétés gélifiantes (Claeys et Lauwers, 1998). Le pH et le pouvoir de rétention d'eau sont les paramètres les plus considérés pour évaluer la qualité technologique de la viande.

Le pH du muscle Semimembraneux après l'abattage décroît d'une valeur voisine de 7,0 à 7,2 à des valeurs comprises entre 5,4 et 5,8. Cette diminution du pH favorise la conservation de la viande, en ralentissant le développement bactérien. Mais elle entraîne une plus faible rétention d'eau par le fait que le pH se rapproche du point isoélectrique des protéines.

9.3. Qualité organoleptique

a. Couleur

La couleur est parmi les principaux facteurs de choix et d'acceptabilité pour le consommateur déterminée par son aspect visible. La couleur dépend de la quantité de myoglobine, liée au pourcentage de fibres rouges, de l'état chimique de ce pigment qui est, au sein du muscle, sous forme réduite, de couleur pourpre, en raison de l'absence

d'oxygène; mais en surface, au contact de l'air, la myoglobine se trouve sous forme oxygénée, de couleur rouge vif. La couleur dépend aussi de la structure du muscle réfléchissant la lumière. L'abaissement du pH augmente la quantité d'eau extracellulaire et, en conséquence, la réflexion de la lumière incidente, ce qui confère un aspect clair aux viandes à bas pH (Lebret et al., 1999 ; Geay et al., 2002).

b. Tendreté

La tendreté correspond à la facilité avec laquelle une viande se laisse mastiquer résultant de deux composantes différentes : le tissu conjonctif et les fibres musculaires (Geay et al., 2002 ; Normand et al., 2005). Le tissu conjonctif cause de la tendreté basale de la viande et contribue à la dureté de la viande par sa concentration dans le muscle et la solubilité des protéines qui le composent, notamment le collagène. Plus une viande contient du collagène, plus elle est dure. Le collagène est difficilement dégradé par les enzymes digestives (Bonneau et al., 1997). Seule une cuisson lente en milieu aqueux transforme le collagène en gélatine facile à mastiquer et parfaitement digeste (Bonneau et al., 1997 et Geay et al., 2002). Les fibres musculaires ou structure myofibrillaire représentent une part importante de la viande qui contribue à la tendreté de cette dernière. Après l'abattage, s'installe la rigidité cadavérique causée par la contraction des myofibrilles.

La structure myofibrillaire subit de profondes modifications qui dépendent des conditions de traitement des carcasses et des muscles, mais aussi des caractéristiques enzymatiques et physicochimiques des fibres (Lebret et al., 1999).

c. Flaveur

La flaveur correspond aux perceptions olfactives (odorat) et gustatives (goût) lors de la dégustation. La sensation d'odeur est produite par des composés chimiques volatils de faible poids moléculaire qui stimulent les récepteurs de l'épithélium nasal. Le goût est généralement sollicité par des substances solubles dans l'eau et d'un poids moléculaire plus élevé que les composés volatils précédents.

C'est au cours de la cuisson que se développe la flaveur typique de la viande. Celle-ci est fortement dépendante des paramètres de cuisson (mode, durée, température). Les composés aromatiques responsables de la flaveur de la viande cuite sont issus de deux

grands types de réactions induits par le traitement thermique (chauffage): les réactions de Maillard entre acides aminés et sucres réducteurs et la dégradation des lipides.

9.4. Qualité hygiénique

La viande est un milieu de culture favorable au développement des micro-organismes. Elle peut être aussi un réservoir des résidus (antibiotiques, pesticides, métaux lourds ...) ou divers contaminants. La salubrité de la viande nécessite l'implication de l'ensemble des intervenants de la filière depuis l'éleveur jusqu'au consommateur afin d'assurer la sécurité du consommateur. Chaque transformation ou conservation inadéquate peut être le facteur d'altération et de contamination par les microorganismes, ce qui exige une maîtrise de la chaîne de production et de transformation (Bonneau et al., 1997). A l'échelle des producteurs, une conduite rationnelle du troupeau dans un environnement propre et sain prévient la contamination et l'atteinte des animaux par des zoonoses ou d'autres maladies et permet la minimisation de l'utilisation de certaines molécules qui peut entraîner la présence de résidus dans la viande. Au niveau de l'abattoir, les risques de contamination sont accrus si des mesures de prophylaxie ne sont pas respectées. L'abattoir constitue le point critique majeur de l'hygiène de la viande (Dennai et al., 2001). La désinfection et le nettoyage des locaux de transformation ou de vente de façon régulière protègent la contamination de la viande (Touraille, 1996).

10. Facteurs influençant la qualité de la viande

De multiples facteurs déterminent la qualité d'une viande. On peut les classer selon deux catégories : facteurs liés à l'animal et autres environnementaux (figure 5).

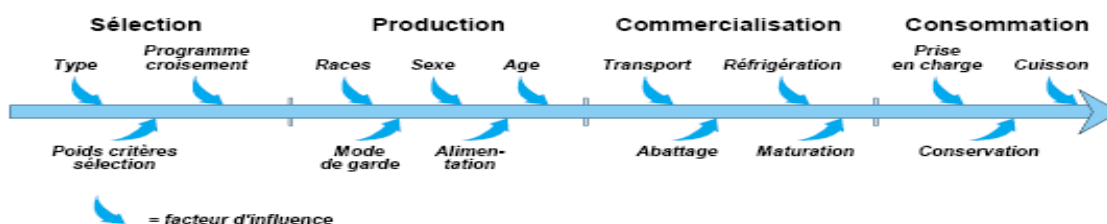


Figure 5: Facteurs pouvant influencer la qualité de la viande en relation avec les différentes phases de la filière viande.

10.1. Facteurs liés à l'animal

Race : les multiples études réalisées en relation avec la qualité de la viande et de la carcasse ont concerné les races bovines. La viande provenant des animaux culards est plus tendre, de

couleur pale, relativement maigre et possède un faible pouvoir de rétention d'eau par rapport à celle issue d'animaux non-culards (Claeys et Lauwers, 1998).

Sexe : Le sexe de l'animal influence la qualité organoleptique de la viande, la viande des mâles est plus coriace que celle des femelles, la viande des mâles castrés se trouve en position intermédiaire. Ceci peut être expliqué par des différences dans la teneur et la solubilité du collagène, par la taille et l'activité des fibres musculaires et la teneur en lipides intramusculaires. La tendance est la même pour la flaveur, la jutosité, le pH de la viande et son pouvoir de rétention d'eau, mais moins marquée que la tendreté (Bonneau et al., 1997).

Age et poids d'abattage: La tendreté diminue, alors que l'intensité de la flaveur et de la couleur augmente avec l'âge. La diminution de la tendreté s'explique par la diminution de la solubilité du collagène. Le développement de la flaveur avec le vieillissement de l'animal est dû à un accroissement de l'activité oxydative des fibres musculaires et de la teneur en lipides intramusculaires. Ces derniers donnent la consistance à la viande en fondant dans la cuisson (Beaumont, 1999). La couleur change considérablement avec l'âge, due à une évolution croissante de la pigmentation. La viande devient plus foncée à mesure que l'animal prend de l'âge (Normand et al., 2005). Cet assombrissement peut être expliqué par une augmentation de la teneur en myoglobine du muscle riche en fer héminique, quoique cette teneur varie considérablement entre les muscles d'un même animal. Une tendance semblable de l'effet du poids sur les critères de qualité de la viande est remarquable.

Le type de muscle : Les différents muscles d'une carcasse n'ont pas la même teneur en pigment rouge et certains muscles sont plus exposés aux problèmes de pH élevé que d'autres. Les muscles situés sur l'arrière de l'animal sont moins tendres que ceux de l'avant. La faible teneur en collagène en est la cause principale (Normand et al., 2005 et Dufey et Chambaz, 1999). Une grande variabilité dans le taux de gras intramusculaire et donc de la flaveur et de la jutosité entre les muscles d'une même carcasse résulte des vitesses d'engraissement différentes.

10.2. Facteurs environnementaux

Alimentation : L'alimentation est connue comme le principal facteur de variation de la qualité de la viande par sa quantité et sa qualité. Cependant, les effets spécifiques des constituants du régime alimentaire sur la qualité de la viande sont difficiles à évaluer.

Les caractéristiques des fourrages consommés par les animaux modifient les propriétés physico-chimiques et/ou sensorielles des viandes. Ces effets peuvent être variables selon le mode de transformation de la matière première. Ils sont dus à la présence dans la matière première de molécules spécifiques issues directement de l'alimentation (carotènes, terpènes) ou produites par l'animal (acides gras) sous l'effet d'une alimentation spécifique (Claeys et Lauwers, 1998).

L'alimentation pourrait avoir un effet direct en modifiant la teneur en myoglobine du muscle. Elle peut avoir aussi un impact indirect sur la couleur de la viande via l'âge de l'animal, le poids et l'état d'engraissement de la carcasse, le taux de gras intramusculaire et le pH ultime de la viande, qui varient souvent selon le système d'alimentation (Claeys et Lauwers, 1998).

Influence des conditions de pré-abattage : Plusieurs opérations précédant l'abattage des animaux peuvent être la cause du changement des qualités de la viande. Les effets nuisibles de stress et de la fatigue avant l'abattage se traduisent par un épuisement du glycogène des muscles. Le pH de cette viande reste élevé (6 à 6,8) et la viande est dite à pH élevé (Claeys et Lauwers, 1998). Elle est caractérisée par une couleur plus foncée et possède un fort pouvoir de rétention d'eau. Sur le plan technologique, les conséquences d'un pH élevé se traduisent par une réduction de la durée de vie de la viande. En effet, à pH élevé, le meilleur pouvoir de rétention d'eau et l'épuisement du glycogène sont favorables à la putréfaction suite au développement bactérien (Claeys et Lauwers, 1998).

Transport et commercialisation des carcasses: Le maintien de la chaîne de froid est nécessaire pour la conservation de la qualité de la viande et son interruption favorise la croissance bactérienne. Les carcasses ou les parties de carcasses doivent être transportées suspendues si elles ne sont pas emballées ou congelées sous une température n'atteignant pas un maximum de 7°C. Il est important de ne pas découper inutilement les carcasses du fait de l'augmentation de la surface exposée aux contaminations microbiennes (Claeys et Lauwers, 1998).

Facteurs technologiques: la température de la conservation doit être maintenue aussi basse que possible, car les oxydations sont plus rapides à température élevée (Normand et al., 2005). L'utilisation de la lumière artificielle avec peu de couleur rouge, lors de la

présentation de la viande risque de conférer au produit un aspect grisâtre, et par conséquent poser des problèmes de commercialisation.

La maturation permet d'améliorer la tendreté de la viande, notamment pour les morceaux nobles. Par contre, elle n'a que très peu d'effet sur les morceaux riches en collagène. Pendant la conservation de la viande peuvent survenir des altérations de type rancissement, c'est le cas notamment des acides gras très insaturés, ce qui peut engendrer le développement de flaveur et d'odeur désagréables lors de la cuisson.

11. Effets des tanins sur la production de viande et sa qualité

L'effet de TC sur la croissance des agneaux dépend du degré d'activité de tanin. Terrill et al. (1992) ont constaté que le PEG a tendance à augmenter le gain de poids vif et réduire le rendement de la carcasse des moutons pâturant sur champ de Sulla. De plus, Wang et al. (1996b) ont constaté que le PEG apporté aux agneaux de pâturage à base du lotier corniculé (*Lotus corniculatus*) tend à réduire le gain de poids vif ($P = 0,07$) sans avoir un effet sur le poids de la carcasse. L'addition de PEG à un régime alimentaire riche en caroube (Priolo et al., 2000) a fait triplé le gain quotidien de poids des agneaux ($P < 0,01$). La présence de TC dans l'alimentation a été souvent associée à une réduction de la teneur en matières grasses de la carcasse chez les agneaux de pâturage à base du lotier pédonculé (*Lotus pedunculatus*) (Purchas et Keogh, 1984) et de sulla (*Hedysarum coronarium*) (Terrill et al., 1992). Cependant, chez les agneaux de pâturage à base de *Lotus corniculatus*, Wang et al. (1996b) n'ont trouvé aucune différence dans le gras de la carcasse. Une explication possible de cette réduction de l'adiposité a été suggérée par Barry et al. (1986) qui ont trouvé un niveau inférieur de l'hormone de croissance GH chez les agneaux nourris par un régime alimentaire à base de *Lotus pedunculatus* contenant 95 g TC / kg de matière sèche et qui a été pulvérisé avec du PEG. Le GH augmente la rétention d'azote et réduit les dépôts de la graisse dans la carcasse. Le niveau plus élevé de GH dans le plasma a été expliqué par une possibilité de l'inactivation des protéines de paroi intestinale par les TC. Cependant Waghorn et al. (1994b) n'ont pas trouvé de différence dans le niveau de GH chez les agneaux nourris par le *Lotus pedunculatus* avec ou sans PEG.

Dans le domaine des petits ruminants il n'y a que peu d'études spécifiques aux TC en relation avec la qualité de la viande. Dans une étude comparant deux variétés de sorgho avec un

contenu différent en TC, les agneaux nourris avec la variété contenant le plus haut niveau de TC a montré une viande de couleur plus claire (Verna et al., 1989). Priolo et al. (1998a) ont constaté que le remplacement partiel de l'orge par la pulpe de caroube chez les agneaux Comisana entre le sevrage (50 jours) et l'abattage (100 jours) a augmenté de manière significative la luminosité (L^*) du muscle long dorsal (1 heure à 4°C). Le taux de croissance des animaux, le poids de la carcasse, la graisse et le pH du muscle étaient comparables entre les groupes dans cette expérience. La littérature précédente avait montré que certains tanins peuvent réduire la concentration sanguine d'hémoglobine chez les bovins nourris des feuilles de chêne (*Quercus incana*) (Garg et al., 1992).

Priolo et al. (1998a) ont émis l'hypothèse que les tanins sont responsables des différences observées dans la couleur de la viande. Une expérience successive pour but d'évaluer l'effet spécifique de TC de la pulpe de caroube sur la croissance de l'agneau et de la qualité de la viande (Priolo et al., 1998b, 2000), a montré que lorsque les effets des TC de la pulpe de caroube sont éliminés par l'apport de PEG, la viande du *Longissimus* des agneaux Comisana était beaucoup plus sombre (L^* est inférieure). Cependant, dans cette expérience, le taux de croissance entre les animaux était très différent du fait de l'astringence élevée des tanins. Ben Salem et al. (2002), Priolo et al. (2002b) ont évalué les effets des TC des feuilles d'*Acacia cyanophylla* sur la qualité de la viande des agneaux Barbarine. Les animaux ont été abattus à 230 jours d'âge après avoir été nourris par des feuilles d'*Acacia* avec ou sans PEG pendant 80 jours. Le muscle *Longissimus dorsi* (2 heure à 4 ° C) des agneaux qui n'a pas reçu le PEG était beaucoup plus léger (moins de gras).

Priolo et al. (2000) ont indiqué que les tanins de différentes espèces de plantes ont un effet similaire sur la couleur de la viande d'agneau. Zembayashy et al. (1999) ont rapporté que l'alimentation des génisses japonais (476 kg de poids corporel; 174 jours de procès d'alimentation) par des feuilles de thé (riches en catéchines) a réduit la teneur en fer de muscle. Une corrélation fortement négative entre le fer et la légèreté du muscle de la viande a également été trouvée. Ces auteurs ont conclu en outre que l'alimentation à base de feuilles de thé serait efficace pour augmenter la luminosité de la viande. Le mécanisme d'action des tanins (ou catéchines) sur la couleur de la viande n'est pas claire. Les tanins semblent ne pas influencer l'absorption du fer chez les ruminants. En fait, Waghorn et al. (1994a) n'ont trouvé aucune différence dans l'absorption de Fe chez les moutons de 12 mois

qui pâturent sur le *Lotus pedunculatus* complété avec ou sans PEG. Garg et al. (1992) ont constaté que, bien que le taux d'hémoglobine dans le sang des bovins ait été affecté par une forte dose de tanins alimentaire, aucune différence en fer dans le sang n'était présente. Des résultats similaires ont été obtenus par Priolo et al. (2000), avec des tanins de pulpe de caroube. Il est donc probable que les tanins n'affectent pas l'absorption de Fer chez les ruminants mais entravent l'utilisation successive de fer pour la synthèse comme il est suggéré par Garg et al. (1992).

On conclut que, contrairement à l'utilisation des nutriments et leur métabolisme, les effets de tanins sur la qualité des produits sont peu étudiés, plus particulièrement chez les caprins. Les données disponibles suggèrent que de faibles concentrations de TC ont augmenté la croissance de la laine à la suite d'une augmentation du flux des protéines dans le rumen et une meilleure absorption des acides aminés. La production de lait et les protéines peuvent être augmentées dans de telles conditions. La situation inverse peut être observée lorsque le niveau TC dans le régime alimentaire est riche. La couleur plus claire de la viande a été obtenue avec des agneaux recevant un régime riche en TC.

12. Le polyéthylène glycol et son effet sur le lait et la viande

Le polyéthylène glycol (PEG) est un polymère qui se lie avec les tanins de manière irréversible et cela sur une gamme de pH, de ce fait il réduit la formation de complexe protéine-tanin. Différentes procédures ont été utilisées pour l'addition expérimentale de PEG au pâturage des ruminants: Pulvérisé sur les feuilles dans une solution aqueuse (Kumar et al., 1990); mélangé sous forme de poudre sèche avec des feuilles récoltées; ou bien administré par voie orale. Une autre méthode plus pratique a été proposée consistant à mélanger le PEG avec une petite quantité de concentré et le fournir aux animaux une fois par jour (Silanikove et al., 1994, et 1996), avant de les transformer en pâturages (Decandia et al., 1998).

Le raisonnement de cette approche est lié au fait qu'une partie considérable des effets antinutritionnels des tanins est exercée dans l'intestin en abaissant l'activité des enzymes pancréatiques (Silanikove et al., 1994 et 1996). Ainsi, malgré le lessivage rapide de PEG dans le rumen comme une molécule soluble dans l'eau, le temps moyen de rétention de liquide

dans le tractus gastro-intestinal qui est faible, permet une neutralisation effective de l'effet des tanins par le PEG dans le milieu ruminale et post-ruminale.

Diverses méthodes ont été tentées pour désactiver les tanins dans un large éventail d'espèces ligneuses, les graines de céréales et des sous-produits agro-industriels. L'utilisation de polyéthylène glycol (PEG; de poids moléculaire de 4000 ou 6000 PM), pour lequel les tanins ont une plus grande affinité que pour les protéines, est de loin le réactif le plus utilisé pour neutraliser ces composés secondaires (Makkar et al., 1995; Silanikove, 2001). Par conséquent, il serait possible d'augmenter la valeur nutritive des parcours riches en tanins en ajoutant des composés tels que le PEG, qui lie préférentiellement les tanins, ce qui rend les protéines végétales plus disponible pour la digestion. Cette stratégie est très utile dans les situations où les denrées alimentaires contiennent de hautes proportions de tanins.

Différents moyens d'administration de PEG ont été utilisés dans la littérature pour évaluer le potentiel du fourrage des espèces végétales riches en tanins. Le PEG a été inclus, soit en supplément concentré (Ben Salem et al., 1999a; Decandia et al., 2000), dissous dans l'eau potable (Ben Salem et al., 1999a), infusé par voie orale (Wang et al., 1996b; Gilboa et al., 2000) ou pulvérisé en solution sur les feuilles administrées à des animaux ruminants (Ben Salem et al., 1999b). La réponse à l'offre de PEG en termes d'apport, de digestion et de production varie en fonction du mode d'application.

Des études antérieures de Ben Salem et al., (1999a, 1999b, 2000, 2002), ont montré l'amélioration significative de la valeur nutritive d'*Acacia*, lorsque le PEG a été administrée sous différentes formes dans l'alimentation des moutons. L'inactivation des tanins par l'utilisation du PEG entraîne une augmentation de la biohydrogénation ruminale, et donc augmente les intermédiaires de la biohydrogénation, acides linoléiques conjugués (CLA) et l'acide vaccénique (VA), mais en même temps diminue le niveau d'acides gras polyinsaturés dans le lait. Ces résultats sont supportées par Turner et al. (2005) qui ont montré une augmentation des acides gras saturés et des ω 3 suite à une complémentation du régime alimentaire par du PEG.

L'apport des tanins, en combinaison avec une alimentation de qualité moyenne s'est montré préjudiciable à la performance. Cependant des études récentes ont montré que l'inclusion de polyéthylène glycol avec une dose moins que 10 g/jour dans les rations alimentaires des ovins et des chèvres améliore nettement les performances (Gilboa et al., 2000 ; Priolo et al.,

2002a; Priolo et Ben Salem, 2004). Cependant et bien qu'encourageants, le coût et la disponibilité de PEG rendent l'utilisation de cet agent difficile à appliquer et peu rentable.

PARTIE 2: RECHERCHE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 1: EFFET DES TANINS CONDENSÉS SUR LA PRODUCTION ET LA QUALITE DU LAIT DE CHEVRE.

1. Contexte de la recherche

Plusieurs travaux de recherche ont montré la possibilité d'exploiter dans l'alimentation animale des sous produits de l'arboriculture et de l'agro-industrie comme aliments alternatifs, sans affecter les performances de production (Makkar, 2003 ; Ben Salem et Smith, 2008). Toutefois, ces ressources sont moins utilisées dans les élevages à cause de leurs contenances en substances anti-digestives en particulier les tanins. Les tanins sont des composés poly-phénoliques qui se trouvent pratiquement dans toutes les plantes et dans toutes leurs parties (Guignard, 2000). La forme condensée des tanins (TC) est un facteur anti- nutritionnels qui peuvent se lier aux protéines formant une résistance complexe contre les attaques enzymatiques, diminuant ainsi l'appétence des aliments distribués et leur digestibilité (Silanikove et al., 1996; Ben Salem et al., 1997; Makkar , 2003). Aussi, les tanins sont capables de se lier aux enzymes digestives et de les inhiber. En effet, plusieurs polyphénols ont une action sur l' α -amylase (Kandra et al., 2004), l' α -glucosides (McDougall et al., 2005), les protéases (Kocisko, 2004), la trypsine et les hémagglutinines (Gilani et al., 2005, De Mejia, 2005). Toutefois, pour de faible concentration, les tanins condensés sont bénéfiques aux ruminants puisqu'ils empêchent la forte dégradation des protéines dans le rumen et augmente de ce fait l'apport en acides aminés au niveau du duodénum (Harris et al., 1998, Wang et al., 1996, Woodward et al., 1999, Barry et Mc Nabb, 1999). Les TC protègent aussi, les acides gras alimentaires désirables contre la bio-hydrogénation, ce qui améliore la qualité diététique des produits d'élevage (Chiofalo et al., 2004b).

Plusieurs études rapportent que les TC affectent négativement la productivité des ruminants quand ils sont présents en grande quantité dans l'alimentation (Silanikove et al., 1996; Ben Salem et al., 1997; Makkar, 2003). Lorsque la concentration en TC est supérieure à 9 % de matière sèche de la ration alimentaire quotidienne, on note une diminution importante de l'activité microbienne et de la digestion des acides aminés dans l'intestin (Dawson et al., 1999). Au contraire, l'inclusion des sous produits riches en TC dans les rations des brebis laitières, améliore le profil des acides gras, qui se traduit par une augmentation des acides gras mono insaturés et une diminution des acides gras saturés (Chiofalo et al., 2004b). En fait,

Hadjipanayiotou (1999) a rapporté que l'incorporation de cette substance augmente la concentration des lipides du lait de brebis.

Les arbustes et plusieurs autres ressources alimentaires fourragères pastorales utilisées dans l'élevage caprin contiennent des niveaux importants et variables de CT. Cependant, peu d'informations sont disponibles sur les effets de cet élément sur la production et la qualité du lait de chèvre. De ce fait, une utilisation optimale des ressources alimentaires riches en tanins, permettant d'améliorer la qualité des produits caprins et de préserver les performances de production en lait est à rechercher. Dans ce sens, l'objectif de ce chapitre, est d'étudier l'effet de l'incorporation de TC dans le supplément concentré sur les performances de production et la qualité nutritionnelle du lait de chèvre de population locale du nord du Maroc.

2. Matériel et méthodes

Conduite expérimentale

Vingt et une chèvres de population locale du nord en lactation (4^{ème} au 13^{ème} jours de lactation), ayant mis bas en début de Juin 2010, ont été réparties en 3 lots, de sept chèvres chacun. Les lots ont été équilibrés sur la base du poids corporel moyen (38 kg \pm 1,36), de la production laitière (0,976 kg \pm 0,02 de la dernière lactation) et du numéro de lactation des chèvres (les chèvres ayant un même numéro de lactation sont réparties équitablement dans les trois lots). Le foin d'avoine (1 kg/jour/chèvre) est distribué dans tous les groupes équitablement tout au long de la durée de l'expérience. Le lot témoin (G0) a reçu une complémentation en concentré à base de grains d'orge, de maïs et de féverole, de son de blé et de tourteau de tournesol. Dans les lots tests, le supplément concentré est remplacé partiellement par la pulpe de caroube (*Ceratonia siliqua*), avec des taux d'incorporations respectives de 25% et 50% du supplément concentré, soit une incorporation de TC d'environ 5% et 10% MS du concentré respectivement dans le lot G5 et G10 (tableau 2).

Dans les trois groupes, l'alimentation distribuée apporte respectivement 1,3 UFL et 130 PDI. De même, la composition en acides gras ne présentent pas de différence entre les rations tests et témoins (tableau 2).

Tableau 2: Composition (en ingrédient et nutritionnelle) de l'aliment concentré des lots de chèvres tests (G5 and G10) et témoin (G0) .

Composition de l'aliment	G0	G5	G10
Orge (%)	26,5	14	0
Maïs (%)	20	9	0
Féverole (%)	18,5	19,5	18
Son de blé (%)	19	14	10
TT tournesol (%)	16	18,5	22
Pulpe caroube (%)	0	25	50
Matière sèche ingérée (g/tête/jour)	750	740	735
Matière sèche (%)	96,3	94,7	96,9
Tanins Condensés ingérés (g/jour)	0	34,6	73,2
Matière organique (g)	463,4	475,0	491,5
Protéines (g)	98,5	99,1	99,5
Extrait Ethéré (g)	14,2	11,2	8,4
Fibre brute (g)	47,2	56,3	67,4
Acides gras désirables (% AGT*)	30,58	29,83	30,51
Ac. Gras insaturés (UFA) (% AGT)	28,35	28,02	28,47
Ac. Gras Polyinsaturés (PUFA) (% AGT)	0,32	0,21	0,32
Ac. Gras saturés (SFA) (% AGT)	71,65	71,77	71,53

(* : AGT : Acides gras totaux)

Mesures et analyse qualitative

La production laitière individuelle par 24 heures est calculée en réalisant des contrôles chaque semaine depuis la mise bas (4^{ème} jour) jusqu'au 90^{ème} jour de lactation et en appliquant la méthode de Fleischmann. Parallèlement, des échantillons de lait de 500 g sont prélevés pour effectuer des analyses sur la composition physico-chimique et la proportion des acides gras du lait. Dans ce sens, nous avons procédé à l'analyse de la composition chimique, principalement, les teneurs en protéine, lactose, matière grasse, extrait sec dégraissé et non dégraissé sont effectuées à l'aide de l'analyseur du lait Milkoscan. L'analyse physico-chimique (pH, teneur en acide lactique) et teneur en cendres sont déterminés selon les méthodes AOAC (1997).

Afin de déterminer la composition du lait en acides gras, les acides gras C2 à C24 ont été extraits et estérifiés par la méthode de Folch et al. (1957) et estérifiés selon Christie (1993). Les

esters d'acides gras ont été déterminés par chromatographie en phase gazeuse (Varian CP3800) qui est équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) et d'une colonne capillaire (SPTM-2560, 100m x 0.25mm ID, 0.20 µm film) avec l'hélium comme gaz porteur (1.5ml/mn). La température de l'étuve a été programmée à 50°C (durant 2 min) à 240°C (8°C/min) et celle du FID à 250°C. La surface des pics des acides gras individuels (FAME's) a été identifiée par comparaison au temps de rétention d'un standard des acides gras (C4-C24, Sigma-Aldrich). Les acides gras individuels ont été quantifiés comme le pourcentage de la surface totale des acides gras totaux identifiés.

Analyse statistique

L'analyse de la variance due au traitement (taux d'incorporation des TC dans l'alimentation), et la comparaison multiple de moyennes, pour les différents paramètres étudiés, de l'effet des TC sur les performances de production laitière, la composition physico-chimique, le profil des acides gras du lait ont été réalisées moyennant le programme (SAS, 2004) en utilisant la procédure "Modèle Général Linéaire" (GLM). Le modèle utilisé ($y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$) comprend la moyenne générale (μ), le taux de CT de la ration alimentaire comme étant le facteur de variation (T_i) et l'erreur résiduelle (ε_{ij}). La différence entre moyennes a été considérée comme significatives à une probabilité $P < 0,05$. La comparaison des moyennes a été réalisée à l'aide du test "Last Square Déviation" ou (LSD).

3. Résultats

Production laitière

L'incorporation de TC dans l'aliment concentré influence de manière significative la production du lait de chèvre ($P < 0,05$). Le traitement G10 a induit une diminution de la production laitière moyenne. En fait, la production laitière moyenne des chèvres issue de la ration G10 est nettement inférieure à celle de G5 et G0 caprins (70,54 vs 90,44 et 84 kg/chèvre/90 jours, respectivement, $P < 0,05$; tableau 3). La production laitière moyenne réalisée par le groupe G5 est significativement supérieure au groupe témoin G0 (90,44 vs 84 kg/chèvre/90 jours, $P < 0,05$). L'utilisation d'un faible taux de TC (G5) a entraîné une augmentation significative de la production laitière par rapport au témoin et au traitement G10 (respectivement un taux d'augmentation de 8,2% et 28,8%).

Composition physico-chimique du lait

La ration G5 a abouti à une augmentation de la teneur en matière sèche du lait de chèvre ($P < 0,001$). Ce qui est favorable pour la production de fromage. La teneur en extrait sec obtenue par G5 est en effet supérieure à G10 et au lot témoin (respectivement 13,86% vs 12,99% et 12,80%, $P < 0,01$, tableau 3). Le lait produit par la faible incorporation de TC dans l'alimentation (G5) est un légèrement acide. Il est donc moins stable que le lait G10 et G0 (2,30 vs 2,10 et 2,04 g/l d'acide lactique respectivement pour G5, G10 et G0, $P < 0,01$). Toutefois, ce lait contient de manière hautement significative moins de gras que le groupe G10. L'utilisation d'un taux d'incorporation élevé G10 offre un lait avec plus de matières grasses (5,19% vs 4,36% et 4,39%, $P < 0,001$), de protéines (3,6% vs 3,38 et 3,11%, $P < 0,01$) et légèrement plus d'extrait sec (8,66% vs 8,63% et 8,42%, $P < 0,05$), respectivement, pour G10, G5 et G0 (tableau 3).

Tableau 3: Composition physicochimique du lait des chèvres du lot témoin (G0) et tests G5 et G10.

	G0	G5	G10	SEM	Probabilité
PL individuelle (kg/24 h)	0,930 ^a	1,004 ^a	0,780 ^c	0,0285	0,0039
PL (Kg/chèvre/lactation)*	83,83 ^b	90,44 ^a	70,54 ^c	1,9200	0,0212
Matière grasse (%)	4,39 ^b	4,36 ^b	5,19 ^a	0,1204	0,0001
Protéine (%)	3,11 ^b	3,38 ^a	3,6 ^a	0,0895	0,0041
Lactose (%)	4,46	4,37	4,28	0,6023	0,1516
Extrait sec dégraissé(%)	8,42 ^b	8,63 ^{ab}	8,66 ^a	0,0789	0,0404
Extrait sec (%)	12,8 ^b	13,86 ^a	12,99 ^b	0,1758	0,0011
Acide lactique (g/l)	2,03 ^{ab}	2,30 ^a	2,10 ^b	0,5107	0,0052
Cendres (%)	0,70	0,92	0,49	0,1986	0,3508
pH	6,55	6,53	6,54	0,0182	0,7063

* **PL** : Production laitière durant en 90 jours, **SEM** : Erreur standard de la moyenne. **a, b et c** : Au sein d'une même ligne, les moyennes suivies par des lettres distinctes sont statistiquement différentes avec un risque d'erreur de 5%.

Profil des acides gras du lait

On constate que l'utilisation du traitement G10 est accompagnée d'une amélioration significative des acides gras désirables (55,18% vs 52,94% et 51,94%, $P < 0,05$), des acides gras insaturés (35,99% vs 34,83% et 34,56%, $P < 0,05$) et des acides gras polyinsaturés (2,08% vs 1,88 de% et 1,54%, $P < 0,05$) par rapport à G5 et G0 respectivement. En effet, on note une augmentation significative ($P < 0,01$) de l'acide élaidique (C18: 1 ω -9t), linoléique (C18: 2 ω -6c),

acide oméga 3 ou l'acide linoléique (C18:3 ω -3) dans le lait G10 comparativement avec G0 et G5 (+22%, +60%, et +27% respectivement). Ce qui améliore par conséquent la qualité nutritionnelle du lait de chèvre avec l'apport G10 (tableau 4).

Tableau 4: Composition en acides gras (en % des acides gras totaux) du lait des chèvres du lot témoin (G0) et des lots tests G5 et G10.

Acides gras	G0	G5	G10	SEM	Probabilité
Ac. myristique (C14)	11,09	11,15	10,29	0,7689	0,0721
Ac. palmitique (C16)	33,11	32,30	30,48	2,9761	0,2762
Ac. Stéarique (C18)	17,38	18,11	19,19	1,5512	0,6568
Ac. trans 9 Elaidique (C18:1 ω -9t)	1,60 ^c	1,88 ^{ab}	1,95 ^a	0,1434	0,0059
Ac. cis 9 Oléique (C18:1 ω -9c)	31,43	31,08	31,96	2,4921	0,0700
Ac. linoléique (C18:2 ω -6c)	0,42 ^c	0,56 ^b	0,67 ^a	0,0327	0,0117
Ac. linoléique (C18:3 ω -3)	0,63 ^c	0,72 ^{ab}	0,80 ^a	0,2782	0,0068
Ac. arachidique (C20)	3,16	2,93	3,16	0,2877	0,4870
Ac. eicosatriénoïque (C20:3 ω -6)	0,49	0,60	0,61	0,0996	0,2700
Ac. Béhénique (C22)	0,70 ^c	0,68 ^b	0,90 ^a	0,2015	0,0191
Acides gras désirables	51,94 ^c	52,94 ^b	55,18 ^a	3,3055	0,0292
Ac. Gras insaturés (UFA)	34,56 ^c	34,83 ^{bc}	35,99 ^a	2,8656	0,0366
Ac. Gras Mono-insaturés	33,02	32,95	33,91	2,4921	0,0946
Ac. Gras Poly-insaturés	1,54 ^c	1,88 ^{bc}	2,08 ^a	0,1578	0,0425
Ac. Gras saturés (SFA)	65,44	65,17	64,01	3,3055	0,1704
UFA/SFA	0,53 ^b	0,53 ^b	0,56 ^a	0,0056	0,0156
ω 3/ ω 6	0,69 ^a	0,62 ^b	0,63 ^b	0,0057	0,0002

SEM : Erreur standard de la moyenne. **a, b et c** : Au sein d'une même ligne, les moyennes suivies par des lettres distinctes sont statistiquement différentes avec un risque d'erreur de 5%. ω 3 et ω 6 : respectivement les acides gras de la famille des oméga 3 et oméga 6.

4. Discussion

Production du lait

Au cours des trois premiers mois de lactation, la production laitière moyenne obtenue par des chèvres recevant une alimentation incorporant des tanins condensés en teneur élevée est nettement inférieure à celle produite avec une ration à faible taux d'incorporation et au témoin. Ce résultat est en accord avec Makkar (2003), Chilliard et al. (2000) et Chouinard et al. (2001) qui indiquent que les TC affectent négativement la productivité des animaux

quand ils sont présentés en grandes quantités dans l'alimentation. Min et al. (2003), Ramírez-Restrepo et Barry (2005) rapportent que l'ingestion de TC (supérieure à 9% de MS) des brebis a été associée à un effet négatif sur la production de lait. En effet, avec des concentrations élevées de TC dans le régime alimentaire (supérieure à 10% MS), l'activité microbienne et la digestion des acides aminés au niveau de l'intestin diminuent d'une manière importante (Chiofalo et al., 2004b).

Le traitement G5 a induit une augmentation significative ($P < 0,05$) de la production laitière (PL) par rapport au témoin (+8,2%) et au traitement G10 (+28,8%). Avec l'utilisation des ressources alimentaires contenant des faibles niveaux de TC (moins de 3% de MS), la production du lait augmente probablement en raison de la grande disponibilité des acides aminés et des acides gras polyinsaturés, suite à une diminution de la procédure de biohydrogénation dans le rumen (Waghorn et McNabb, 2003). Ainsi, une quantité de TC d'environ de 4 % MS dans le régime des brebis a donné lieu à un excédent de production de lait de 15% (Wang et al., 1996). Une augmentation de la production de lait de brebis (Barry et McNabb, 1999; Min et al., 1999) et les vaches laitières (Woodward et al., 1999) est observée lorsque le régime alimentaire contient des TC variant de 2 à 4% de MS.

Toutefois, ce résultat contraste avec celui de Cabiddu et al. (2004a) qui ont montré que l'incorporation de sous-produits agricoles qui ont une teneur élevée de TC dans les régimes alimentaires des brebis laitières n'a pas d'effet significatif sur la production de lait. En outre, Ben Salem et Smith (2008) ont suggéré la possibilité d'utiliser dans l'alimentation, des arbustes et des sous-produits de l'agro-industrie, riches en tanins, sans affecter les performances de la production laitière.

La différence de l'effet des tanins condensés sur la production laitière peut être liée à la différence de structure chimique, et au poids moléculaire des tanins condensés qui diffèrent selon la nature de l'aliment distribué (Min et Hart, 2003).

Qualité physico-chimique du lait

L'utilisation de la dose élevée de tanins condensés (G10) offre un lait contenant plus de matières grasses, de protéines et d'extrait sec dégraissé. Wang et al. (1996) et Tava et al. (2005) ont signalé des augmentations similaires de protéines et de matières grasses du lait de brebis avec une incorporation de 3,6% de tanins condensés. De même, Woodward et al.

(1999), Min et al. (2003) et Wan et al. (1996) ont constaté que les tanins condensés ont eu un effet positif sur les protéines chez les bovins laitiers. Une augmentation de la qualité du lait avec des valeurs plus élevées de matières grasses, de protéines, de l'extrait sec dégraissé et l'extrait sec total (6,6%, 5,4%, 6,6% et 18,1% respectivement) et une teneur similaire en lactose (4,8%) sont enregistrés avec le lait issu des chèvres Angora sur pâturage à base de fourrage *Lespedeza cuneata* qui contient 15,2% de TC (Min et al., 2005). De même, Molle et al. (2009) ont obtenu une teneur élevée en graisse et en protéines du lait (6,61 % et 5,74% respectivement), et une teneur en lactose similaire (4,67%) avec un apport de 51 g de tanins condensés aux brebis sur la plante *Sulla*. Avec le même apport en TC, Cabidou et al. (2009) ont rapporté des valeurs variant de 6,41% à 6,96% de matière grasse et 5,57% à 6,03 % de protéine. Cette différence dans la qualité du lait dépend de l'espèce et de la race des animaux (Papanastasis et al., 2008). Au contraire, l'alimentation des brebis avec le fourrage *Lotus corniculatus* à faible teneur en TC (4,45 % de MS) a réduit la concentration en matière grasse du lait (Wang et al., 1996). Cet auteur a conclu que l'utilisation d'aliments à faible concentration de TC réduit la dégradation des protéines dans le rumen et augmente le transit protéique dans la caillette. Cette explication est également soutenue par Barry et McNabb (1999).

Cependant, certains auteurs ont rapporté une réduction de la graisse du lait quand les vaches laitières reçoivent quotidiennement 163 à 326 g de TC (cité dans Grainger et al., 1983). Cette réduction n'a pas été observée chez les chèvres Angora (Min et al., 2005). Avec l'utilisation d'un maquis dominé par le Lentisque, dont les feuilles sont très riches en TC (22 % MS), la digestibilité des protéines de chèvres Sarda reste faible, et on n'observe aucune différence de la teneur en matière grasse et en protéines du lait, sauf si le polyéthylène glycol est apporté (Decandia et al., 2000). Un résultat similaire est obtenu avec les chèvres pâturant sous forêt riche en bois tels que le *Quercus spp.*, *Pistacia palestina*, *P. lentiscus*, *Sarcopoterium spinosa*, *Rhamnus palatina* et *Calicotome villosa* (Gilboa et al., 2000).

Composition en acides gras du lait

On constate que l'utilisation du taux G10, en comparaison aux taux G5 et G0, s'accompagne d'une amélioration significative des acides gras désirables (55,18 vs 52,94 et 51,94% respectivement; $P < 0.05$), des acides gras insaturés (35,99 vs 34,83 et 34,56% respectivement; $P < 0.05$) et des acides gras polyinsaturés (2,08 vs 1,88 et 1,54%

respectivement; $p < 0.05$). En effet, on note particulièrement une augmentation significative ($P < 0.01$) de l'acide Elaidique (C18:1 ω -9t), Linoléique (C18:2 ω -6c) et surtout de l'acide gras de la famille des oméga 3 (C18:3 ω -3) dans le lait G10 par rapport à G5 et G0.

D'après la littérature, la consommation des tanins condensés a un impact certain sur le profil des acides gras qui varie plus au moins avec l'espèce animale, l'origine du tanin condensé et la dose d'incorporation et la composition de la ration alimentaire.

Chez les vaches ou les moutons, le pâturage sur des légumineuses contenant des tanins, modifie la teneur du lait en acides gras lorsque le polyéthylène glycol est ajouté dans la ration. Ceci indique que les tanins peuvent être responsables d'une diminution (Turner et al., 2005) ou d'une augmentation (Cabiddu et al., 2009) de la bio-hydrogénation ruminale des acides gras polyinsaturés à l'acide stéarique (C18:0 ; Toral et al 2011). Dans le présent essai, les acides gras insaturés, l'acide linoléique et particulièrement l'acide α -linoléique, s'améliorent avec l'augmentation du taux d'incorporation de tanins condensés dans la ration alimentaire. De même, l'utilisation de deux concentrations de tanins condensés (0,6 et 1 mg/ml liquide ruminal, respectivement 9,5% et 15,8 % de MS de TC) de caroube (*Ceratonia siliqua*), acacia (*Acacia cyanophylla*) et de l'arbre Quebracho (*Schinopsis lorentzii*) sur la bio-hydrogénation ruminale *in vitro*, ont montré que l'acide vaccénique (trans-11 C18:1) a été accumulé (+23% , $P < 0,01$) tandis que l'acide stéarique (C18:0) a été réduit (-16% , $P < 0,005$; Vasta et al., 2008). En outre, une quantité d'environ de 7,9% de tanins condensés (en MS alimentaire) d'*Acacia mearnsii* et de sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) ont été étudiés *in vitro* avec le foin de trèfle complémenté par l'huile de lin (riche en acides gras oméga 3), a conduit à une proportion considérable de cis-9, trans-11, cis-15 C18:3, trans-11, cis-15 C18:2 et trans-11 C18:1. Ce dernier acide gras a été considérablement augmenté au profit de C18:0 (Khiaosa et al., 2009). Des résultats similaires ont montré qu'une teneur en TC de sulla (20 à 40 g/kg MS) a conduit à un pourcentage élevé en acide linoléique (C18:2) et α -linoléique (C18:3) du lait de brebis Sarda; mais qui reste inférieure au cis-9, trans-11 l'acide linoléique conjugué (CLA) et trans-11 C18:1 (Cabiddu et al., 2009). La biohydrogénation de α -linoléique (ALA) a accusé une baisse de 20% moins avec une dose de TC (*Acacia mearnsii*) de 7,9% de MS alimentaire et une élévation de trans-11 C18:1 en tant que précurseur de cis-9, trans-11 de l'acide linoléique conjugué a été notée dans les tissus corporels et la glande mammaire (Khiaosa et al., 2009). Turner et al. (2005) ont

également constaté que les TC de *Lotus* semble affecter la bio-hydrogénation ruminale des acides gras, en diminuant la concentration des acides gras saturés dans la matière grasse du lait, et de plus en plus la concentrations de l'acide gras oméga 3 (1,5% vs 1,1%; $P < 0,01$). Autres études ont, également, rapporté que l'addition de 10 g de tanins (TC de quebracho et tanins hydrosolubles de châtaigniers/kg de MS) à une ration alimentaire contenant 20 g d'huile de tournesol des brebis Assaf avait un changement temporel dans la composition en acides gras du lait qui a été caractérisé par une augmentation des acides gras insaturés à 18 atomes de carbone, principalement cis et trans 18:01 et ne modifie pas les acides gras saturés, mono-insaturés et polyinsaturés du lait (Toral et al., 2011). Ces auteurs suggèrent une inefficacité du type de tanins (condensé ou hydrosoluble) utilisé et/ou de la faible dose, ou les deux, à exercer des effets majeurs sur la bio-hydrogénation d'acides gras du lait.

Au contraire, Benchaar et Chouinard (2009), ont rapporté un faible potentiel de la ration alimentaire complétée par les TC de quebracho (6,7 g/kg, ce qui correspond à 150 g/jour, 70% de tanins) à modifier le processus de bio-hydrogénation ruminale et à modifier le profil des acides gras du lait de la vache. Par conséquent, ils suggèrent que de nouvelles études sont nécessaires pour déterminer les facteurs qui limitent les effets de ces métabolites secondaires sur les populations microbiennes du rumen impliqués dans les processus de bio-hydrogénation des acides gras insaturés. De même, les résultats récents de Toral et al. (2011) ont montré que la supplémentation des brebis allaitantes par 5 g/kg MS de TC n'a pas d'incidence sur le profil des acides gras du lait. Ceci est probablement dû, au faible taux d'inclusion choisi dans cette étude (5 g/kg MS), qui n'a montré aucun d'impact des tanins sur l'environnement du rumen, comme il est illustré par les paramètres de fermentation du rumen. Molle et al. (2009) ont rapporté que l'acide oléique trans a diminué de 27% en présence d'une forte teneur en tanins de Sulla (Stender et Dyerberg, 2003). Ce résultat est dû au fait que les acides gras trans sont naturellement présents dans les graisses de ruminants et sont aussi formés au cours du processus de digestion, pour cette raison la teneur de cet acide a été trouvée plus élevée dans les échantillons témoins. Alors que, Hervas et al. (2003) ont rapporté que la dose la plus élevée de tanins (166 g/kg de MS alimentaire) était toxique pour la population microbienne du rumen chez les brebis et il n'y avait pratiquement pas d'activité de fermentation dans le rumen. Ces résultats montrent

donc que les effets bénéfiques sur la modulation de la panse et les performances des animaux n'ont pas été systématiquement observés (Patra et Saxena, 2011).

En outre, la composition de la ration pourrait également avoir une influence sur l'effet des tanins. Vasta et al. (2009) ont, en effet, montré que l'addition de 104 g/kg MS d'un extrait de TC de quebracho a augmenté le contenu de trans-11 et trans-10 C18:1 dans le rumen des agneaux nourris par une ration riche en aliment concentré, mais pas dans le rumen de ceux alimentés seulement d'herbe fraîche, malgré la très forte dose d'extrait de tanins alimentaire (Toral et al., 2011). Aussi, dans le lait de chèvre, le contenu en CLA augmente fortement suite à la supplémentation par de l'huile végétale ou de l'herbe frais. Mais ce contenu ne change pas sensiblement quand les chèvres reçoivent des oléagineux entiers non protégés (Chilliard et al., 2003b). De même, certains auteurs expliquent que l'augmentation de C18:1 est due à l'action de delta-9 désaturase mammaire. En fait, quand il y a une augmentation d'acides gras contenus dans la matière grasse de la source alimentaire utilisée, l'action de la delta-9 mammaire désaturase produit une augmentation des niveaux d'acides gras mono-insaturés correspondants (Sanz Sampelayo et al., 2007). Chilliard et Ferlay (2004a) ont fait la remarque sur le rôle important joué par le delta-9 désaturase mammaire dans la régulation du rapport des acides gras mono-insaturés/saturée du lait chez la vache, en particulier en ce qui concerne les acides gras de 18 atomes de carbone.

Les produits de ruminants sont souvent blâmés pour leur haute teneur en acides gras saturés (SFA) et la faible teneur en acides gras polyinsaturés (PIFA) (Scollan et al., 2006). Alors que les premiers sont parmi les responsables du risque accru de maladies cardiovasculaires, le dernier et en particulier les acides gras ω 3 sont connus par leurs effets favorables sur la santé humaine (Simopoulos, 1999). Le faible ratio PIFA/SFA dans la viande et le lait de ruminants semblerait être un paradoxe, vu que les ruminants ont évolué pour le pâturage d'herbes plutôt que de s'alimenter de grains, et herbages contient beaucoup plus de grande proportion de PIFA que de SFA (Morand-Fehr et Tran, 2001). Ce fait dépend de la bio-hydrogénation des acides gras : pendant ce processus, les cis-9, cis-12 C18:2 (acide linoléique) et cis-9, cis-12, cis-15 C18:3 (acide linoléique) ingérées sont progressivement isomérisés et saturés pour former un certain nombre de diène et monoène isomères intermédiaires de 18 atomes de carbone; le produit final de cette cascade de réactions est C18:0 (acide stéarique) (Bessa et al., 2007). Ce processus est effectué par les micro-

organismes présents dans le rumen qui sont responsables de la bio-hydrogénation (Kemp et al., 1975). Cependant, la composition en acides gras du lait peut être affectée par une déficience de la bio-hydrogénation ruminale (Vasta et Luciano, 2011). En fait, les tanins sont bien connus pour réduire la prolifération des bactéries du rumen et d'inhiber leur activité (Min et al., 2003) plutôt qu'une inhibition de l'enzyme isomérase de l'acide gras en soi (Vasta et al., 2008). Pour cette raison, l'inclusion des tanins dans les cuves de fermentation n'a pas affecté les isomères CLA totaux (résultants de la réaction d'isomérisation), mais a augmenté l'accumulation de l'acide vaccénique (résultat de l'action de bio-hydrogénation microbienne). Ces résultats suggèrent que la dernière étape de la bio-hydrogénation, qui est la transformation de l'acide vaccénique (trans-11 C18:1) à l'acide stéarique (C18:0), a été affectée par une plus grande mesure par les TC comparée à la réaction d'isomérisation enzymatique, ce qui conduit à la formation de CLA. Ces auteurs ont également ajouté de l'hydrogénation de l'acide vaccénique à l'acide stéarique étant affecté plus avec une grande ampleur par les TC que de la conversion de l'acide Linoléique en acide linoléique conjugué. Troegeler-Meynadier et al. (2006) ont rapporté que Trans-11 C18:1 est le produit principal de la biohydrogénation dans le cas d'une ration contenant des tanins, alors que c'était l'acide stéarique dans d'autres traitements sans tanins. Ce qui confirme les preuves de l'inhibition de l'étape terminale de la bio-hydrogénation des acides gras par les TC au niveau du rumen : la réduction de l'acide vaccénique en acide stéarique (Khiaosa et al., 2009). Cela pourrait se produire par les TC qui améliorent la population bactérienne du rumen, éliminant ainsi les microbes impliqués dans la bio-hydrogénation et accroît la concurrence entre les deux types de bactéries (Khiaosa et al., 2009).

Kemp and Lander (1984) classent les bactéries impliquées dans la bio-hydrogénation en deux groupes basés sur la réaction et les produits finaux de la bio-hydrogénation: Les *Ruminococcus albus* et *Butyrivibrio* qui sont capables d'hydrogéner l'acide linoléique et l'acide ALA, avec trans-11 C18:1 comme étant leur principal produit final ; et les *Clostridium proteoclasticum* (cité par Durmic et al. (2008), et un gram-négative (R8/5) qui sont capables d'utiliser trans-11 C18:1 en tant qu'un des principaux substrats pour former l'acide stéarique en tant que produit final de la bio-hydrogénation. Durmic et al. (2008) ont montré que les tanins ont un effet inhibiteur sélectif sur les *Clostridium proteoclasticum* P18 et non pas sur les *Butyrivibrio fibrisolvans* JW11. Ce constat confirme le résultat concernant

l'accumulation de trans-11 C18:1 en cas de présence de tanins alimentaire (Khiaosa et al., 2009). Par ailleurs, Turner et al. (2005) ont suggéré que la concurrence sur l'hydrogène entre la méthanogenèse et la bio-hydrogénation pourrait expliquer l'effet de TC sur la bio-hydrogénation. Le niveau bas de méthane enregistré en cas de présence de TC de Acacia indique que, de toute évidence, les deux voies de l'utilisation de l'hydrogène souffrent de cette pénurie (Khiaosa et al., 2009). En outre, un effet indirect de la faible dégradabilité des lipides accessibles aux micro-organismes sur le taux de biohydrogénation est décrit par Li and Meng (2006). Ces chercheurs, ont observé que l'utilisation de la paroi cellulaire à partir de la paille de blé, qui représente les fibres lignifiées, réduit la bio-hydrogénation de l'acide linoléique de l'huile de soja alimentaire par rapport à l'utilisation des fibres digestibles (coque de soja). Cependant, d'autres recherches (Troegeler - Meynadier et al., 2006) et Fuentes et al. (2009) indiquent que le faible pH du rumen inhibe l'isomérisation et la seconde réduction de l'acide linoléique, ce qui conduit à une accumulation de l'acide gras trans-11 C18:1.

Enfin, les disparités des effets des tanins entre les différentes études sont attribuées aux différentes structures chimiques des tanins (degré de polymérisation, les procyanidines à prodelphinidines, stéréochimie et la liaison C-C), aux concentrations de tanins, et le type de régime alimentaire. Ainsi, un établissement de la relation structure-activité serait nécessaire pour expliquer les différences entre les études et obtenir des effets bénéfiques cohérents des tanins (Patra et Saxena, 2011).

5. Conclusion

Les tanins condensés sont largement impliqués dans la modification de la production et la composition physico-chimique du lait de chèvre. L'incorporation de tanins condensés d'environ 5% de MS dans la ration alimentaire de chèvre au cours de la lactation peut se faire sans aucune incidence digestive. Le remplacement partiel de l'aliment par un taux de tanins condensés de 5% MS est avantageux compte tenu de l'amélioration de la production laitière (+8 à +28% d'augmentation), de protéines et de la teneur en extrait sec par rapport au témoin G0. Tandis que l'incorporation de TC à une dose de 10% de MS affecte négativement la production laitière (-18%) mais améliore la composition du lait en acides gras insaturés (+25% d'oméga 3, +60% de linoléique, +27% de linoléique, -2,2% de SFA).

Préserver la production laitière, en même temps améliorer sa qualité en terme de composition en acides gras suppose la détermination du traitement approprié des TC alimentaires se trouvant en teneur élevée dans l'aliment.

Plusieurs traitements de la forte teneur en TC ont été proposés dans la littérature, en particulier le traitement avec l'ammoniac gazeux, l'hydroxyde de calcium qui font précipiter les tanins, l'acide chlorhydrique qui les détruit (Mueller-Harvey, 2006; Rogosic et al., 2007) ou la distribution du polyéthylène glycol (PEG) aux ruminants qui consomment des aliments riches en TC (Rogosic et al., 2007). Ce dernier traitement semble être le plus utilisé dans les régimes alimentaires des ruminants. Cependant, vu l'absence de résultat fiables pour chèvre consommant de forte dose de tanins condensés avec apport de PEG, les études sont nécessaires pour mettre au point l'effet de ce traitement sur la production et la qualité nutritionnelle du lait.

CHAPITRE 2: EFFET DES TANINS CONDENSÉS SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALITÉ DE LA VIANDE DE CHEVREUX.

1. Contexte de la recherche

La qualité élevée de la viande caprine est devenue actuellement une exigence par le consommateur. Cette viande est produite par des élevages dont l'alimentation dépend totalement des pâturages qui sont connus par leur richesse en ressources fourragères riches en composés phénoliques principalement les tanins condensés (Chebli et al., 2012). Ces derniers sont des éléments antinutritionnels qui affaiblissent la productivité en viande de ces élevages (Makkar, 2003). Toutefois, les tanins condensés, peuvent avoir un effet bénéfique lors de la digestion des aliments dans le rumen. Ils peuvent protéger, en effet, certains nutriments bénéfiques (tels que les acides gras désirables) contre la biodégradation lors de la fermentation ruminale et par la suite ces nutriments peuvent se retrouver dans les produits animaux; ce qui améliore la qualité de ces derniers (Min et al., 2003; Ramírez-Restrepo and Barry, 2005).

Cependant, les études montrant l'impact des TC sur la productivité et la qualité de la viande caprine locale sont indisponibles. Ainsi, l'utilisation optimale des ressources fourragères riches en tanins condensés est à entreprendre, en vue de préserver l'efficacité d'utilisation digestive des aliments par l'espèce caprine, et en même temps la qualité de sa viande.

Dans ce sens, Ce travail vise particulièrement à étudier l'effet de l'incorporation de tanins condensés dans le complément alimentaire concentré, sur les performances de croissance et d'engraissement et la qualité de la viande et de la carcasse des chevreaux de la population caprine locale du nord du Maroc.

2. Matériel et méthodes

Conduite expérimentale

Trois apports de concentré (K0, K5 et K10) avec respectivement une incorporation de TC de (0%, 5%, 10 %) ont été distribués respectivement à 3 groupes de 7 chevreaux ($11,76 \pm 0,08$ kg) chacun à partir du sevrage (à $90 \pm 3,2$ jours) jusqu'à l'âge de 180 jours (tableau 5). Les lots ont été équilibrés sur la base du poids et l'âge de chevreaux. Le supplément concentré alimentaire témoin (K0) est composée de grains d'orge, de maïs, de féverole et du tourteau de tournesol. Dans les rations tests (K5 et K10), ce supplément est remplacé partiellement par la pulpe de

caroube (*Ceratonia siliqua*) qui est utilisée comme source de TC avec des taux d'incorporations respectives de 25% et 50% du supplément concentré soit une contenance en TC de l'aliment concentré de 5% et 10% (tableau 5). La ration de base est distribuée sous forme de foin d'avoine (500 g/jour/chevreau). Dans les trois groupes de chevreaux, les rations alimentaires témoins et tests permettent un apport de 0,8 UFV et 70 g PDI et présentent des proportions proches en acides gras (tableau 5).

Tableau 5: Composition nutritive du concentré alimentaire des lots de chevreaux tests (K5, K10) et témoin (K0).

Composition de l'aliment	K0	K5	K10
Orge (%)	26	20	13
Maïs (%)	24	18	12
Féverole (%)	20	15	10
TT tournesol (%)	30	22	15
Pulpe caroube (%)	0	25	50
MS ingérée (g/tête/jour)	525	540	535
Matière sèche (% Produit Brut)	92,8	90	90
Tannins condensés ingérés (g/jour)	0	27,2	54
Matière organique (g)	429,5	431,2	478,6
Protéines (g)	88,4	89,8	87,6
Extrait Ethéré (g)	22,5	23,42	26,7
Fibre brute (g)	40,3	43,2	41,6
Ac. gras désirables (% AGT)	28,17	27,91	28,45
Ac. Gras insaturés (% AGT)	26,34	26,18	26,47
Ac. Gras polyinsaturés (% AGT)	0,32	0,31	0,32
Ac. Gras saturés (% AGT)	73,66	73,82	73,53

AGT : acides gras totaux

Mesures et analyse qualitative

Les performances de croissances [le gain moyen quotidien entre 90-180 jours (GMQ 90-180), l'Indice de consommation, le rendement de la carcasse (%), le poids vif final (kg)] ont été déterminées par des contrôles de la croissance qui sont réalisés tous les 15 jours le matin sur les chevreaux à jeun. 24 heures après l'abattage, des échantillons de viande ont été prélevés sur le *Longissimus dorsi* (LD) et le muscle Semimembraneux (SM) de la cuisse afin d'effectuer des analyses de la qualité technologique, organoleptique et diététique de la viande.

Afin de caractériser la carcasse, des mesures effectuées ont porté sur le rendement de la carcasse(%) $[(PC/PV)*100]$; où PC: poids carcasse froide à 24 heures après abattage à une température ambiante d'une moyenne de 20° C et ceci après enlèvement de la tête, la peau, les abats et les pattes; PV: poids vif avant l'abattage]; l'importance du tissu adipeux par la mesure du poids de la graisse péri-rénale; l'importance du tissu osseux qui est effectué par des mesures de la longueur de la carcasse; et enfin l'importance du tissu musculaire qui est évalué en déterminant l'indice de compacité [Poids de la carcasse/Longueur de la carcasse]; l'indice de muscle [épaisseur de la cuisse/longueur cuisse]; et l'indice de conformation [qui est la somme des deux indices]. Aussi des mesures ont été prises sur l'indice de consommation [Aliment ingéré (kg)/gain moyen quotidien GMQ (kg)].

La carcasse est caractérisée sur la base de la couleur de la viande du muscle *Longissimus dorsi* et la couleur du gras de couverture qui sont réalisées 12h post-mortem respectivement sur une épaisseur de 1 à 1,5 cm du muscle LD prélevée au niveau du 12^{ème} et 13^{ème} coté, et sur trois endroits de la carcasse (pourtour de la queue, selle et dernières cotes au milieu du dos) en utilisant un chromamètre Minolta CR410. Les valeurs de l'indice de luminosité (L*), l'indice du rouge (a*) et l'indice du jaune (b*) ont été données par un Chromamètre une fois qu'il est placé sur un endroit précis de la carcasse ou sur le morceau de la viande. Le score de la couleur de la graisse de couverture a été calculé comme cité dans Normand et Brouard-Jabet (2002). La texture de la viande est évaluée 24 heures post-mortem en utilisant un Texturomètre (Texture Analyzer-PRO-TMS) sur un morceau de LD de 1 cm d'épaisseur et de 3 cm de long. Le pH a été déterminé à 0 et 24 heures post-mortem avec un pH-mètre portable HANNAHI 99163. La Capacité de rétention d'eau est mesurée selon Grau et Hamm (1953, cité dans Ait Bella, 2006).

Afin de déterminer la composition en acides gras de la viande, des échantillons ont été prélevés sur la viande du LD. La détermination de la teneur de la viande en protéines, graisse, humidité et cendres est réalisée sur le muscle Semimembraneux de la cuisse selon la méthode AOAC (1997). Les acides gras ont été extraits par la méthode de Folch et al. (1957) et estérifiés selon Christie (1993) pour les échantillons de viande. Les esters d'acides gras ont été déterminés par chromatographie en phase gazeuse (Varian CP3800) qui est équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) et d'une colonne capillaire (SPTM-2560, 100m x 0.25mm ID, 0.20 µm film) avec l'hélium comme gaz porteur (1.5ml/mn). La température de l'étuve a été programmée à 50°C (durant 2 min) à 240°C (8°C/min) et celle du FID à 250°C. La surface des pics des acides

gras individuels (FAME's) a été identifiée par comparaison au temps de rétention d'un standard des acides gras (C4-C24, Sigma-Aldrich). Les acides gras individuels ont été quantifiés comme le pourcentage de la surface totale des acides gras totaux identifiés.

Analyse statistique

L'analyse de la variance due au traitement (taux d'incorporation des TC dans l'alimentation), et la comparaison multiple de moyennes, pour les différents paramètres étudiés, de l'effet des TC sur les performances de croissance, la qualité technologique, organoleptique et diététique de la viande ont été réalisées moyennant le programme (SAS, 2004) en utilisant la procédure "Modèle Général Linéaire" (GLM). Le modèle utilisé ($y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$) comprend les moyennes générales (μ), le taux de CT de la ration alimentaire comme facteur de variation (T_i) et l'erreur résiduelle (ε_{ij}). La différence entre moyennes a été considérée comme significative à une probabilité $P < 0,05$. La comparaison des moyennes a été réalisée à l'aide du test "Last Square Déviation" ou (LSD).

3. Résultats

Les tanins condensés incorporés dans le concentré avec un taux modéré (K5) améliorent significativement les performances de croissance des chevreaux. En effet, les individus du lot K5 ont enregistré un gain de poids entre 90-180 jours et un poids vif à 6 mois d'âge les plus élevés par rapport à K0 et K10 (73,33 vs 42,90 et 38,00 g/j, $P < 0,05$) et (18,50 vs 15,46 et 15,22 kg, $P < 0,05$) respectivement (tableau 6). Avec l'incorporation du taux modéré (K5), l'indice de consommation des chevreaux est plus réduit comparativement aux lots K0 et K10 (7,72 vs 12,18 et 19,56 respectivement, $P < 0,05$). L'apport élevé en tanins influence négativement les performances de croissances. En fait, le GMQ90-180 et le poids vif final du lot K10 sont moins élevés que le lot K0 (38,00 vs 42,90 g/j et 15,22 vs 15,46 respectivement, $p < 0,05$).

L'incorporation de TC montre qu'il n'y a pas d'effet significatif sur l'indice de compacité, mais on note qu'il y a une différence significative entre le traitement K5 et K10 en ce qui concerne l'indice de muscle et l'indice de conformation ($P < 0,05$). Des indices légèrement moins élevés sont obtenus avec le lot K5 (0,46 et 0,57 respectivement; $P < 0,05$). Cette différence peut être expliquée par le fait que les carcasses et les cuisses des individus du lot K5 sont plus longues que celles de K10 (tableau 7).

Tableau 6: Effet des tanins condensés sur les performances de croissance des chevreaux du lot témoin K0 et des lots tests K5 et K10.

Performances de croissance	K0	K5	K10	SEM	Probabilité
Poids vif initial (kg)	11,6	11,90	11,80	0,7979	0,9641
Poids vif final (kg)	15,46 ^{ab}	18,50 ^a	15,22 ^b	0,9880	0,0466
GMQ ₉₀₋₁₈₀ (g/j)	42,90 ^b	73,33 ^a	38,00 ^b	7,3981	0,0111
Indice de consommation	12,18 ^{ab}	7,72 ^b	19,56 ^a	2,6713	0,0262
Poids carcasse froide (kg)	5,87	6,44	5,87	0,5570	0,7123
Rendement carcasse (%)	40,48	36,80	39,88	1,6856	0,2905
Poids de fressure (kg)	0,61	0,71	0,65	0,0538	0,4424

Fressure: Cœur+foie+poumons; SEM : Erreur standard de la moyenne. a, b : Au sein d'une même ligne, les moyennes suivies par des lettres distinctes sont statistiquement différentes avec un risque d'erreur de 5%.

Tableau 7: Effet des tanins condensés sur la caractérisation de la carcasse des chevreaux du lot témoin K0 et des lots tests K5 et K10.

Paramètres de la carcasse	K0	K5	K10	SEM	Probabilité
Gras surréal (g)	32,06	38,88	37,22	15,5819	0,9495
Longueur carcasse (cm)	56,20	57,50	54,70	0,7810	0,0760
Longueur cuisse (cm)	26,20	27,50	24,70	0,7810	0,0760
Épaisseur cuisse (cm)	12,42	12,54	12,48	0,1706	0,8849
Indice de compacité	0,10	0,11	0,11	0,0090	0,8427
Indice de muscle	0,47 ^{ab}	0,46 ^b	0,51 ^a	0,0108	0,0213
Indice de conformation	0,58 ^{ab}	0,57 ^b	0,61 ^a	0,0120	0,0435
Note couleur gras couverture	5,52	4,49	4,15	0,7979	0,0872
L* (Longissimus dorsi)	40,07 ^b	43,23 ^a	42,70 ^a	0,5115	0,0346
a* (Longissimus dorsi)	21,52	21,29	21,57	0,3833	0,9161
b* (Longissimus dorsi)	6,81 ^a	4,99 ^b	5,78 ^{ab}	0,4104	0,0179
Force de cisaillement (Newton)	67,77	69,83	82,45	7,3370	0,3171

L (indice de luminosité), a* (indice du rouge), b* (indice du jaune). SEM : Erreur standard de la moyenne. a, b : Au sein d'une même ligne, les moyennes suivies par des lettres distinctes sont statistiquement différentes avec un risque d'erreur de 5%.*

La couleur du gras de couverture de la carcasse n'a pas enregistré de différence significative sous l'effet de TC. Toutefois, on remarque que la note de cette couleur du lot K5 est plus élevée que le lot K10 (4,49 vs 4,15 respectivement; P>0,05, tableau 7).

Concernant la viande du *Longissimus dorsi*, on note pour le traitement K5 un indice de luminance L* significativement plus élevé et un indice de jaune faible (43,23 et 4,99 respectivement, P<0,05, tableau 7). Ces indices renseignent sur une couleur satisfaisante de la carcasse et de la viande du lot K5. Concernant la qualité diététique, on note qu'il y a un effet significatif de tanins condensés sur la teneur protéique de la viande. En effet, cette dernière est significativement plus élevée avec la ration K5 par rapport à K10 (17,24% vs 15,35% respectivement, P<0,05; tableau 8). Ce résultat montre que la valeur protéique de la viande caprine s'améliore avec l'utilisation des taux modérés d'incorporation de TC ne dépassant pas 27,2 g de TC/jour/chevreau. Au contraire, le taux élevé d'incorporation des TC allant jusqu'à 10% MS font diminuer la teneur en protéine par rapport au témoin (K0) ce qui diminue sa qualité diététique (tableau 8).

Tableau 8: Effet des tanins condensés sur les paramètres diététiques et technologiques de la viande des chevreaux du lot témoin K0 et des lots tests K5 et K10.

Paramètres diététique et technologie	K0	K5	K10	SEM	Probabilité
Matière azoté totale du SM (%)	16,32 ^{ab}	17,24 ^a	15,35 ^b	0,4823	0,0292
Matière minérale du SM (%)	2,88	2,84	2,7	0,0589	0,0834
Humidité du SM (%)	74,05	75,2	76,29	0,6505	0,0910
Humidité en % (<i>Longissimus Dorsi</i>)	72,96	75,69	76,02	1,0190	0,1065
Matière Grasse du SM (%)	4,61	3,24	3,86	0,7320	0,4180
pH du muscle SM (0h)	6,52	6,62	6,42	0,1767	0,1391
pH du muscle SM (24h)	5,68	5,75	5,60	0,0125	0,3221
CRE du muscle SM	45,28	47,12	44,12	1,7715	0,5015
CRE (<i>Longissimus dorsi</i>)	25,36	25,94	25,95	2,7187	0,9849

SM: Muscle Semimembraneux. **CRE:** Capacité de rétention d'eau, **SEM:** Erreur standard de la moyenne. **a, b:** Au sein d'une même ligne, les moyennes suivies par des lettres distinctes sont statistiquement différentes avec un risque d'erreur de 5%.

Quand à l'humidité de la viande et sa teneur en matière grasse, on n'a obtenu aucun effet significatif des TC sur ces paramètres (tableau 8). Toutefois, on remarque une tendance à la diminution de la matière grasse de la viande avec l'utilisation des TC (P>0,05, tableau 8). De même, concernant la qualité technologique, les valeurs de pH à 0 et 24 heures post mortem ne montrent aucun effet significatif de l'alimentation contenant des tanins condensés. La viande obtenue avec la ration K10 est la plus acide à 0 et 24 heures comparativement au témoin et la ration K5 (P>0,05, tableau 8). Concernant la viande du *Longissimus dorsi* ou du

Semimembraneuse, on ne constate aucune variation de la capacité de rétention d'eau entre les différents lots tests et témoin (tableau 8).

En ce qui concerne la composition des acides gras (tableau 9), la viande caprine contient en dominance l'acide oléique, palmitique et stéarique et les acides gras désirables (48 à 53%, 21 à 22%, 13 à 17% respectivement, tableau 9). Toutefois, on souligne une amélioration significative de la teneur en acide linoléique C18:2 ω -6c quand les tanins condensés sont apportés avec une quantité élevée (0,14% vs 0,12% respectivement pour K10 et témoin; $P < 0,05$). Les apports modérés de tanins condensés (K5) semblent être insuffisants pour augmenter la teneur en acides gras insaturés. Une teneur en acides gras insaturés inférieure au témoin (K0) est en effet obtenue avec la ration K5 pour l'acide C18:2 ω -6c (respectivement 0,09 vs 0,12%; $P < 0,05$, tableau 9).

Tableau 9: Effet des tanins condensés sur la composition en acides gras (en % des acides gras totaux) de la viande du *Longissimus dorsi* des chevreaux du lot témoin K0 et des lots tests K5 et K10.

Acides gras	K0	K5	K10	SEM	Probabilité
Ac. Myristique (C14)	3,11	2,91	2,87	0,21	0,6985
Ac. Palmitique (C16)	22,02	20,63	21,54	0,97	0,6089
Ac. Stéarique (C18)	13,08 ^b	15,11 ^{ab}	16,99 ^a	0,98	0,0494
Ac. Oléique (C18:1 ω -9)	53,24	48,72	48,15	2,28	0,2654
Ac. Linoléique (C18:2 ω -6c)	0,12 ^{ab}	0,09 ^b	0,14 ^a	0,01	0,0132
Ac. Linoléique (C18:3 ω -3)	0,32	0,59	0,69	0,22	0,4905
Ac. Arachidique (C20)	7,53	10,95	8,35	1,94	0,4538
Ac. Eicosatriénoïque (C20:3 ω -6)	0,32	0,46	1,03	0,38	0,4122
Béhénique (C22)	0,26	0,53	0,23	0,16	0,4202
Acides gras désirables	67,03	64,91	66,54	2,03	0,7465
Ac. Gras Mono- insaturés	53,24	48,72	48,15	2,28	0,2654
Ac. Gras Poly- insaturés	0,71	1,08	1,40	0,47	0,5905
Ac. Gras insaturés (UFA)	53,94	49,78	49,55	2,49	0,4042
Ac. Gras saturés (SFA)	46,06	50,20	50,44	2,49	0,4046
UFA/SFA	1,18	0,99	1,03	0,10	0,4853
ω 3/ ω 6	3,29	2,52	1,52	1,3800	0,6708

ω 3 et ω 6 : respectivement acides gras du groupe oméga 3 et oméga 6. SEM : Erreur standard de la moyenne. a, b : Au sein d'une même ligne, les moyennes suivies par des lettres distinctes sont statistiquement différentes avec un risque d'erreur de 5%.

En générale, l'utilisation des TC dans la ration des chevreaux en croissance engraissement s'accompagne d'une légère amélioration des performances de croissances, de la couleur, de la teneur en protéines particulièrement de l'acide linoléique dans la viande.

4. Discussion

Les performances de croissance des chevreaux s'améliorent avec l'incorporation des tanins condensés dans le concentré à un taux modéré (5% de TC). En effet, on a enregistré un gain de poids entre 90-180 jours et un poids vif à 6 mois d'âge plus élevés par rapport aux rations sans tanins et celle avec 10% de tanins (73,33 g/j, $P < 0,05$) et (18,50 kg, $P < 0,05$) respectivement. Une fois les tanins condensés de la pulpe de caroube contenus dans l'aliment concentré, sont utilisés en quantité élevée (10% de MS) par les chevreaux, l'activité des enzymes digestives se trouve inhibée, induisant la réduction de leur croissance (Vasta et al., 1999; El Otmani et al., 2011). Ce constat peut être justifié par les faibles gains moyens quotidiens (GMQ90-180 de 38 g/j et poids vif en fin de la période d'engraissement (15,22 kg) qui sont enregistrés avec les rations qui contiennent 10% de TC. On note aussi une réduction de l'indice de consommation des chevreaux qui a atteint une valeur de 7,72 quand les tanins condensés sont incorporés avec une dose de 5% de MS, ce qui montre une efficacité de production de viande avec telle dose d'incorporation de tanins condensés dans les rations pour chevreaux en croissance.

La supériorité des performances de croissance des chevreaux ingérant 5% de tanins condensés, paraît être contradictoire avec les valeurs moins élevées de l'indice de muscle et l'indice de conformation des individus ayant reçus les rations à 5% de tanins condensés. Toutefois, on remarque que cette faiblesse peut être qualifiée de très légère et que la différence entre ces indices peut être expliquée par le fait que les carcasses et les cuisses des individus du lot K5 sont plus longues que celles de K10 ce qui handicape l'indice de muscle et de conformation.

La couleur de la carcasse et de la viande ont connu une variation sous l'effet des tanins condensés. En effet, on observe une note de couleur plus intense du gras de couverture des chevreaux (4,49 et 4,15 vs 5,52) qui sont alimentés par 5% et 10% de tanins condensés respectivement, indiquant qu'il y a moins de gras au niveau des selles, milieu du dos et autour de la queue. Ces mêmes individus ont montré des indices renseignant sur une couleur

satisfaisante de la viande de *Longissimus dorsi* qui a enregistré un indice de luminance L* significativement plus élevé et un indice de jaune faible.

En ce qui concerne la qualité diététique, la teneur en protéine de la viande caprine a connu une légère amélioration (+1% de MAT) avec l'utilisation des taux modérés d'incorporation de tanins condensés (27,2 g/jour/chevreau). Tandis que celle-ci diminue avec l'incorporation des taux plus élevés (54 g/jour/chevreau). Ce résultat peut être expliqué par la minimisation des pertes d'azote ammoniacal dans les urines suite à la diminution de la dégradation des acides aminés de la ration sous l'effet de la présence d'une quantité modérée de tanins condensés dans la ration. Des teneurs en protéines légèrement plus élevées variant entre 19,5 et 22,2% sont rapportées par Ding et al. (2010), Werdi Pratiwi et al. (2007), Sen et al. (2004) et El Otmani et al. (2011).

Quand à la composition de la viande en matière grasse, la viande produite sous l'effet des tanins tend à contenir moins de matière grasse. Alors que l'acidité de la viande mesurée sur les carcasses chaudes et après 24 heures d'abattage, ainsi que la capacité de rétention d'eau de la viande de *Longissimus dorsi* ou du muscle Semimembraneux ne montrent aucune différence significative sous l'effet des tanins condensés. Ces résultats sont conformes à ceux de Ding et al. (2010), Sen et al. (2004) et Werdi Pratiwi et al. (2007).

La composition en acides gras de la viande caprine contient en dominance l'acide oléique, palmitique et stéarique et les acides gras désirables. Ce résultat est en accord avec Mahgoub et al. (2002), Santos et al. (2007), Beserra et al. (2004), Werdi Pratiwi et al. (2007), Ding et al. (2010), et Zerrouk et al. (2010). Ce qui est important de souligner ce qu'il y a une amélioration significative de la teneur en acide linoléique C18:2 ω -6c quand les tanins condensés sont apportés avec une quantité élevée (10% de MS). Les apports modérés de tanins condensés (5% de MS) semblent être insuffisants pour protéger complètement certains acides gras insaturés contre la biodégradation et la bio-hydrogénation des chaînes carbonées des acides gras. Une teneur en acides gras insaturés inférieure au témoin est en effet obtenue avec une dose de tanins condensés faible (5% de MS). Alors que l'apport ad libitum de concentré contenant 10% de tanins condensés explique l'obtention de la teneur élevée en acide linoléique C18:2 ω -6c (0,48%; Vasta et al., 1999). El Otmani et al. (2011) ont aussi rapporté une augmentation significative de la teneur en acide linoléique en incorporant du lupin qui contient 0,075% des alcaloïdes qui sont aussi des composés

phénoliques comme les tanins condensés. La teneur en acide oméga 3 qui est un acide gras essentiel fortement recommandé dans la nutrition grâce à ces bienfaits sur la santé humaine et aussi l'acide gras oméga 6, ont plus que doublé dans la viande du *Longissimus dorsi* avec l'apport élevée de tanins condensés (10% de MS).

A la lumière des résultats obtenus dans ce chapitre, on peut dire que l'utilisation d'un taux modéré de tanins condensés (5% MS de l'aliment concentré) dans l'alimentation des chevreaux en phase de croissance engraissement s'accompagne d'une amélioration du poids à l'abattage, du gain moyen quotidien, de l'indice de consommation, de la luminosité de la viande du *Longissimus dorsi*, et de la teneur protéique de la viande. Parmi les acides gras désirables, l'acide linoléique dans la viande s'améliore, surtout quand on apporte une dose élevée de tanins condensés (10% MS de l'aliment concentré).

5. Conclusion

Une consommation modérée de tanins condensés fournit une viande plus maigre avec plus de teneur en protéines. Mais, sans aucun changement dans la qualité technologique (pH, texture). Cependant, la quantité des acides gras souhaitables s'améliore quand un taux élevé de tanins condensés est distribué dans l'alimentation en concentré. Les tanins condensés existent dans la plupart des plantes et sous-produits agricoles, en particulier dans les arbustes fourragers pastoraux les plus consommés par les caprins (Ayadi et al., 2010). Par conséquent, une forte consommation de tanins condensés sur ces pâturages pourrait se produire. Cela confirme la bonne qualité en acides gras de la viande caprine produite sur ces espaces. Toutefois, cette qualité est obtenue en dépit de la digestibilité de la matière sèche ingérée de ces aliments, ce qui entraîne une diminution de la productivité en poids des chevreaux (Chentouf et al., 2006). Développer une technique pour améliorer la digestibilité de la matière ingérée sur parcours en préservant, en même temps, la qualité de composition en acides gras de la viande peut augmenter le revenu de l'élevage caprin dans les zones de montagne où l'alimentation animale est basée sur les parcours forestiers.

CHAPITRE 3: EFFET DE POLYETHELENE GLYCOL SUR LA PRODUCTION ET LA QUALITE DU LAIT DE CHEVRE.

1. Contexte de la recherche

La conduite alimentaire est un facteur déterminant dans la variation de la qualité du lait. La présence des TC dans l'alimentation des caprins a des effets controversés sur la qualité du lait et de la viande en fonction de leur concentration dans la ration alimentaire. Dans le chapitre I, les résultats obtenus sur l'utilisation des tanins condensés avec une proportion élevée dans la ration alimentaire chez la chèvre en lactation a montré une nette amélioration significative de la composition du lait en acides gras désirables (Ayadi et al., 2013). Ces derniers sont bien connus par leur bienfait nutritionnel et diététique pour l'homme.

Toutefois, cette amélioration s'accompagne avec une diminution de la quantité du lait produit suite à une importante diminution de l'activité microbienne et de la digestion des acides aminés au niveau de l'intestin (Ayadi et al., 2012). Ce dernier résultat est confirmé par Silanikove et al. (1996), Ben Salem et al. (1997), Chilliard et al. (2000), Chouinard et al. (2001), Makkar (2003), Min et al. (2003), Ramírez-Restrepo et Barry (2005). Certaines études ont rapportés que les polyéthylènes glycols (PEG) atténuent l'action anti-digestive des tanins condensés, ce qui pourrait améliorer quantitativement la production laitière et éventuellement préserver sa qualité. De même, les travaux menés principalement sur bovin et ovins rapportent que la désactivation des tanins condensés par les PEG peut augmenter le rendement laitier et sans pour autant affecter la teneur du lait en matières grasses et protéines. Toutefois, l'application de cette technique aux caprins, mérite d'être entreprise.

L'objectif de ce travail est de déterminer la dose appropriée de PEG qu'il faut administrer aux chèvres en période de lactation quand le concentré alimentaire distribué est riche en tanins condensés et d'étudier son effet sur la production et la qualité du lait de chèvre locale du nord du Maroc.

2. Matériel et méthodes

Conduite expérimentale

Ce travail étudie l'effet sur la production et la qualité du lait de chèvre, de trois niveaux de concentrations de polyéthylène glycol 4000 PM (PEG) sous forme de solution d'eau (100/75

– p/v) par voie orale administré 1 fois par jour à des chèvres en lactation qui reçoivent une ration alimentaire contenant une teneur élevée de tanins condensés qui est apportée sous forme de pulpe de caroube.

Pour ce faire, 21 chèvres locales de la population nord du Maroc en période de lactation (du 4^{ème} au 11^{ème} jour de lactation) sont réparties en trois lots homogènes en poids corporel (37,5 kg \pm 1,23) et en production laitière (1,020 kg \pm 0,05). Les chèvres dans chaque lot ont reçu un régime de concentré qui apporte (1,36 UFL et 127g PDI par chèvre/jour) qui contient de la pulpe de caroube (*Ceratonia siliqua*) avec une proportion de 50% de MS de la ration, soit un taux d'incorporation de tanins condensés de la ration de 10% MS (tableau 10). Ce régime est constitué en outre de la féverole (30%) et du son de blé (20%). Dans le lot témoin (lot OPEG) aucune administration de PEG n'est apportée alors que les chèvres des lots (20PEG) et (40PEG) ont reçu quotidiennement par voie buccale 20 et 40 g de PEG en solution par chèvre respectivement (tableau 10). L'aliment grossier de base a été constitué du foin d'avoine (1 kg/chèvre/jour).

Tableau 10: Composition nutritive du concentré alimentaire des lots des chèvres tests (20PEG, 40PEG) et témoins (OPEG).

Composition de l'aliment	OPEG	20PEG	40PEG
Féverole	30	30	30
Son de blé	20	20	20
Pulpe caroube	50	50	50
MS ingérée (g/tête/jour)	746	747	749
Matière sèche (%)	97,4	98,4	98,3
Tannins condensés ingérés (g/jour)	75	75	75
Matière organique (g)	461	480	501
Protéines (g)	98,3	100,1	101,2
Extrait Ethéré (g)	8,9	8,8	9,1
Fibre brute (g)	65,3	67,1	69,1
Acides gras* désirables (DFA)	32,33	31,44	32,25
Ac. Gras insaturés (UFA)	29,68	29,29	29,82
Ac. Gras Polyinsaturés (PUFA)	0,31	0,29	0,30
Ac. Gras saturés (SFA)	72,23	70,37	71,08

(* Les acides gras sont exprimés en % des acides gras totaux).

Mesures et analyse qualitative

La production laitière individuelle par 24 heures a été estimée par des contrôles hebdomadaires depuis la mise bas jusqu'au 3ème mois de lactation. En parallèle, des échantillons de lait de 500 g sont prélevés pour effectuer des analyses sur la composition physico-chimique et la proportion des acides gras du lait. Dans ce sens, nous avons procédé à l'analyse de la composition chimique, principalement, les teneurs en protéine, lactose, matière grasse, extrait sec dégraissé et non dégraissé sont effectuées à l'aide de l'analyseur du lait Milkoscan. L'analyse physico-chimique (pH, teneur en acide lactique et teneur en cendres) sont déterminés selon les méthodes AOAC (1997).

Afin de déterminer la composition du lait en acides gras, les acides gras C2 à C24 ont été extraits et estérifiés par la méthode de Folch et al. (1957) et estérifié selon Christie (1993). Les esters d'acides gras ont été déterminés par chromatographie en phase gazeuse (Varian CP3800) qui est équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) et d'une colonne capillaire (SPTM-2560, 100m x 0.25mm ID, 0.20 µm film) avec l'hélium comme gaz porteur (1.5ml/mn). La température de l'étuve a été programmée à 50°C (durant 2 min) à 240°C (8°C/min) et celle du FID à 250°C. La surface des pics des acides gras individuels (FAME's) a été identifiée par comparaison au temps de rétention d'un standard des acides gras (C4-C24, Sigma-Aldrich). Les acides gras individuels ont été quantifiés comme le pourcentage de la surface totale des acides gras totaux identifiés.

Analyse statistique

Pour les différents paramètres étudiés, l'analyse de la variance, la comparaison multiple des moyennes et le calcul de l'erreur standard des moyennes sont réalisés selon le modèle ($Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$ (Y_{ij} : variable dépendante, μ : la moyenne générale, α_i : le traitement (dose de PEG), ϵ_{ij} : erreur résiduelle) en utilisant la procédure GLM "Modèle Général Linéaire" du logiciel d'analyse statistique SAS (2004). Les différences entre les valeurs moyennes ont été testées en utilisant le test LSD "Last Square Déviation".

3. Résultats

Production laitière

La production laitière varie significativement avec la dose de PEG apportée aux chèvres ($P < 0,05$, tableau 11). D'après la figure 6, la production laitière moyenne par chèvre

augmente avec l'apport de la faible dose de PEG; alors qu'elle diminue avec l'utilisation des doses plus élevées (1064,0 et 780,2 vs 809,0 g/jour respectivement pour 20PEG, 40PEG et OPEG, $P < 0,05$). La supériorité de production laitière des chèvres 20PEG est observée durant presque toute la période de lactation (figure 6) avec un pic de production laitière moyenne de 1400 g/chèvre qui est enregistré en milieu du deuxième mois de la période de lactation. Les chèvres 40PEG ont réalisé une production laitière moyenne inférieure à celle de témoin surtout à partir du 45^{ème} jour de lactation.

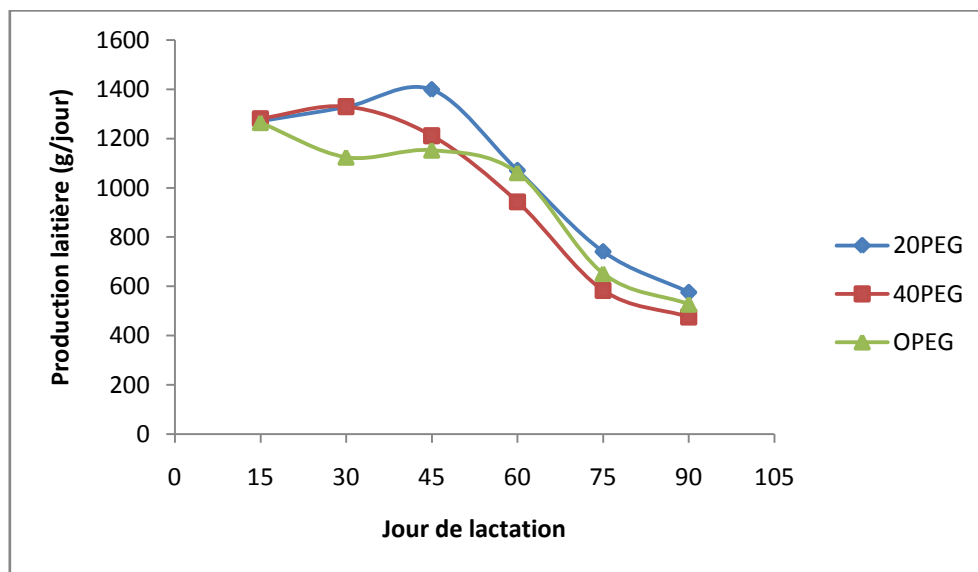


Figure 6: Evolution de la production laitière par chèvre sous l'effet des PEG.

Composition physico-chimique du lait

L'administration des PEG aux chèvres recevant un complément alimentaire concentré avec un taux de TC de 10% MS induit une diminution significative de la teneur du lait en matière Grasse, matières protéiques, extrait sec dégraissé et extrait sec. En effet, les traitements 40PEG et 20PEG ont enregistré des teneurs significativement moins élevées que le traitement contrôle pour la matière grasse, protéines, extrait sec dégraissé et extrait sec (3,84 et 3,68 vs 4,22% ; 3,21 et 3,50 vs 3,80% ; 8,79 et 8,98 vs 9,42% ; 12,63 et 12,67 vs 13,64 respectivement).

La teneur en protéine est très influencée par le traitement PEG. En effet, le lait test présente une teneur significativement diminuée en protéine par rapport aux témoins (3,21% et 3,50% vs 3,80% respectivement pour 40PEG, 20PEG et OPEG; $P < 0,05$). Cette diminution de la teneur en protéine s'amplifie avec l'augmentation de la concentration de PEG administré.

La diminution de l'extrait sec du lait, en réponse à l'administration de PEG, est plus importante que les autres paramètres ($P < 0.01$). La teneur du lait en extrait sec dégraissé présente aussi une diminution significative ($P < 0,05$). A propos de ces deux paramètres et à propos des protéines et de la matière grasse, on remarque que leurs teneurs diminuent avec l'augmentation de la dose de PEG administrée aux chèvres. Ce qui montre que l'utilisation des doses élevées de PEG par les chèvres dévalorise la qualité du lait en termes de la composition chimique.

L'utilisation de PEG n'a pas d'effet significatif sur la teneur du lait en acide lactique exprimé en degré Dornic (tableau 11). On note toutefois, une légère augmentation non significative des valeurs de degré Dornic comparativement au témoin (22,95 à 23,73 et 23,95 respectivement pour OPEG, 20PEG et 40PEG). Ce résultat est en accord avec les valeurs du pH qui ont enregistré une légère diminution pour le lait PEG par rapport au témoin (6,43 et 6,49 vs 6,58 respectivement pour 20PEG, 40PEG et OPEG, $P < 0,05$).

Malgré que la teneur en lactose diminue avec la dose de PEG utilisée, le résultat obtenu ne montre aucun effet de l'administration des différents niveaux de PEG sur la teneur en lactose du lait des chèvres alimentées par une ration contenant des tanins condensés.

Tableau 11: Effet de l'apport de polyéthylène glycol (PEG) à un complément concentré contenant 10% MS de tanins condensés sur la composition chimique du lait de chèvre.

	OPEG	20PEG	40PEG	SEM	Probabilité
PL individuelle (kg/24 h)	0,809 ^{ab}	1,064 ^a	0,780 ^b	95,5973	0,0444
PL (kg/chèvre/lactation)	72,81 ^b	95,76 ^a	70,21 ^c	0,0380	<0,0001
Matière grasse (%)	4,22 ^a	3,68 ^b	3,84 ^b	0,1212	0,0253
Matière protéique (%)	3,80 ^a	3,50 ^{ab}	3,21 ^b	0,1282	0,0234
Lactose (%)	4,84	4,63	4,77	0,0605	0,0809
Extrait sec dégraissé (%)	9,42 ^a	8,98 ^b	8,79 ^b	0,1469	0,0281
Extrait sec (%)	13,64 ^a	12,67 ^b	12,63 ^b	0,2141	0,0094
Degré Dornic*	22,95	23,73	23,95	0,6353	0,5091
Cendres (% du poids)	0,66	0,69	0,71	0,0270	0,4223
pH	6,58 ^a	6,43 ^b	6,49 ^{ab}	0,0387	0,0276

a et b : au sein d'une même ligne, les valeurs suivies des lettres distinguées sont statistiquement différentes à 5%. **SEM** : Standard erreur de la moyenne. * 1unité degré Dornic est équivalent à 0,1g d'acide lactique.

Profil des acides gras du lait

L'analyse de résultat sur la base de la famille des acides gras (tableau 12 et figure 7) montre que l'administration de 20 g de PEG/jour/chèvre conduit à une amélioration très hautement significative de la teneur en acide gras insaturés par rapport au témoin (37,03% vs 21,43% respectivement, $P < 0,001$).

Tableau 12 : Effet de l'apport de polyéthylène glycol (PEG) à un complément concentré contenant 10% MS de tanins condensés sur les groupes d'acides gras du lait de chèvre (%).

Acides gras	OPEG	20PEG	40PEG	SEM	Probabilité
Ac. gras désirables	38,75 ^b	46,56 ^a	44,13 ^{ab}	2,1200	0,0326
Ac. gras insaturés	21,43 ^b	37,03 ^a	32,50 ^a	1,7306	0,0000
Ac. gras mono-insaturés	12,43 ^c	26,15 ^a	20,18 ^b	1,5490	0,0000
Ac. gras polyinsaturés	8,99	10,87	12,31	1,0074	0,0696
Ac. gras saturés	78,57 ^a	62,96 ^b	67,49 ^b	1,7306	0,0000
Ac. gras à chaîne longue	74,85 ^a	74,59 ^a	62,01 ^b	0,3507	0,0000
Ac. gras à chaîne moyenne	20,95 ^b	21,53 ^b	32,87 ^a	1,8947	0,0000
Ac. gras à chaîne courte	4,20 ^b	3,88 ^a	5,12 ^a	1,6252	0,0386
Ac. gras de type $\omega 3$	3,2	4,16	4,39	0,4220	0,1121
Ac. gras de type $\omega 6$	4,63	5,44	6,23	0,7812	0,3573
$\omega 3/\omega 6$	0,69	0,76	0,70	0,5435	0,6993

$\omega 3$ et $\omega 6$: respectivement ac. gras de type $\omega 3$ et $\omega 6$. **a, b et c**: au sein d'une même ligne, les valeurs suivies des lettres distinguées sont statistiquement différentes à 5%. **SEM**: Standard erreur de la moyenne.

Les acides gras désirables et les acides mono-insaturés ont aussi connu une amélioration avec le traitement 20PEG comparativement au traitement OPEG, soit respectivement 46,56% vs 38,75% ($P < 0,05$) et 26,15 vs 12,43 ($P < 0,001$). De même, on note que l'apport de 20PEG protège les acides gras contre la saturation plus que le traitement 40PEG. En effet, la proportion des acides gras saturés du lait a diminué beaucoup plus quand les chèvres reçoivent la dose 20PEG que 40PEG (62,96% vs 67,49% et 78,57% respectivement pour le traitement 20PEG, 40PEG et OPEG, $P < 0,001$).

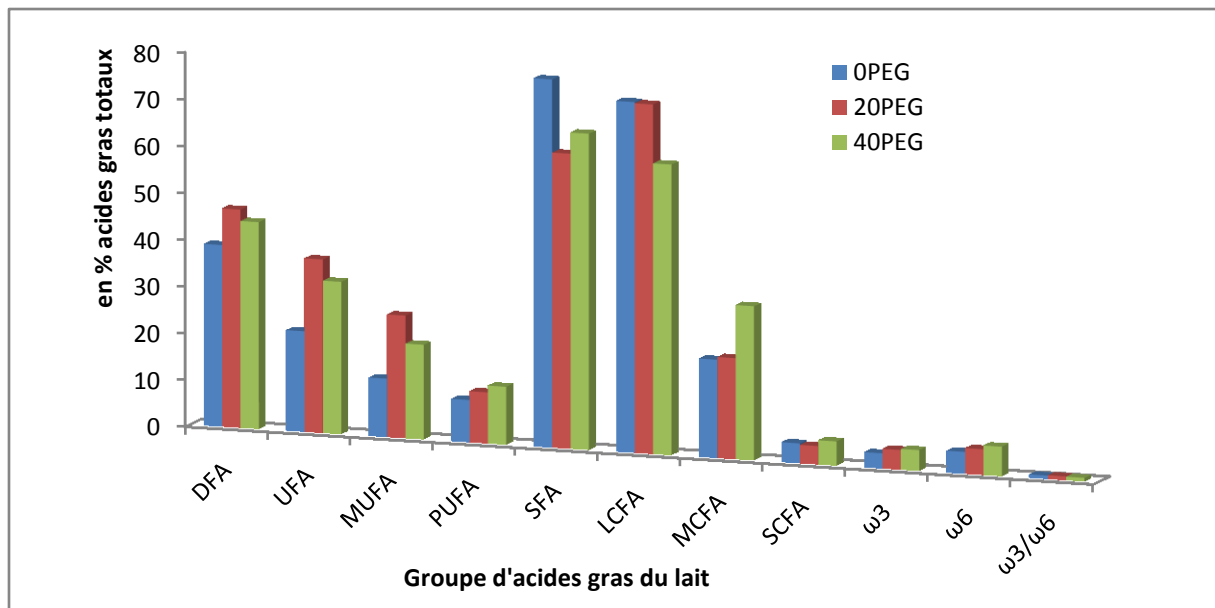


Figure 7: Effet de l'apport de polyéthylène glycol (PEG) à un complément concentré contenant 10% MS de tanins condensés sur les groupes d'acides gras du lait de chèvre (%). [DFA : ac. gras désirables, UFA : ac. gras insaturés, MUFA : ac. gras monoinsaturés, PUFA : ac. Gras polyinsaturés, SFA : ac. gras saturés, LCFA: ac. Gras à chaîne longue, MCFA : ac. Gras à chaîne moyenne, SCFA : ac. Gras à chaîne courte. ω3 et ω6: respectivement ac. gras de type ω3 et ω6.]

Le traitement 40PEG semble avoir un effet positif sur certains acides gras en augmentant leur teneur dans le lait, en particulier, l'acide γ-linolénique (C18:3 ω-6), eicosatriénoïque (C20:3 ω-6), érucique (C22:1 ω-9) et le nervonique (C24:1) (Tableau 13). Cependant, ce traitement fait baisser la production laitière (1064,0 contre 780,2 et 809,0 g lait/jour respectivement pour 20PEG, 40PEG et OPEG, P<0,05) par rapport au témoin et améliore de façon moins importante la teneur en DFA et UFA du lait (tableau 12).

Malgré l'absence d'effet significatif de l'apport de PEG sur la teneur en acides gras de la famille d'oméga 3 et oméga 6, on remarque une augmentation plus élevée de ces groupes d'acides gras dans le cas du traitement 20PEG et 40PEG (respectivement 30% et 37% d'augmentation par rapport au témoin). Par conséquent, le ratio ω3/ω6 montre aussi une augmentation non significative dans le lait des chèvres traitées par le PEG comparativement aux non traitées (0,76; 0,70 et 0,69 respectivement pour 20PEG et 40PEG, et OPEG, P>0,05).

La composition détaillée en acides gras du lait, montre que le lait des chèvres appartenant au lot contrôle contient en dominance l'acide palmitique (30,31%), stéarique (17,33%). La dominance de ces acides gras reste valable dans le lait produit avec l'ajout de PEG, mais cette fois-ci avec une variation dans les proportions. Ce qu'il faut souligner à ce niveau qu'en

Tableau 13 : Effet de PEG sur la composition en acides gras du lait de chèvre recevant un complément concentré contenant 10% MS de tanins condensés (%).

Acides gras	OPEG	2OPEG	4OPEG	SEM	Probabilité
Butyrique (4)	0,54	0,52	0,72	0,0654	0,0590
Caproïque (C6)	1,42 ^{ab}	1,31 ^b	1,76 ^a	0,1264	0,0389
Caprylique (C8)	2,23	2,04	2,64	0,1973	0,1010
Caprique (C10)	8,30 ^b	8,33 ^b	11,20 ^a	0,7587	0,0101
Undécanoïque (C11)	0,17 ^b	0,16 ^b	0,49 ^a	0,0497	0,0001
Laurique (C12)	3,16 ^b	3,620 ^b	5,40 ^a	0,3325	0,0001
Tridecanoïque (C13)	0,52 ^a	0,10 ^b	0,73 ^a	0,1014	0,0001
Myristique (C14)	7,95 ^b	8,73 ^b	13,94 ^a	0,8312	0,0001
Myristoléique (C14:1)	0,85 ^{ab}	0,58 ^b	1,11 ^a	0,1439	0,0409
Pentadécanoïque (C15)	1,21	0,99	0,97	0,1308	0,3546
Cis10 pentadécanoïque (C15:1)	0,39 ^b	2,52 ^b	0,77 ^a	0,5732	0,0230
Palmitique (C16)	30,31 ^a	22,24 ^b	10,76 ^c	1,62943	0,0001
Palmitoléique (C16:1)	0,75 ^b	0,66 ^b	1,31 ^a	0,1202	0,0003
Heptadécanoïque (C17)	1,17 ^{ab}	0,82 ^b	1,32 ^a	0,1443	0,0474
Cis 10heptadécanoïque (C17:1)	2,29	0,54	0,88	0,6559	0,1404
Stearique (C18)	17,33 ^a	9,53 ^b	11,63 ^b	1,61971	0,0029
Trans 9 elaidique (C18:1 ω-9t)	4,20 ^c	17,95 ^a	9,10 ^b	1,49500	0,0001
Cis 9 oleique (C18:1 ω-9c)	1,08	1,12	1,61	0,2949	0,3606
Linolélaïdique (C18:2 ω-6t)	0,74	2,16	1,04	0,5639	0,1758
Linoléique (C18:2 ω-6c)	0,92	1,08	1,34	0,3218	0,6578
γ - linoléique (C18:3 ω-6)	1,75 ^{ab}	1,39 ^b	2,05 ^a	0,1896	0,0481
Arachidique (C20)	1,11 ^b	0,60 ^c	1,36 ^a	0,0849	0,0001
Cis 11 eicosenoïque (C20:1)	1,02	0,69	0,94	0,1038	0,0788
α- linoléique (C18:3 ω-3)	1,05 ^a	0,68 ^b	0,69 ^b	0,0639	0,0001
Hénéicosanoïque (C21)	0,8 ^{ab}	0,32 ^b	1,24 ^a	0,2508	0,0389
Eicosadienoïque (C20:2)	0,46	0,47	0,63	0,0828	0,2237
Behénique (C22)	0,63 ^{ab}	0,45 ^b	0,80 ^a	0,0874	0,0199
Eicosatrienoïque (C20:3 ω-6)	0,50 ^b	0,35 ^b	0,98 ^a	0,1067	0,0002
Erucique (C22:1 ω-9)	0,88 ^a	0,39 ^b	1,20 ^a	0,1231	0,0001
Eicosatrienoïque (C20:3 ω-3)	0,84 ^b	1,29 ^a	0,89 ^b	0,1081	0,0062
Arachidonique (C20:4 ω-6)	0,70	0,45	0,80	0,1361	0,1639
Tricosanoïque (C23)	0,55 ^b	0,92 ^a	0,93 ^a	0,1009	0,0111
Docosadienoïque (C22:2)	0,70	0,81	1,06	0,1390	0,1724
Lignocérique (C24)	1,14	2,28	1,58	0,3413	0,0660
Nervonique (C24:1)	0,96 ^b	1,69 ^b	3,24 ^a	0,4070	0,0005
Docosahexaénoïque (C22 :6 ω-3)	1,31 ^{ab}	2,19 ^a	0,98 ^b	0,3789	0,0233

a, b et c : au sein d'une même ligne, les valeurs suivies des lettres distinguées sont statistiquement différentes à 5%. *SEM* : Standard erreur de la moyenne.

réponse au traitement par les PEG, on note une diminution significative des acides gras saturés en particulier l'acide palmitique et stéarique (tableau 13).

Le traitement des chèvres avec du PEG quand elles reçoivent une alimentation riche en tanins condensés a un effet positif sur la composition en acides gras insaturés (tableau 13). En effet, l'administration journalière d'une dose de PEG de 20 g/chèvre conduit à une amélioration de la teneur en acide gras insaturés, principalement, pentadécanoïque (C15:1), élaidique (C18:1 ω -9), eicosatriénoïque (C20:3 ω -3), docosahexénoïque (C22:6 ω -3) et linolélaïdique (C18:2 ω -6) par rapport au témoin avec respectivement 2,52% vs 0,39% ($P < 0,05$), 17,95% vs 4,20% ($P < 0,001$), 1,29% vs 0,84% ($P < 0,01$), 2,19% vs 1,31% ($P < 0,05$) et 2,16% vs 0,74% ($P < 0,05$). Les augmentations significativement les plus élevées sont observées pour l'acide pentadécanoïque (C15:1), élaidique (C18:1 ω -9) et Linolélaïdique (C18:2 ω -6) dans le lait 20PEG (546%, 327% et 192% d'augmentation par rapport à 0PEG).

Quand la dose de PEG administrée est plus élevée (40 g/chèvre/jour), on remarque, que les acides gras insaturés augmentent en nombre par rapport à la dose 20PEG et témoin. En effet, on note respectivement une augmentation de la teneur en acide myristoléique (C14:1) avec 1,11% vs 0,58% et 0,85% ($P < 0,05$), palmitoléique (C16:1) avec 1,31% vs 0,66% et 0,75% ($P < 0,001$), γ -linoléinique (C18:3 ω -6) avec 2,05% vs 1,39% et 1,75% ($P < 0,05$), eicosatriénoïque (C20:3 ω -6) avec 0,98% vs 0,35% et 0,50% ($P < 0,001$), erucique (C22:1 ω -9) avec 1,20% vs 0,39% et 0,88% ($P < 0,001$) et nervonique (C24:1) avec 3,24% vs 1,69% et 0,96% ($P < 0,001$).

Par conséquent, on peut dire que les acides gras insaturés du lait des chèvres qui s'alimentent à base d'une ration riche en tanins condensés comme agent contre la biohydrogénation des acides gras insaturés, augmente en nombre avec l'apport de 40 g de PEG/jour/chèvre que 20 g de PEG et le témoin sans apport de PEG (un nombre de 6 vs 4 et 1 AGI respectivement).

La teneur de l'acide γ -linoléinique (C18:3 ω -6) a significativement augmenté sous l'influence du traitement par le PEG. On note ainsi une hausse de 17% dans le groupe 40PEG par rapport au témoin (2,05% vs 1,75% respectivement ; $P < 0,05$). Par contre, la teneur en α -linoléinique (C18:3 ω -3) a très significativement diminué dans les groupes traités par le PEG (0,69% et 0,68% vs 1,05% respectivement pour 40, 20 et 0 PEG, $P < 0,001$).

4. Discussion

Production laitière

Durant les trois premiers mois de lactation, la production laitière moyenne par chèvre augmente avec l'apport de 20 g de PEG (+31,5%) et elle diminue quand la dose est doublée. Ceci montre que l'administration d'une dose de PEG de 20g/chèvre/jour est suffisante pour désactiver partiellement les tanins condensés contenu dans le concentré alimentaire ce qui favorise en partie l'activation des enzymes digestives et améliore ainsi la production laitière.

Au contraire, la dose élevée de PEG bloque totalement les tanins condensés alimentaire en diminuant l'efficacité de l'utilisation digestive de la ration alimentaire par l'animale. En effet, la quantité de tanins condensés piégées par les PEG constitue ainsi une masse de matière sèche de l'aliment qui est indigestible ce qui rend la ration plus encombrante et par conséquent moins digestive. Ce résultat est conforme à celui rapporté par Gilboa et al. (2000) qui ont obtenu une augmentation de production laitière de 43% avec un faible apport en PEG de 10 g/jour/chèvre. Mais, la production rapportée par ces auteurs reste inférieure à celle qu'on a enregistré avec 20PEG (915 vs 1064 g/jour respectivement).

Composition physico-chimique du lait

Le traitement des chèvres en lactation par 20PEG et 40PEG après l'ingestion de 10%MS de tanins condensés alimentaire a engendré une diminution significative de la qualité nutritive du lait, particulièrement la teneur en matières grasses, matières protéiques, extrait sec dégraissé et extrait sec. Gilboa et al. (2000) ont aussi constaté une chute de 10% de la teneur en MG avec l'apport de PEG. Cabiddu et al. (2009) ont montré que la supplémentation quotidienne du régime alimentaire par 200 ml (50/50 m/v) du PEG, provoque une diminution du contenu en matière grasse. Suite à l'utilisation du PEG, des résultats similaires à notre résultat ont été obtenus par Decandia et al. (2000, 2008), chez les chèvres nourries avec du Lentisque (*Pistacia lentiscus*). La chute observée dans la teneur en MG est due probablement à la proportion élevée de proanthocyanidines contenue dans de la pulpe de caroube. En effet, ce type de tanins diminue la digestibilité de la matière sèche beaucoup plus que les autres fractions de tanin (Hagerman et al., 1992). En outre, les proanthocyanidines sont souvent plus toxiques pour certaines bactéries du rumen (Mueller-Harvey et al., 1988). Ce résultat peut être avantageux dans le sens d'obtenir naturellement des produits laitiers ayant une teneur moins élevée en matière grasse.

La teneur en protéine du lait est significativement influencée par le traitement PEG. Le lait test présente en effet, une teneur significativement moins élevée en protéine par rapport aux témoins. Cette diminution s'amplifie avec l'augmentation de la concentration de PEG administré. Ce résultat ne concorde pas avec celui obtenu par Gilboa et al. (2000) qui rapportent que ce paramètre n'est pas affecté par les PEG. La diminution des protéines dans le lait suite à l'utilisation du PEG, peut être attribuée à une dégradation accrue des protéines dans le rumen réduisant ainsi leur concentration dans le lait. En fait, l'ajout de PEG favorise la formation des complexes PEG-tanins condensés empêchant en même temps la formation des complexes tanins condensés-protéines, ce qui provoque une disponibilité des nutriments (protéines) dans le rumen et par conséquent leur dégradation intense par la flore microbienne.

Toutefois, il paraît que les faibles apports de PEG (10 g/jour/chèvre) n'engendrent pas de différence significative de la teneur en matière grasse et matière protéique du lait chez la chèvre (Lassoued et al., 2006). De même, Cabiddu et al. (2009) ont rapporté que la teneur en protéine du lait n'a pas été affectée par l'administration du PEG aux chèvres.

Les PEG dévalorise la matière sèche du lait et sa qualité chimique. En effet, la teneur du lait en extrait sec et en extrait sec dégraissé a connu aussi une diminution suite à l'administration de PEG. Comme pour les protéines et de la matière grasse, l'extrait sec et l'extrait sec dégraissé diminuent avec l'augmentation de la dose de PEG administrée aux chèvres.

La teneur du lait en acide lactique ne montre aucune variation sous l'effet de PEG. Les augmentations en acide lactique obtenues en degré Dornic sont, en effet, indicatrices d'une légère acidification non significative du lait qui est peut être liée à la température ambiante élevée lors de la prise des mesures. Ce qui indique que les PEG ne modifient pas la stabilité de l'activité microbiologique du lait au cours de la conservation. Ce résultat est approuvé par l'acidité mesurée par unité de pH, qui a enregistré une légère diminution du pH du lait PEG.

Malgré que la teneur en lactose diminue avec la dose de PEG utilisée, on ne note aucune différence significative entre les teneurs en lactose suite à l'utilisation des deux niveaux de PEG. Ce résultat concorde avec celui de Gilboa et al. (2000) qui ont montré que le traitement avec du PEG n'affecte pas le contenu en lactose.

Profil des acides gras du lait

L'administration de 20 g de PEG/jour/chèvre conduit à une amélioration de la teneur en acide gras insaturés. Les acides gras désirables et les acides mono-insaturés ont aussi connu une amélioration avec le traitement 20PEG. De même, on note que l'apport de 20PEG favorise plus que le traitement 40PEG, la protection des acides gras contre la saturation.

Le traitement 40PEG a fait augmenter la teneur de certaines acides gras à chaîne longues du lait des chèvres tests (C18:3 ω -6, C18:2 ω -6c; C20:3 ω -6, C18:1 ω -9 et C24:1). Toutefois, on observe que le traitement 40PEG diminue la production laitière et améliore de façon moins importante la teneur en acides gras désirables et acides gras insaturés.

Ces résultats concordent bien avec ceux de Getachew et al. (2000), Turner et al. (2005), Addis et al. (2005) et Cabiddu et al. (2009) qui ont rapporté des améliorations en acides gras insaturés et à chaînes longues similaires suite à l'apport de PEG.

Le rapport des acides gras ω 3 et ω 6 a montré une amélioration non significative dans le lait des chèvres traitées par le PEG. Ce résultat concorde bien avec celui de Cabiddu et al. (2009) et Turner et al. (2005) qui ont rapporté aussi une augmentation de ce ratio (ω 3/ ω 6) suite à l'utilisation des PEG. La valeur de ce rapport est inférieure à 5 ce qui est conforme aux consignes de l'agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA).

Sur la base des résultats obtenus en termes de groupes d'acides gras, le traitement 20PEG semble être plus recommandable pour traiter les chèvres qui se nourrissent avec des ressources alimentaires contenant des tanins condensés à dose plus au moins élevée.

L'analyse détaillée de la composition en acides gras du lait de chèvre a montré que l'apport de 20PEG et 40PEG provoque une diminution significative de ces acides saturés, particulièrement, l'acide palmitique et stéarique ce qui contribue à diminuer les acides gras saturés du lait et améliore par conséquent la qualité du lait produit avec les PEG. Ceci peut être expliqué par le fait que le PEG favorise la dégradation du palmitique et du stéarique ou il se fixe sur ces deux acides. Aussi, l'administration journalière d'une dose de PEG de 20 g/chèvre conduit à une amélioration de la teneur en acide gras insaturés, principalement, pentadécanoïque (C15:1), élaidique (C18:1 ω -9), eicosatriénoïque (C20:3 ω -3), docosahexénoïque (C22:6 ω -3) et linolélaïdique (C18:2 ω -6). A souligner que les acides insaturés principalement l'acide pentadécanoïque (C15:1), élaidique (C18:1 ω -9) et

linolélaïdique (C18:2 ω -6t) sont les acides qui ont enregistré l'augmentation la plus élevée dans le lait et ceci avec l'apport de 20PEG. Ce résultat ne concorde pas avec celui de Cabiddu et al. (2009) qui ont annoncé une diminution de -37% du contenu en acide docosahexaénoïque en utilisant 200 ml d'une solution aqueuse de PEG (50/50 p/v). Le nombre des acides gras insaturés du lait des chèvres est plus élevé avec l'apport de 40PEG que 20PEG et 0PEG. En effet, on note exceptionnellement une augmentation de la teneur en acide myristoléique (C14:1), palmitoléique (C16:1), γ -linoléique ALA (C18:3 ω -6), éicosatriénoïque (C20:3 ω -6), érucique (C22:1 ω -9) et nervonique (C24:1).

Ce résultat concorde bien avec celui de Getachew et al. (2000), qui ont obtenu une augmentation des acides gras à courtes chaîne suite à l'addition de PEG dans un système de fermentation *in vitro* d'aliments riche en tanins. Cependant, il est différent de celui de (Cabiddu et al., 2009) qui n'ont rapporté aucune influence de PEG sur la teneur en acides gras à chaîne courtes et intermédiaire dans le lait de vaches. Turner et al. (2005) ont signalé la seule augmentation de C7 dans le lait de brebis, alors que, Addis et al. (2005) ont signalé une augmentation de Cis 10heptadécanoïque (c-10 C17:1).

Cependant, la teneur en α -linoléique (C18:3 ω -3) a connu une diminution significative dans le lait des groupes PEG. L'étude menée par (Cabiddu et al., 2009) ont également montré une diminution de -30% de l'acide α -linoléique suite à l'utilisation de PEG. Ceci peut être expliqué par le fait que les acides gras ω 3 sont les premiers à être biohydrogénéer lors de la fermentation ruminale.

5. Conclusion

Un apport d'une dose de PEG de 20 g/jour/chèvre par voie buccale aux chèvres recevant une ration alimentaire avec une incorporation d'un taux de tanins condensés de 10% MS de complément en concentré s'est montré suffisante pour atténuer l'effet anti-digestif de ces tanins. Il a pu moduler la bio-hydrogénation ruminale, modifier le métabolisme lipidique à travers l'inactivation des tanins et permettre par conséquent de produire plus du lait (+31%) avec une composition en acides gras désirables et insaturés, en particulier les ω 3 et ω 6, plus élevée que le lait contrôle (DFA:+20%, UFA: +72%, MUFA: +110%).

Le traitement 40 g de PEG/jour/chèvre semble avoir un effet positif surtout sur les acides gras à chaîne moyenne et courte en augmentant leur teneur dans le lait. Cependant, ce

traitement fait baisser la production laitière par rapport au témoin (-3,6%) et améliore de façon moins importante la teneur des acides gras désirable, des acides gras insaturés, des acides gras mono-insaturés et des acides gras à chaîne longues.

Dans le cas des élevages caprins utilisant des ressources alimentaires riches en tanins, l'apport de 20 g de PEG /jour/chèvre par voie orale peut contribuer à améliorer la valeur nutritionnelle du lait et aussi sa production.

CHAPITRE 4: EFFET DE POLYETHELENE GLYCOL SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALITE DE LA VIANDE DE CHEVREUX.

1. Contexte de la recherche

La pulpe de caroube est parmi les ressources alimentaires utilisées dans l'alimentation des caprins qui contient des niveaux élevés de tannins condensés (CT). Les résultats obtenus dans le chapitre II, qui a traité l'aspect lié à l'utilisation des tanins condensés dans l'alimentation des chevreaux, ont montré que le faible apport de cet aliment dans la ration des chevreaux en croissance-engraissement (25%) améliore le GMQ90-180 (+74%) et le poids à 180 jours (+20%). Mais, il semble être insuffisant pour protéger complètement les acides gras insaturés contre la biodégradation et la bio-hydrogénation des acides gras de la viande (Ayadi et al., 2011). Alors qu'une utilisation de 50% s'est accompagnée d'une amélioration de la teneur des acides gras désirables (+221%) et des acides gras instaurés (+16,6%) de la viande; mais cette fois-ci avec un effet nul sur les performances de croissance (Ayadi et al., 2011). Les travaux menés sur les bovins et ovins rapportent que la désactivation des TC par les polyéthylènes glycols (PEG), qui ont la propriété d'inhibent l'action anti-digestive des TC, peut améliorer le poids à l'abattage sans affecter énormément la qualité de la viande. Toutefois, l'utilisation des PEG chez les chevreaux mérite d'être étudiée.

Afin d'améliorer la quantité et la qualité des produits carnés caprins, l'objectif de ce travail est de tester la dose optimale de PEG qu'il faut administrer aux chevreaux en phase de croissance-engraissement recevant une ration riche en TC et d'étudier son effet sur les paramètres quantitatifs et qualitatifs de la viande.

2. Matériel et méthodes

Conduite expérimentale

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'effet de deux niveaux de concentrations de polyéthylène glycol 4000 PM (PEG) sous forme de solution d'eau (100/75; p/v) administré aux chevreaux en croissance recevant un régime alimentaire contenant une teneur élevée de tanins condensés apportée sous forme de pulpe de caroube (*Ceratonia siliqua*).

Dans ce sens, un effectif de 21 chevreaux de population locale du nord du Maroc en phase de croissance (90 jours d'âge, poids moyen 11,23 kg±2,61) a été réparti en trois lots homogènes en poids. Les chevreaux dans chaque lot ont reçu jusqu'à l'âge de 180 jours, un

régime de concentré qui contient 50% de la pulpe de caroube, (soit un taux d'incorporation de tanins condensés d'environ 10% MS ou 54 g/jour/chevreau) en complément à l'orge, maïs, féverole et tourteau de tournesol. Les rations distribuées dans les trois lots sont iso-énergétiques et iso-azotées (0,8 UFV, 70 g PDI/jour/chevreau) et présentent des proportions proches en acides gras (Tableau 14). Dans le lot témoin (lot OPEG) aucune administration de PEG n'est apportée. Alors que dans les lots 10PEG et 20PEG, les chevreaux ont reçu une administration par voie buccale de 10 et 20 g de PEG/jour/chevreau juste après l'ingestion de l'aliment concentré (l'apport de PEG est raisonné en tenant compte du faible poids des chevreaux comparativement aux chèvres). La ration de base est distribuée sous forme de foin d'avoine à raison de 500 g/jour/chevreau.

Tableau 14: Composition nutritive du concentré alimentaire des lots de chevreaux tests (10PEG, 20PEG) et témoin (OPEG).

Composition de l'aliment	OPEG	10PEG	20PEG
Orge (%)	13	13	13
Maïs (%)	12	12	12
Féverole (%)	10	10	10
TT tournesol (%)	15	15	15
Pulpe caroube (%)	50	50	50
MS ingérée (g/tête/jour)	631,29	629,43	628,71
Matière sèche (% Produit brut)	89,7	89,6	86,6
Tannins condensés ingérés (g/jour/chevreau)	63,13	62,94	62,87
Matière organique (g)	516,5	502,6	562,4
Protéines (g)	106,3	104,7	102,9
Extrait Ethéré (g)	27,1	27,3	31,4
Fibre brute (g)	48,5	50,4	48,9
Ac. gras désirables (% AGT*)	33,46	33,22	33,59
Ac. Gras insaturés (% AGT)	26,93	27,01	26,81
Ac. Gras polyinsaturés (% AGT)	0,38	0,35	0,36
Ac. Gras saturés (% AGT)	73,07	72,99	73,19

* : AGT : acides gras totaux

Mesures et Analyse qualitative

Les performances de croissances [le gain moyen quotidien entre 90-180 jours (GMQ 90-180), l'Indice de consommation, le rendement de la carcasse (%), le poids vif final (kg)]; la

caractérisation de la carcasse [le rendement de la carcasse, l'importance du tissu adipeux, l'importance du tissu osseux, l'importance du tissu musculaire, l'indice de muscle, et l'indice de conformation]; et en fin les prélèvements des échantillons de viande ont été déterminées et réalisées respectivement de la même manière que celle décrite dans le chapitre 3.

La carcasse est caractérisée sur la base de la couleur du gras de couverture et la couleur de la viande, de l'indice de luminosité (L^*), l'indice du rouge (a^*) et l'indice du jaune (b^*), le pH et la capacité de rétention d'eau (voir détaillé dans le chapitre 2).

La qualité diététique de la viande (composition du profil des acides gras et composition chimique: teneur de la viande en protéines, graisse, humidité et cendres) est appréciée sur des prélèvements effectués sur la viande du *Longissimus dorsi* (LD) et le muscle *Semimembraneux* (SM) comme il a été détaillé dans le chapitre 2 (voir le chapitre 2 pour plus de détaille).

Analyse statistique

L'analyse de la variance due au traitement (dose de PEG administrée aux chevreaux), et la comparaison multiple des moyennes, pour les différents paramètres étudiés, de l'effet des PEG sur les performances de croissance, la qualité technologique, organoleptique et diététique de la viande ont été réalisées moyennant le programme (SAS, 2004) en utilisant la procédure "Modèle Général Linéaire" (GLM) . Le modèle utilisé ($y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$) comprend les moyennes générales (μ), la dose de PEG administrée comme étant le facteur de variation (T_i) et l'erreur résiduelle (ε_{ij}). La différence entre les moyennes a été considérée comme significatives à une probabilité $P < 0,05$. La comparaison des moyennes de moyennes a été déterminée à l'aide du test "Last Square Déviation" ou (LSD).

3. Résultats

En distribuant un concentré apportant une quantité journalière importante de tanins condensés de 54 g/chevreau, l'apport de 10PEG et 20PEG ne montre pas d'effet significatif sur les performances de croissance des chevreaux (tableau 15). Mais, on remarque que les PEG administrés avec un taux modéré (10PEG) font augmenter de manière non significative les performances de croissance des chevreaux (tableau 15). En effet, les individus du groupe 10PEG ont enregistré un poids vif final, un GMQ₉₀₋₁₈₀, un poids de la carcasse froide et un rendement carcasse à un âge de 6 mois, les plus élevés par rapport aux 20PEG et 0PEG (15,21 vs 13,81 et 13,90 kg; 33,56 vs 31,89 et 25,44 g/j; 6,74 vs 5,80 et 5,21 Kg; 43,08 vs

40,64 et 42,37%, $P>0,05$) respectivement (tableau 15). L'indice de consommation baisse avec l'utilisation de 10PEG comparativement aux traitements 20PEG (12,72 vs 13,25). Ce qui indique une amélioration non significative de l'efficacité d'utilisation digestive de la ration alimentaire avec la dose 10PEG par rapport à 20PEG. Mais dans les deux cas de traitement, cet indice reste plus élevé par rapport au témoin.

Tableau 15: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les performances de croissance des chevreaux du lot témoin OPEG et des lots tests 10PEG et 20PEG.

Performances de croissance	OPEG	10PEG	20PEG	SEM	Prob.
Poids vif initial (kg)	11,03	12,19	11,52	0,9936	0,2501
Poids vif final (kg)	13,90	15,21	13,81	1,1938	0,6557
GMQ ₉₀₋₁₈₀ (g/j)	31,89	33,56	25,44	9,8145	0,6742
Poids carcasse froide (kg)	5,80	6,74	5,21	0,8233	0,4300
Rendement carcasse (%)	40,64	43,08	42,37	1,3507	0,4380
Indice de consommation	10,70 ^a	12,72 ^b	13,25 ^c	6,7088	0,0088
Poids de fressure (kg)	0,56	0,65	0,56	0,0401	0,2552

*a** Indice de rouge, *L** Indice de luminosité, *b** Indice de jaune. **a, b et c** : Au sein d'une même ligne, les moyennes suivies par des lettres distinctes sont statistiquement différentes avec un risque d'erreur de 5%.

A part la chromacité rouge de la carcasse, il n'y a pas d'effet significatif du PEG sur les caractéristiques physique de la carcasse des chevreaux (tableau 16). Toutefois, on remarque que les individus ayant reçu la dose 10PEG présentent une carcasse plus compacte avec une conformation plus meilleure que les individus OPEG et 20PEG (0,14 vs 0,13 et 0,11 $P>0,05$; 0,28 vs 0,27 et 0,26 $P>0,05$, respectivement pour l'indice de compacité et de conformation).

La couleur du gras de couverture de la carcasse a enregistré une différence significative sous l'effet des PEG (tableau 16). En effet, leur utilisation offre une note de couleur moins élevée (5,70 et 5,21 vs 6,29 respectivement pour 10PEG, 20PEG et Témoin; $P<0,05$) qui est due à un faible dépôt de gras de couverture. Concernant la viande du *Longissimus dorsi*, on note pour les traitements 10PEG et 20PEG un indice de rouge (*a**) significativement moins élevé que le contrôle (21,18 et 21,5 vs 22,05 respectivement, $P<0,05$) indicatrice de la désactivation des myoglobines par les PEG. Ces indices indiquent que les PEG offrent une viande caprine plus claire, mais avec plus de luminosité particulièrement au niveau des selles indicatrice d'un dépôt de gras (59,52 et 59,28 vs 54,05 respectivement pour 10PEG, 20PEG et Témoin; tableau 16).

Tableau 16: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les caractéristiques de la carcasse des chevreaux du lot témoin OPEG et des lots tests 10PEG et 20PEG.

Paramètres de la carcasse	OPEG	10PEG	20PEG	SEM	Prob.
Gras suréal (g)	35,2	63,66	65,6	17,7627	0,4172
Longueur carcasse (cm)	45,6	46,71	45,93	1,161	0,7867
Longueur cuisse (cm)	36,6	37	35,57	0,8209	0,4622
Épaisseur cuisse (cm)	5,16	5,33	5,23	0,2203	0,8635
Indice de compacité	0,13	0,14	0,11	0,0157	0,4537
Indice de muscle	0,14	0,14	0,14	0,0048	0,6901
Indice de conformation	0,27	0,28	0,26	0,0163	0,5589
a* (<i>Longissimus dorsi</i>)	22,05 ^a	21,18 ^b	21,15 ^b	0,2440	0,0281
L* (<i>Longissimus dorsi</i>)	43,08	43,28	41,9	1,1202	0,6469
b* (<i>Longissimus dorsi</i>)	6,69	6,48	6,1	0,3536	0,5015
Note couleur gras couverture	6,29 ^a	5,70 ^b	5,21 ^c	0,3365	0,0144
L* (selle)	54,05 ^b	59,52 ^a	59,28 ^a	1,4299	0,0234
b* (Pourtour queue)	5,39 ^{ab}	4,73 ^b	6,36 ^a	0,4241	0,0435

a* Indice de rouge, **L*** Indice de luminosité, **b*** Indice de jaune à 12h post-mortem. Au sein d'une même ligne, les moyennes suivies par des lettres distinctes sont statistiquement différentes avec un risque d'erreur de 5%. **SEM** : Standard erreur de la moyenne.

Le PEG n'a aucun effet significatif sur les paramètres diététiques et technologiques de la viande des chevreaux (tableau 17). Cependant, suite à l'apport de 10PEG, On note une légère amélioration non significative par rapport au témoin, de la teneur en protéine (18,96 et vs 18,48), matière minérale (3,07 vs 2,81), matière grasse (4,48 vs 3,91) respectivement (tableau 17). On note aussi que les PEG freinent de façon non significative la baisse du pH du Semi-membraneux et du *Longissimus dorsi* (tableau 17).

En ce qui concerne la composition des acides gras (tableau 18, 19 et figure 8), on note que l'apport de PEG favorise de manière significative, la bio-hydrogénation des acides gras à travers l'inhibition des tanins condensés alimentaire de la pulpe de caroube, ce qui fait diminuer la teneur en acides gras bénéfiques de la viande. En effet, d'après la figure 8, la proportion en acides gras désirables, insaturés, mono-insaturés et poly-insaturés et les acides gras à chaîne longue ont diminué avec l'apport des traitements 10PEG et 20PEG comparativement au traitement contrôle, soient respectivement (84,5 et 85,1 vs 94,5%); (74,6 et 78,3 vs 91,0%); (46,5 et 37,9 vs 57,8); (25,0 et 29,9 vs 30,9%); (89,4 et 88,7 vs 96,8). Les ratios UFA/SFA et $\omega 3/\omega 6$ diminuent avec l'administration de PEG comparativement au

Tableau 17: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les paramètres diététique et technologique de la viande des chevreaux du lot témoin OPEG et des lots tests 10PEG et 20PEG.

Paramètre diététique et technologie	OPEG	10PEG	20PEG	SEM	Prob.
Matière azote totale du SM (%)	18,48	18,86	17,87	0,5858	0,4990
Matière minérale du SM (%)	2,81	3,07	2,93	0,069 3	0,0954
Humidité du muscle SM (%)	76,32	75,21	74,78	0,7514	0,1090
Humidité du <i>Longissimus dorsi</i> (%)	74,71	76,43	77,02	0,9825	0,2521
Matière Grasse du SM (%)	3,91	4,48	4,60	0,8420	0,4210
pH <i>Longissimus dorsi</i> (45 min)	6,02	6,43	6,48	0,1431	0,0734
pH <i>Longissimus dorsi</i> (24 h)	6,05	6,06	6,17	0,1163	0,7128
CRE du muscle SM (%)	43,21	42,62	41,28	1,6651	0,4373
CRE <i>Longissimus dorsi</i> (%)	17,67	17,7	17,73	1,0491	0,9992
pH du muscle SM (45 min)	6,05	6,42	6,51	0,1487	0,0963
pH du muscle SM (24 h)	6,27	6,25	6,40	0,1092	0,5867

CRE capacité de rétention d'eau. SEM : Standard erreur de la moyenne.

Tableau 18: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les groupes d'acides gras de la viande du *Longissimus dorsi* (en % des acides gras totaux) des chevreaux du lot témoin OPEG et des lots tests 10PEG et 20PEG.

Acides gras	OPEG	10PEG	20PEG	SEM	Probabilité
Ac. gras désirables	94,52 ^a	84,49 ^b	85,13 ^b	2,4816	0,0173
Ac. gras mono-insaturés	57,81 ^a	46,49 ^b	37,91 ^b	3,7888	0,0058
ac. Gras polyinsaturés	30,95 ^{ab}	25,02 ^b	29,90 ^a	2,8569	0,0177
Ac. gras insaturés (UFA)	90,99 ^a	74,60 ^b	78,30 ^b	2,202	0,0005
Ac. gras saturés (SFA)	9,01 ^b	25,40 ^a	21,70 ^a	3,2078	0,0036
UFA/SFA	10,10 ^a	2,94 ^b	3,61 ^b	0,5811	0,0001
Ac. Gras à chaîne longue	96,77 ^a	89,36 ^b	88,74 ^b	2,3636	0,0491
Ac. Gras à chaîne moyenne	2,72 ^b	9,41 ^a	3,25 ^b	1,7316	0,0242
Ac. Gras à chaîne courte	0,50 ^b	1,23 ^b	8,01 ^a	1,5702	0,0058
Ac. gras de type $\omega 6$	10,66	14,38	15,36	2,1811	0,2984
Ac. Gras de type $\omega 3$	18,01 ^a	9,08 ^b	16,98 ^a	2,9439	0,0274
$\omega 3/\omega 6$	1,69 ^b	0,63 ^a	1,11 ^b	4,5581	0,0085

$\omega 3$ et $\omega 6$: respectivement ac. gras de type $\omega 3$ et $\omega 6$. a, b et c: au sein d'une même ligne, les valeurs suivies des lettres distinguées sont statistiquement différentes à 5%. SEM : Standard erreur de la moyenne.

témoin (2,94 et 3,61 vs 10,10 ; 0,63 et 1,11 vs 1,69 respectivement pour 10PEG, 20PEG et OPEG). D'autre part, les PEG font augmenter les acides gras saturés et les acides gras de la famille des omégas 6 (figure 8).

Les doses 20PEG et 10PEG augmentent de manière significative les acides gras à chaînes courtes et moyennes respectivement. On note particulièrement une augmentation des acides : butyrique, caproïque, tridécanoïque, myristique, palmitique et myristoléique avec l'ajout de PEG. D'autre part, on constate une diminution ($P < 0,001$) des acides gras insaturés à 18 carbones avec 1, 2 et 3 double liaisons particulièrement l'acide élaidique, α -linoléique (ALA), éicosadiénoïque, éicosénoïque et γ -linoléique (tableau 19).

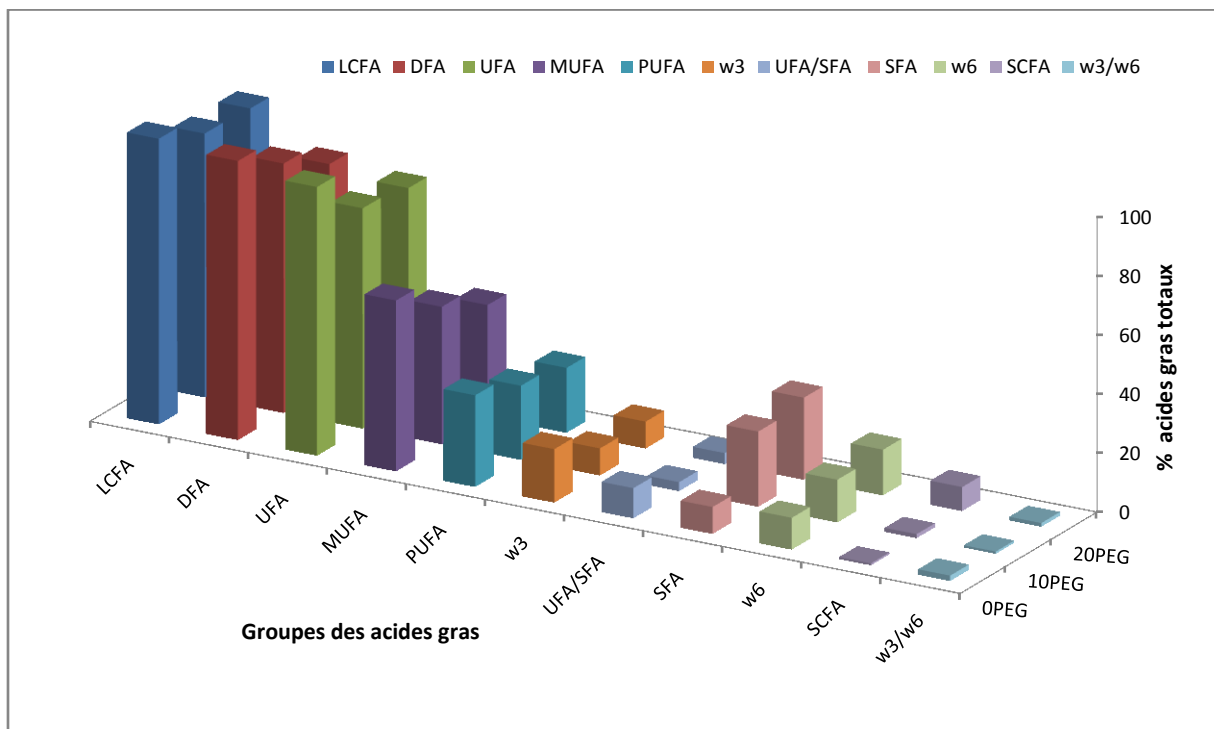


Figure 8: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les groupes d'acides gras de la viande du *Longissimus dorsi* (en % des acides gras totaux) des chevreaux OPEG, 10PEG et 20PEG .

Tableau 19: Effet de polyéthylène glycol (PEG) sur les acides gras de la viande du *Longissimus dorsi* (en % des acides gras totaux) des chevreaux du lot témoin 0PEG et des lots tests 10PEG et 20PEG.

Acide gras	0PEG	10PEG	20PEG	SEM	Probabilité
Butyrique (4)	0,02 ^c	0,58 ^b	1,41 ^a	0,1836	0,0002
Caproïque (C6)	0,48 ^b	0,64 ^b	6,59 ^a	1,5158	0,0157
Laurique (C12)	0,18	3,57	0,45	1,1297	0,0883
Tridécanoïque (C13)	0,89 ^b	1,96 ^a	1,69 ^a	0,1918	0,0027
Myristique (C14)	0,35 ^b	2,82 ^a	0,62 ^b	0,6237	0,0223
Myristoléique (C14:1)	1,31 ^a	1,06 ^a	0,49 ^b	0,1383	0,0019
Cis10 pentadécanoïque (C15:1)	8,1	6,75	5,72	1,5970	0,5820
Palmitique (C16)	0,34 ^b	1,43 ^a	0,70 ^{ab}	0,2838	0,0414
Palmitoléique (C16:1)	2,31	1,66	3,12	0,5742	0,2285
Heptadécanoïque (C17)	0,32	0,63	0,47	0,0890	0,0837
Cis 10heptadécanoïque (C17:1)	0,29	0,96	0,60	0,1786	0,0536
Stearique (C18)	2,53 ^b	6,92 ^a	4,21 ^{ab}	1,0861	0,0326
Trans 9 elaidique (C18:1 ω-9t)	2,13 ^a	1,15 ^b	0,65 ^c	0,1255	0,0000
Cis 9 oleïque (C18:1 ω-9c)	19,85	13,53	13,34	3,5134	0,3508
Linolélaïdique (C18:2 ω-6t)	3,00	3,08	3,15	0,7051	0,9877
Linoléique (C18:2 ω-6c)	4,67	3,97	4,68	0,7314	0,7395
α- linoléinique (C18:3 ω-3)	0,67 ^a	0,16 ^c	0,44 ^b	0,0585	0,0000
γ-linolénique (C18:3 ω-6)	1,58 ^a	1,25 ^b	0,48 ^c	0,0919	0,0000
Arachidique (C20)	1,62	3,03	2,56	0,7632	0,4300
Cis 11 eicosénoïque (C20:1)	5,04 ^a	2,70 ^b	1,07 ^c	0,2725	0,0000
Eicosadiénoïque (C20:2)	1,20 ^a	0,66 ^b	0,80 ^{ab}	0,1370	0,0342
Eicosatriénoïque (C20:3 ω-3)	0,79 ^b	0,76 ^b	2,02 ^a	0,2402	0,0019
Eicosatriénoïque (C20:3 ω-6)	0,84 ^b	5,67 ^a	6,56 ^a	1,3117	0,0137
Arachidonique (C20:4 ω-6)	0,57	0,41	0,49	0,0503	0,1050
Eicosapentaénoïque (C20:5 ω-3)	10,38	6,65	10,98	2,8502	0,5195
Behénique (C22)	0,03 ^b	0,74 ^a	0,49 ^a	0,0882	<0,0001
Docosadiénoïque (C22:2)	1,09	0,89	0,76	0,0929	0,0609
Docosahexaénoïque (C22 :6 ω-3)	6,17 ^a	1,52 ^b	7,53 ^a	1,1543	0,0044
Erucique (C22:1 ω-9)	1,57 ^b	4,02 ^a	1,28 ^b	0,3086	<0,0001
Tricosanoïque (C23)	0,25 ^b	0,55 ^a	0,41 ^a	0,0495	0,0020
Lignocérique (C24)	4,23	5,62	4,59	0,7828	0,4456
Nervonique (C24:1)	17,21	14,66	11,63	3,2110	0,4837

a, b et c: au sein d'une même ligne, les valeurs suivies des lettres distinguées sont statistiquement différentes à 5%. SEM : Standard erreur de la moyenne.

4. Discussion

L'apport de 10PEG et 20PEG aux chevreaux recevant quotidiennement un concentré riche en tanins condensés (54 g/tête) ne fait pas varier les performances pondérales de ces individus. Un résultat pareil est rapporté par Lassoued et al (2006). Sur la base de ce résultat, les niveaux administrés de PEG semblent être au dessous de la capacité de favoriser une amélioration du processus anabolique pondérale à travers une désactivation de l'action anti-digestive des tanins condensés de la ration alimentaire.

Toutefois, on remarque que les PEG administrés avec un taux modéré (10PEG) font augmenter de façon non significative les performances de croissance des chevreaux. En effet, les individus du groupe 10PEG ont enregistré un poids de la carcasse froide et un rendement carcasse à un âge de 6 mois, les plus élevés par rapport aux traitements 20PEG et 0PEG. Sur la base de ce résultat, les PEG utilisés en quantité modérée (10PEG) semblent avoir de manière non significative un effet inhibiteur de l'activité anti-digestive des tanins apportés en quantité moyennant élevée dans le régime alimentaire. Afin de confirmer ce constat, il serait opportun de tester des doses de PEG au-dessous de 10 g/jour/chevreau en cas d'une ration riche en tanins. En effet, on a obtenu une tendance à une amélioration ($P>0,05$) des performances pondérale avec 10PEG.

L'indice de consommation des chevreaux traités avec 10PEG a connu une amélioration significative si on le compare avec le traitement 20PEG (12,72 vs 13,25; $P<0,05$). Donc, l'utilisation digestive de la ration alimentaire avec l'apport d'une dose de 10PEG est en fait plus efficace que si on utilise 20PEG. Ce résultat appuie davantage l'idée d'entreprendre des doses inférieures à 10PEG permettant de confirmer l'effet positif des faibles doses de PEG sur les performances pondérales et l'indice de consommation.

Malgré qu'il y a une supériorité non significative du traitement 10PEG, les mensurations et l'étude des caractéristiques physiques effectuées sur les carcasses des chevreaux qui sont nourris d'aliment riche en tanins condensés, n'ont montré aucune différence significative entre les traitements testés, à l'exception de la couleur de la carcasse. Celle-ci a enregistré une note de couleur basse par rapport au traitement sans PEG, ce qui montre que ces derniers donnent une couleur claire de la carcasse qui s'amplifie avec la dose du traitement. Ce constat est aussi valable pour la chromacité rouge de la viande du *Longissimus dorsi*. En effet, les traitements 10PEG et 20PEG ont donné des notes de couleur de la carcasse plus

bas que le témoin. Ces indices indiquent que les PEG donnent une viande plus claire, mais avec plus de luminosité surtout au niveau des selles. Tandis que chez les ovins, les PEG rendent la viande plus foncée à cause de l'activation de la synthèse de myoglobine (Priolo et Ben Salem, 2004).

Les paramètres diététiques et technologiques de la viande des chevreaux ne sont pas influencés significativement par l'apport des PEG. Toutefois, la viande caprine s'engraisse davantage avec l'apport des PEG (+14,6%, $P > 0,05$). Une carcasse plus grasse est obtenue avec 10 g de PEG (Priolo et al., 2002a).

L'effet des PEG sur la saturation des acides gras insaturés de la viande des chevreaux est bien démontré. En effet, les teneurs en acides gras de la viande du *Longissimus dorsi* bénéfiques en terme diététique et sanitaire, en particulier les acides gras de la famille des oméga 3, les acides gras désirables, insaturés, mono-insaturés et polyinsaturés et les acides gras à chaîne longue ont connu une diminution significative en générale dans la viande quand on administre quotidiennement 10 ou 20 g de PEG par chevreau comparativement au traitement témoin. Ce résultat montre bien l'inhibition des tanins condensés alimentaires par les niveaux de doses PEG utilisés. Ceci favorise les conditions pour la bio-hydrogénation des acides gras insaturés. On assiste, en fait, à une augmentation de la proportion des acides gras saturés quand 10 ou 20 g de PEG sont apportés après l'ingestion de l'aliment concentré. Cette augmentation aboutit donc à des ratios acides gras insaturés/saturés faibles. Un résultat pareil est obtenu avec 42 g PEG/kg d'aliment distribué aux agneaux (Vasta et al., 1999). D'autre part, les doses de PEG testées font augmenter les acides gras saturés, les acides gras à chaîne courtes et moyennes ; et également les acides gras de la famille d'oméga 6. A la lumière de ce résultat, il paraît nécessaire de tester des doses inférieures à 10 g/jour/chevreau permettant d'atténuer la forte diminution des acides gras insaturés suite à l'utilisation de dose élevées de PEG.

Globalement, on peut dire que les performances pondérales restent invariables avec l'apport de PEG. Mais, on note une tendance non significative à l'amélioration des paramètres de croissance avec 10PEG qui peut être justifié par une amélioration de l'efficacité de l'utilisation digestive de la ration (Indice de consommation). La couleur du gras de couverture de la carcasse devient plus claire et plus lumineux avec l'augmentation du

niveau de dose de PEG. Les deux doses de PEG testées font diminuer la composition en acides gras désirables et augmentent la teneur en acides gras saturés et les omégas 6.

5. Conclusion

Dans le cas des rations alimentaire riches en tanins condensés, l'apport journalier des niveaux de 10 et 20 g de polyéthylène glycol aux chevreaux en phase de croissance semble être utilisé en excès. Les doses de PEG utilisées ont provoqué une inhibition intensive de l'action protectrice des tanins condensés contre la bio-hydrogénation des acides gras bénéfiques. La composition des acides gras de la famille d'oméga 3, désirables, insaturés, mono-insaturés et poly-insaturés et à chaîne longue dans la viande a connu en fait une diminution remarquable sans qu'il se produit en même temps une amélioration des performances de croissance des chevreaux. D'autres techniques doivent être testées pour atténuer l'effet régressant des tanins condensés sur les performances de croissance.

Vu qu'il y a eu une tendance non significative à l'amélioration des certains paramètres de croissance avec 10 g PEG/jour et une diminution importante de la proportion des acides gras désirables suite à un apport minimum de 10 g de PEG, il serait opportun d'évaluer l'effet des niveaux d'apport quotidien de PEG inférieurs à 10 g sur des chevreaux en croissance.

CONCLUSION GENERALE

Les tanins Condensés (TC) sont des composés naturels phénoliques que l'on trouve dans pratiquement toutes les parties des végétaux. La propriété de ces substances de former un complexe, résistant contre les attaques enzymatiques, avec de nombreuses molécules et en particulier avec les protéines, leur confère un caractère anti-digestif. Ce qui diminue l'activité digestive microbienne et l'appétabilité alimentaire et en conséquent diminue l'efficacité digestive de l'aliment ingéré.

D'autre part, les tanins sont en même temps bénéfiques car ils empêchent la forte intensité de dégradation des protéines et augmentent en conséquence la teneur des acides aminés dans le duodénum. Les tanins peuvent également améliorer le profil des acides gras bénéfiques du lait et de la viande, ce qui peut avoir des effets positifs sur la santé des consommateurs. Les tanins présentent aussi des intérêts tels que la diminution du risque de météorisation et la lutte contre les infections parasitaires nuisibles du tube digestif chez les ruminants.

Dans le nord du Maroc, l'alimentation de l'élevage caprin est basée sur des pâturages forestiers où dominent les espèces fourragères pastorales riches en composés phénoliques tels que les tanins. Cette situation alimentaire pourrait influencer largement sur les performances de production et la qualité nutritionnelle du lait et de la viande des chevreaux produits par cet élevage.

Cette thèse doctorale a pour objectif d'évaluer l'effet des tanins condensés sur les performances de production (lait, viande) de l'élevage caprin dans le nord et leur qualité nutritive et diététique et par la suite de prospecter la possibilité d'améliorer, via l'utilisation du polyéthylène glycol (PEG), cette production et sa qualité dans le cas d'ingestion par l'animal d'une quantité élevée de tanins condensés. Pour ce faire, cette étude a été réalisée en deux étapes.

La première étape consiste à étudier l'effet des tanins condensés (TC) de la pulpe de caroube avec 3 doses d'incorporation sur :

- Les performances de production et la qualité du lait (le niveau de production laitière, la composition physicochimique du lait, le profil des acides gras du lait),

- Les performances de croissance et la qualité technologique, organoleptique et diététique de la viande et la qualité de la carcasse (le gain moyen quotidien entre 90-180 jours, l'indice de consommation, le rendement de la carcasse, le poids vif final, l'importance du tissu adipeux, l'importance du tissu osseux, l'importance du tissu musculaire, l'indice de consommation, la couleur du gras de couverture et de la viande, la texture, le pH, la capacité de rétention d'eau, la composition chimique et le profil en acides gras).

Plusieurs propositions pour traiter les TC sont citées dans la littérature afin de réduire l'action inhibitrice des TC et leur effet négatif sur la digestion. On cite dans ce sens la distribution du polyéthylène glycol (PEG) aux ruminants qui consomment des aliments riches en TC. Ce dernier traitement semble être le plus utilisé dans les régimes alimentaires des ruminants. Cependant, vu l'insuffisance de résultats fiables pour chèvre consommant de forte dose de tanins condensés avec apport de PEG, les études permettant de mettre au point l'effet de ce traitement sur la production et la qualité nutritionnelle du lait sont d'un intérêt fondamental sur le plan pratique et scientifique.

Pour cela, dans la deuxième étape on a repris l'étude de l'effet de l'administration de polyéthylène glycol 4000 PM (PEG) aux caprins recevant une ration alimentaire contenant une teneur élevée de tanins condensés (10% MS de l'aliment concentré), sur les mêmes paramètres mesurables et qualitatives du lait, la viande et de la carcasse, étudiés dans la première étape.

A la lumière des résultats obtenus dans la 1^{ère} étape, l'incorporation de tanins condensés à un taux de 5% à 10% de MS dans la ration alimentaire de chèvre au cours de la lactation peut se faire sans aucune incidence digestive. Ainsi, les taux élevés d'incorporation de tanins condensés dans l'aliment concentré (10% de MS) améliorent la qualité du lait et de la viande (acide linoléique), en particulier la composition en acides gras insaturés du lait, mieux que les faibles taux de tanins, mais parallèlement ils affaiblissent les paramètres de production laitières des chèvres, la croissance et le gain de poids des chevreaux (entre le sevrage et l'âge de 6 mois d'âge) et ceci à cause de leur effet inhibiteur sur les enzymes et sur la digestion des protéines alimentaires.

L'incorporation d'un taux modéré de tanins condensés de 5% MS dans l'aliment concentré des chèvres en lactation est avantageuse compte tenu de l'amélioration de la production laitière (+28%), de la teneur du lait en protéines (+9%), de l'acide linoléique (+33%), des

acides gras de la famille des ω 3 (+14%) et diminue les acides gras saturés du lait (-0,4%). Tandis que l'incorporation de TC à 10% de MS améliore mieux que le taux 5% de MS, la teneur du lait en matière grasse (+18%), protéine (+16%) et sa composition en acides gras insaturés (ω 3: +25%, linoléique: +16%, SFA: -2,2%), mais cette amélioration de la qualité du lait est accompagnée par une diminution de la production laitière (-18%).

De même, le taux modéré de tanins condensés (5% MS) améliore la productivité des chevreaux qui se manifeste par une supériorité significative du gain de poids (GMQ90-180: 73,33 g/jour), du poids à 180 jours (18,50 kg) avec un indice de consommation réduit. De tel résultat est non évident quand des apports de TC élevés sont distribués aux chevreaux (le GMQ et le poids à 180 jours sont non significatifs).

Une consommation modérée de tanins condensés fournit des chevreaux avec une viande du *Longissimus dorsi* plus maigre (avec plus de teneur en protéines (+5,63%). La luminosité et l'indice de jaune de la viande de ces chevreaux indiquent une couleur satisfaisante (43,23 et 4,99 respectivement). Mais, sans aucun changement de la qualité technologique de cette viande (pH, capacité de rétention d'eau). Cependant, la quantité des acides gras bénéfiques s'améliore de façon plus marquante quand le taux de tanins condensés distribué dans l'alimentation en concentré est doublé (10% MS). En effet, la distribution élevée de TC protège mieux les acides gras insaturés de la viande contre la bio-hydrogénation (acide linoléique: 0,14% vs 0,12%, acides de la famille des ω 3: 0,69% vs 0,2% ($P>0,05$), les acides gras polyinsaturés: 1,4% vs 0,71% ($P>0,05$) respectivement pour K10 et le témoin.

Les tanins condensés se trouvent en proportion variable dans la majorité des ressources fourragères pastorales et des sous-produits agricoles utilisé dans l'alimentation des élevages caprins dans la région du nord. Par conséquent, une forte consommation de ces ressources alimentaires par ces élevages pourrait être à l'origine de la bonne qualité en acides gras de la viande caprine produite sur les espaces pastorales forestières. Toutefois, cette qualité est obtenue en dépit de la digestibilité de la matière sèche fourragère ingérée, ce qui entraîne une diminution de la productivité en poids des chevreaux.

Dans la situation des parcours riches en ressources fourragères à tanins condensés et aussi dans le cas de l'ingestion des rations alimentaires riches en tanins condensés, l'augmentation de la production laitière des chèvres et des performances pondérales des chevreaux en croissance en préservant en même temps la qualité nutritive et la qualité du

profil des acides gras du lait et de la viande caprine, suppose la détermination du traitement approprié des TC alimentaires économiquement acceptable et pratiquement adoptable. Cette technique peut contribuer à augmenter le revenu de l'élevage caprin dans les zones de montagne où l'alimentation est basée sur des ressources naturelles à travers une production d'un lait et des chevreaux d'une qualité fortement demandée sur le marché des produits carnés.

Le polyéthylène glycol (PEG) est une substance qui a la propriété d'apaiser l'action anti-digestive des tanins condensés. L'objectif dans la 2^{ème} étape de cette thèse est d'étudier la possibilité de mettre au point une dose d'apport par voie buccale de PEG lors de distribution d'une ration alimentaire à contenance élevée en tanins condensés permettant de préserver la qualité élevée des produits caprins et en même temps d'améliorer les performances de production laitière et de croissance des chevreaux.

En fait, un apport d'une dose de PEG de 20 g/jour à des chèvres recevant un taux de tanins condensés de 10% MS s'est montré favorable à produire plus du lait avec une composition en acides gras désirables et insaturés, en particulier les $\omega 3$ et $\omega 6$, plus élevée que le lait contrôle. L'administration de la dose 20 g de PEG favorise en partie l'activation des enzymes digestives et améliore par conséquent la production en lait de +31,5% (1064,0 et 780,2 vs 809,0 g/jour respectivement pour 20 g PEG, 40 g PEG et 0 g PEG, $P < 0,05$). Ce taux d'incorporation s'est montré aussi efficace pour moduler la bio-hydrogénation ruminale en modifiant le métabolisme lipidique à travers l'inactivation des tanins et pour atténuer l'effet anti-digestif de tanins ingérés. La composition du lait en acides gras désirables (DFA), oméga 3, acides gras insaturés (UFA) et mono-insaturés a connu une amélioration avec le traitement 20 g de PEG par rapport au témoin (+20%, +17%, +73% et +110%) et une diminution de la teneur en acides gras saturés indésirables (-20%).

L'administration de 40 g de PEG/jour/chèvre semble avoir un effet positif surtout sur les acides gras à chaîne moyenne (+57%) et courte (+22%) en augmentant leur teneur dans le lait. Cependant, ce traitement fait baisser la production laitière (-4%) et améliore de façon moins importante que 20 g de PEG la teneur des acides gras désirable (+13,88% contre +20,15%), des acides gras insaturés (+51,66% contre +72,80%), des acides gras mono-insaturés et des acides gras à chaîne longues. De même, le traitement 40 g de PEG accuse

une diminution en acides gras saturés indésirables de manière moins importante que le traitement 20 g de PEG (-14% vs 20% respectivement).

Par conséquent, on peut déduire que dans les situations des élevages caprins fréquentant des ressources alimentaires riches en tanins, l'apport de 20 g de PEG /jour/chèvre par voie orale peut contribuer à améliorer la valeur nutritionnelle du lait et aussi sa production.

Toutefois, sur le plan physico-chimique, on constate que les doses 20 g et 40 g de PEG influent négativement sur la teneur du lait en matière grasse, protéines, extrait sec dégraissé et l'extrait sec.

Les niveaux de doses de PEG utilisées (10 et 20 g/j/chevreau) se montrent inefficaces pour améliorer significativement à la fois les performances de croissance et la qualité de la viande. L'administration de 10 et 20 g de PEG /jour/chevreau a exercé un effet non significatif sur la croissance des chevreaux.

Concernant, la composition en acides gras, l'apport journalier des niveaux de 10 et 20 g de polyéthylène glycol aux chevreaux en croissance semble être utilisé avec excès. En fait, les doses de PEG utilisées ont provoqué une inhibition intensive de l'action protectrice des tanins condensés contre la bio-hydrogénation des acides gras bénéfiques, ce qui a provoqué une diminution remarquable de la composition en acides gras de la famille d'oméga 3 (-49,6% et -5,7%), désirables (-10,6% et -9,9%), insaturés (-18,0% et -13,9%), mono-insaturés (-19,6% et -34,4%) et poly-insaturés (-19,2% et -3,4%) et à chaîne longue (-7,7% et -8,3%) respectivement pour 10PEG et 20PEG, sans qu'il se produit en même temps une amélioration des performances de croissance des chevreaux en croissance.

Avec le traitement 10 g PEG/jour, on note une tendance non significative à l'amélioration du rendement de la carcasse, du GMQ_{90-180} , du poids final de l'indice de conformation et aussi de la teneur en protéine, matière grasse et matière minérale de la viande. En même temps on souligne une diminution importante de la proportion des acides gras bénéfiques suite à l'application de ce traitement. Il serait opportun donc d'entreprendre l'effet des niveaux de PEG inférieurs à 10 g sur des chevreaux en croissance ou bien de tester d'autres techniques de traitement des tanins afin d'atténuer l'effet régressant des tanins condensés sur les performances de croissance.

Finalement, on conclue que l'incorporation de tanins condensés à un niveau de 10% de MS de concentré engendre une amélioration de la qualité du lait, de la carcasse et de la viande caprine. Avec ce taux d'incorporation (10% de TC), les performances quantitatives en termes de production du lait et de viande enregistrent une régression. Afin d'obtenir une production laitière satisfaisante avec une qualité diététiquement acceptable, des taux d'ingestion de 10% de tanins condensés sont à respecter (environ 10% MS) avec un apport journalier de 20 g de PEG.

Dans le cas de l'élevage des chevreaux, afin de préserver la bonne qualité nutritive de la viande obtenue avec l'ingestion des taux d'incorporation élevés de TC dans la ration (10%) en améliorant en même temps les paramètres de croissances, des niveaux de PEG inférieurs à 10 g/jour/tête doivent être testés sur des chevreaux en croissance. Aussi, d'autres propositions de traitement de tanins condensés peuvent être entreprises. Par exemple, on peut citer l'utilisation de l'ammoniaque ou de l'hydroxyde de calcium, pour le traitement des aliments à tanins, qui semble plus justifiable vue l'efficacité, la disponibilité et la facilité de manipulation de ces produits.

Le résultat de ce travail mérite d'être transféré auprès des éleveurs caprins dont l'alimentation se base sur les parcours forestier et hors forêt qui sont connus par leur dominance en espèces fourragères à tanins condensés. Pour cela des tests de vérification et de démonstration de ce résultat doivent être menés sur des chèvres. L'application de ce résultat permettra d'améliorer l'ingestion sur parcours en préservant, en même temps, la qualité de composition en acides gras du lait ce qui peut augmenter le revenu de l'élevage caprin dans les zones de montagne. Toutefois, l'évaluation économique de ce traitement reste une étape décisive.

Les ressources fourragères locales connues par leur richesse en tanins condensés, telles que la caroube en gousse et la sulla (*Hédysarum*) qui sont des légumineuses endémiques de la région du nord...etc, sont des ressources alimentaires potentielles pour la région vue leur production élevée en biomasse. Ces ressources peuvent être exploitées rationnellement dans l'alimentation des caprins en appliquant les doses adéquates de PEG obtenus dans le présent travail.

Références bibliographiques

- Addis M., Cabiddu A., Pinna G., Decandia, M., Piredda, G., Pirisi, A., Molle, G., 2005.** Milk and cheese fatty acid composition of sheep fed different mediterranean forages with particular reference to CLA cis-r9, trans-11. *J. Dairy Sci.* 88, 3443–3454.
- Ait bella M., 2006.** Contribution à l'élaboration des bases de qualification de la viande bovine locale : cas de la race Oulmès-Zaër. Mémoire de 3ème cycle en agronomie. I.A.V Hassan II.
- Anonyme, 1998.** Guide National des Bonnes Pratiques en Production Fromagère Fermière, 2ème édition. Document de formation pour la Fédération Nationale des Eleveurs de Chèvres, la Fédération Nationale des Producteurs de Lait et la Fédération Nationale Ovine.
- Anonyme, 2007.** Conseil: La diète à la viande de chèvre. *L'économiste*, le premier quotidien économique du Maroc, N° 2544.
- Anonyme, 2011.** Attention aux excès. *Revue Le Matin*, mercredi 2 novembre.
- AOAC, 1997.** Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA. 2000 p.
- Ashes, J.R., Gulati, S.K., Scott, T.W., 1997.** Potential to alter the content and composition of milk fat. *J. Dairy Sci.* pp. 2204–2212
- Asif, M., Sumaira, U., 2010.** A Comparative Study on the Physicochemical Parameters of Milk Samples Collected from Buffalo, Cow, Goat and Sheep of Gujrat. *Pakistan Journal of Nutrition* 9 (12): 1192-1197.
- Atti, N., Rouissi, H. 2003.** La production de lait de brebis Sicilo Sarde: Effet de la nature de pâturage et du niveau de la complémentation. *Annales de l' I.N.R.A de Tunisie* 76:209-224.
- Avallone, R., Plessi, M., Baraldi, M., Monzani, A., 1997.** Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*): protein, fat, carbohydrates, and tannins. *J. Food Comp. Anal.*, 10 (2): 166-172.
- Ayadi M., Arakrak A., Chriyaa A., Chentouf M. 2012.** Effect of feeding condensed tannins in carob pulp, on milk yield, fatty acids and physico-chemical composition of goat milk. XIth International conference on goats. 24-27 September, Gran Canaria, Spain.
- Ayadi M., Arakrak A., Chriyaa A., Chentouf M., Bouassab M. 2013.** Effect of carob pulp on growing performances, nutritional, and technological quality of meat and perirenal fat from goat. *Options Méditerranéennes. Série A, N 107*: 195-200.
- Ayadi M., Arakrak A., Chriyaa A. et Chentouf M. 2010.** Evaluation des teneurs en substances anti-nutritionnelles des principaux sous produits de la région. Dans : Rapport annuel de l'INRA - Tanger, pp. 32-39.
- Ayadi M., Arakrak A., Chriyaa A., Chentouf M. 2011.** Effet des tanins Condensés sur la qualité physicochimique et le profil des acides gras du lait de chèvre. Dans : Rapport annuel du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Tanger.
- Barry T.N. et McNabb W.C., 1999.** The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. *British Journal of Nutrition* 8: 263-272.

- Barry, T.N., Allsop, T.F. and Redekopp, C. 1986.** The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. 5. Effects on the endocrine system and on adipose tissue metabolism. *Br. J. Nutr.*, 56: 607-614.
- Battle, I. and Tous, J., 1997.** Carob tree. *Ceratonia siliqua* L.. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 91 p.
- Bauman, D.E., Mather, I. H., Wall, R. J., et Lock, A. L., 2006.** Major advances associated with the biosynthesis of milk . *J. Dairy Sci.* 89: 1235–1243.
- Beaumont, R, 1999.** Programme de caractérisation des qualités de la viande charolaise. Programme de recherche et de développement, Institut Charolais, pp.22-34
- Ben Salem H., Nefzaoui A., Ben Salem L., Tisserand J.L. 1997.** Effect of *Acacia cyanophylla* Lindl. Foliage supply on intake and digestion by sheep fed lucerne hay-based diets. *Anim Feed Sci. Technol.*, 68: 101-113.
- Ben Salem H., Nefzaoui, A., Ben Salem, L., Tisserand, J.L. 2000.** Deactivation of condensed tannins in *Acacia cyanophylla* Lindl. foliage by polyethylene glycol in feed blocks. Effects on feed intake, diet digestibility, nitrogen balance, microbial synthesis and growth by sheep. *Livestock Production Science*, 64: 51–60.
- Ben Salem, H., Atti N., Priolo, A. and Nefzaoui, A. 2002.** Polyethylene glycol in concentrate or feed blocks to deactivate condensed tannins in *Acacia cyanophylla* Lindl. foliage. 1. Effects on intake, digestion and growth by Barbarine lambs. *Anim. Sci.*, 75: 127-135.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben Salem, L. et Tisserand, J.L. 1999a.** Different means of administrating polyethylene glycol to sheep: effect on the nutritive value of *Acacia cyanophylla* Lindl. foliage. *Anim. Sci.*, 68: 809–818.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben Salem, L. et Tisserand, J.L., 1999b.** Intake, digestibility, urinary excretion of purine derivatives and growth by sheep given fresh, air-dried or polyethylene glycol-treated foliage of *Acacia cyanophylla* Lindl. *Animal Feed Science and Technology*, 78: 297–311.
- Ben Salem, H., Smith, T., 2008.** Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Rum. Res.* 77: 174-194.
- Benchaar, C., Chouinard, P.Y., 2009.** Assessment of the potential of cinnamaldehyde, condensed tannins, and saponins to modify milk fatty acid composition of dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 92: 3392-3396.
- Bernays, E.A, Chapman, R.F., Stoffolano, J.G., 1989.** *Insect-Plant Interactions Vol.I. Topics in Feeding Behavior and Physiology.* Springer-Verlag.
- Beserra F.J., Madruga M.S., Leite A.M., Da Silva E.M.C., Maia E.L., 2004.** Effect of age slaughter on chemical composition of meat from Moxoto goats and their crosses. *Small Rum. Res.* 55: 177-181.
- Bessa, R. J., Santos-Silva, J., Ribeiro, J. M., Portugal, A. V., 2000.** Reticulo-rumen biohydrogenation and the enrichment of ruminat edible products with linoleic acid conjugated isomers. *Appl. Environ. Microbiol.* 63:201-211.

- Bessa, R.J.B., Aves, S.P., Jerônimo, E., Alzaia, C.M., Prates, J.A.M., Santos-Silva, J., 2007.** Effect of lipid supplements on ruminal biohydrogenation intermediates and muscle fatty acids in lamb. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109 : 868-883.
- Bobe, G., Minick Bormann, J., Lindberg, G., Freeman, A., et Beitz, D., 2008.** Estimates of genetic variation of milk fatty acids in US Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 91:1209–1213.
- Bocquier, F., et Caja, G., 2001.** Production et composition du lait de brebis: effets de l'alimentation. *INRAT Production Animale* 14 (2): 129- 140.
- Bonneau, M., Touraille, C., Pardon, P., Fauconneau, B. et Remignon, B., 1997.** Amélioration de la qualité des carcasses et des viandes. *Bulletin des Groupements Techniques Vétérinaires*, 5: 61-76.
- Bravo, L., 1998.** Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Review*; 56 (11): 317-33.
- Bruneton, J., 1999.** Tanin. In: *Tec&Doc* (Ed.). *Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales*.
- Cabiddu A., Molle G., Decandia M., Spada S., Fiori M., Piredda G., 2009.** Responses to condensed tannins of flowering sulla (*Hedysarum coronarium L.*) grazed by dairy sheep Part 2: Effects on milk fatty acid profile. *Livestock Science.* 123: 230–240
- Cabiddu, A., Addis, M., Spada, S., Sitzia, M., Molle, G., Piredda, G., 2004a.** The effect of different legumes-based pastures on the fatty acid composition of sheep milk with focus on CLA. *Proceedings of the 20th General Meeting of European Grassland Federation, Luzern, Switzerland, 21–24 June (2004)* (Eds, L'uscher A., Jeangross B., Kessler W., Huguenin O., Lobsiger M., Millar N and Suter D.). Luzern, pp. 1133–1135.
- Cabiddu, A., Canu, M., Decandia, M., Molle, G., Pompel, R., 2004b.** The intake and performance of dairy ewes fed with different levels of olive cake silage in late pregnancy and suckling periods. *Options Méditerranéennes: Série A*, pp. 197-201.
- Cabiddu, A., Decandia, M., Addis, M., Spada, M., Fiori, M., Piredda, G., Sitzia, N., Fois, N., Molle, G., 2005b.** Polyethylene glycol as a tool to increase the nutritional value of pasture: effect on milk fatty acid composition of sheep. In: *Proceedings of the 11th Seminar FAO-CIHEAM Sub-Network.*, 8–10 September 2005, Catania (Italy), 85 p.
- Cabiddu, A., Decandia, M., Addis, M., Piredda, G., Pirisi, A., Molle, G., 2005a.** Managing Mediterranean pastures in order to enhance the level of beneficial fatty acids in sheep milk. *Small Rumin. Res.* 59: 169–180.
- Carta, A., Casu, S., Usai, M.G., Addis, M., Fiori, M., Fraghi, A., Miari S., Mura, L., Piredda, G., Schliber, L., Sechi, T., Elsen, J.M., Barillet, F., 2008.** Investigating the genetic component of fatty acid content in sheep milk. *Small Rum. Res.* 79:22-28.
- Chebli Y., Chentouf M., Mrabet R., Ayadi M. 2012.** Characterization of botanical composition and biomass production of silvopastoral grazing in Moroccan Rif. *XIth International conference on goats.* 24-27 September, Gran Canaria, Spain.
- Cheftel, J-C et Cheftel, H., 1992.** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Dans : *Ingénieurs praticiens. Volume 1. Technique et Documentation*, Paris, 381 p.

- Chentouf M., Ben Bati M., Zantar S., Boulanouar B., Bister J.L. 2006.** Evaluation des performances des élevages caprins extensifs dans le nord du Maroc. *Options Méditerranéennes*. 70: 87-94.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., 2004a.** Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reprod. Nutr. Dev.* 45: 467-492.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., 2004b.** Elevage caprin - Avec une alimentation adaptée, des matières grasses du lait mieux équilibrées. *La chèvre*, N° Aout 2004.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R.M., Doreau, M., 2000.** Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. *Ann. Zootech.* 49: 181-205.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R.M., et, Doreau, M., 2003a.** Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. *Ann. Zootech.* 49: 181-205.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lamberet, G., 2003b.** A Review of Nutritional and Physiological Factors Affecting Goat Milk Lipid Synthesis and Lipolysis. *Journal of Dairy Science*. 86: 1751-1770.
- Chiofalo, B., Liotta, L., Zumbo, A., Chiofalo, V., 2004b.** Administration of olive cake for ewe feeding: effect on milk yield and composition. *Small Rum. Res.* 55: 169-176.
- Chiofalo, B., Azzarra, V., Liotta, L., Chiofalo, L., 2004a.** The chemical and physical parameters of the Ragusana ass's milk during lactation. *Proceeding of 6th Congress: New Acquisitions in matter of Ippologia*, Campobasso (I), July 2004: 77-84
- Chouinard, P.Y., Corneu, L., Butler, W.R., Chilliard, Y., Drackley, J.K., Bauman, D.E., 2001:** Effect of dietary lipid source on conjugated linoleic acid concentrations in milk fat. *J. Dairy Sci.* 84: 680-690.
- Christie W.W. 1993.** *Advances in Lipid Methodology*. Second Ed. The Oily Press Ltd, Dundee. Scotland. pp.69-111.
- Chung, K.-T., Wong, T.-Y., Huang, Y.-W., Lin, Y., 1998.** Tannins and human health: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 38: 421-464
- Chung, K.t. et Wei, C.I., 1998.** Are tannins a double edged sword in biology and health?. *Trends in Food Science et Technology*, 9:168-175.
- Claeys, E., et Lauwers, N., 1998.** *Qualité et technologie de la viande*. Office des publications officielles des communautés européennes, Luxembourg, 1570 p.
- Colin, O., Laurent, F., Vignon, B., 1992.** Variations du rendement fromager en pâte molle. Relations avec la composition du lait et les paramètres de la coagulation. *Lait*, 72: 307-319
- Coulon, J.B., Delacroix-Buchet, A., Martin, B., Pirisi, A., 2005.** Facteurs de production et qualité sensorielle des fromages. *Prod. Animales*, 18: 49-62.
- Daiber, K.H., 1975.** Enzyme inhibition by polyphenols of sorghum grain and malt. *J. Sci. Food Agric.*, 26: 1399-1411.
- Dawson, J.M., Buttery, P.J., Jenkins, D., Wood, C.D., Gill, M., 1999.** Effects of dietary quebracho tannin on nutrient utilisation and tissue metabolism in sheep and rats. *J. Sci. Food Agric.* 79: 1423-1430.

- De La Fuente, L., Barbosa, E., Carriedo, J., Gonzalo, C., Arenas, R., Fresno, J., San Primitivo, F., 2009.** Factors influencing variation of fatty acid content in ovine milk. *J. Dairy Sci.* 92: 3791–3799.
- De Mejia, E.G., 2005.** Tannins, Trypsin inhibitors and lectin cytotoxicity in therapy (*Phaseolus ocutifolins*) and common (*Phaseolus vulgaris*). *Plant Food Hum. Nutr.* 60 (3), 137- 45.
- Decandia, M., Sitzia, M., Cabiddu, A., Kababya, D., et Molle, G. 2000.** The use of polyethylene glycol to reduce the anti-nutritional effects of tannins in goats fed woody species. *Small Ruminant Res.*, 38: 157-164.
- Decandia, M., Cabiddu, A., Sitzia, M., Molle, G., 2008.** Polyethylene glycol influences feeding behaviour of dairy goats browsing on bushland with different herbage cover. *Liv. Sci.* 116, 183-190.
- Decandia, M., Molle, G., Stizia, M., Cabiddu, A., Ruiu, A., Pampiro, F. and Pintus, A. 1998.** Effect of polyethylene glycol on browsing behaviour and performance of late lactating goats. In: *Proceedings of the FAO/CIHEAM Meeting on the Nutrition of Sheep and Goats, Grignon (France), 3-5 September 1998*, pp. 147-150.
- Dennai, N., Kharrati, B., El Yachioui, M., 2001.** Appréciation de la qualité microbiologique des carcasses de bovins fraîchement abattus. *Ann. Méd. Vét.*, 145: 270-274.
- Ding W., Kou L., Cao B., Wei Y. 2010.** Meat quality parameters of descendants by grading hybridization of Boer goat and Guanzhong Dairy goat. *Meat Sc.*, 84 : 323-328.
- Dufey, P.-A. et Chambaz, A., 1999.** Production de viande bovine sous label : réflexion sur la qualité. *Suisse agric.*, vol.31 (6) : 277-283.
- Durmic, Z., McSweeney, C.S., Kemp, G.W., Hutton, P., Wallace, R.J., Vercoe, P.E., 2008.** Australian plants with potential to inhibit bacteria and processes involved in ruminal biohydrogenation of fatty acids. *Anim Feed Sci. Technol.*, 145: 271-284.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2005.** Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Sodium. *EFSA Journal* 2005; 209, 26 p.
- El Otmani, S., Ayadi, M., Chentouf, M. 2011.** Effet du lupin sur la production et la qualité de la viande chez les chevreaux en croissance et engraissement. 18ème journées Rencontres Recherches Ruminants. 7 et 8 Décembre, Paris, France.
- Folch, J., Lees, M., Stanley, G.H.S. 1957.** A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226: 497-509.
- Fuentes, M.C., Calsamiglia, S., Cardozo, P.W., Vlaeminck, B., 2009.** Effect of pH and level of concentrate in the diet on the production of biohydrogenation intermediates in a dual-flow continuous culture. *J. Dairy Sci.*, 92: 4456-66.
- Garg, S.K., Makkar, H.P.S., Nagal, K.B., Sharma, S.K., Wadhwa, D.R. and Singh, B. 1992.** Oak (*Quercus incana*) leaf poisoning in cattle. *Vet. Human Toxicol.*, 34: 161-164.
- Gaucher, I. 2008.** Caractéristiques de la micelle de caséines et stabilité des laits de la collecte des laits crus au stockage des laits UHT, 2007, thèse INRA /Agrocampus. *Sci. Tech. Lait et œuf.* Agrocampus Rennes.

- Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette, J-F et Culioli, J., 2002.** Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. INRA, Productions Animales, 15: 37-52
- Gebhardt S.E. and Thomas, R.G., 2002.** Nutritive Value of Foods. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory, Beltsville, Maryland Home and Garden Bulletin N° 72.
- Getachew G., Makkar H.P., Becker K., 2000.** Tannins in tropical browses: effects on *in vitro* microbial fermentation and microbial protein synthesis in media containing different amounts of nitrogen. J. Agric. Food Chem. 48, 3581–3588. Cité par . Cabiddu A., Molle G., Decandia M., Spada S., Fiori M., Piredda G., 2009. Responses to condensed tannins of flowering sulla (*Hedysarum coronarium L.*) grazed by dairy sheep Part 2: Effects on milk fatty acid profile. Livestock Science. 123: 230-240
- Gilani, G.S., Cockell, K.A., Sepher, E., 2005.** Effects of antinutritional factors on protein digestibility and aminoacids availability in foods. J. AOAC. Int. 88 (3): 967- 87.
- Gilboa, N., Perevolotsky, A., Landau, S., Nitsan, Z., Silanikove, N., 2000.** Increasing productivity in goats grazing Mediterranean woodland and scrubland by supplementation of polyethylene glycol. Small Rum. Res. 38: 183-190.
- Grainger, S. L., Keeling, P. W. N., Brown, I. M. H., Marigold, J. H. & Thompson, R. P. H., 1983.** Clearance and non-invasive determination of the hepatic extraction of indocyanine green in baboons green and man. Clin. Sci., 64: 207-212.
- Grappin, R., Jeunet, R., Brochet, M., Taquin, A., 1981.** Etude des laits de chèvre : Teneur du lait de chèvre en matière grasse, matière azotée et fractions azotées. Le lait J. Dairy Sci. and Tech., 61: 117–133.
- Griffiths, D.W. 1991.** Condensed tannins. In: D, Mello, F.J.P., Duffus, C.M., Duffus, J.H. (Eds), Toxic substances in Crop plants. The Royal Society of chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Caubridge CB4 4 WF, Cambridge, pp.180-201.
- Guéguen, L., 1997.** La valeur nutritionnelle minérale du lait de chèvre In: Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre, Nfiort, Ed INRA, Paris Colloques 7 nov., 1996: 67-80.
- Guignard, J.C., 2000.** Biochimie végétale, Dunod, (63, 96, 157, 171-176, 213).
- Gulati, S. K., Byers, E. B., Byers, Y. G., Ashes, J. R, and Scott, T. W., 2000.** Effect of feeding different fat supplements on the fatty acid composition of goat milk. Anim. Feed Sci. Technol., 66:159–164
- Hadjipanayiotou, M., 1999.** Feeding ensiled crude olive cake to lactating Chios ewes, Damascus goats and Friesian cows. Livest. Prod. Sci., 59: 61-66.
- Hagerman, A.E., 2011.** Tannin Handbook (www.users.muohio.edu/hagermae).
- Hagerman, A.E., Robbins, C.T., Weerasuriya, Y.T., Wilson, C., McArthur, C., 1992.** Tannin chemistry in relation to digestion. J. Range Manage. 45,57–62.
- Harris, A.W., Misiewicz, J.J., Bardhan, K.D., Levi, S., O'morain, C., Cooper, B.T., Kerr, G.D., Dixon, M.F., Langworthy, H., Piper, D., 1998.** Incidence of duodenal ulcer healing after 1 week of proton pump inhibitor triple therapy for eradication of *Helicobacter pylori*. Aliment pharmacol Ther., 12: 741-745.

- Hatano, T, Kusuda, M, Inada, K, Ogawa, T, Shiota, S, Tsuchiya, T, Yoshida, T., 2005.** Effects of tannins and related polyphenols on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Phytochemistry*, 66: 2047-2055.
- Hervás, G., Frutos, P., Giráldez, F.J., Mantecón, A.R., Álvarez Del Pino, M.C., 2003.** Effect of different doses of quebracho tannins extract on rumen fermentation in ewes. *Anim Feed Sci. Technol.*, 109, 65-78
- Imran, M.H., Khan, S.S. Hassan, et Khan, R., 2008.** Physicochemical characteristics of various milk samples available in Pakistan. *J. Zhejiang Univ. Sci. B*, 9: 546-551.
- Institut de l'élevage, 2003,** Résultats de contrôles laitiers – Espèce caprine, Site de l'institut de l'élevage. URL - France (idele.fr/linstitut-de-lelevage.html).
- Jones, CG., Lawton, JH., Shachak, M., 1994.** Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- Juarez, M., Ramos, M., 1986.** Physico-chemical characteristics of goat milk as distinct from those of cow milk. In: International Dairy Federation (Ed.), Proceedings of the IDF Seminar Production and Utilization of Ewe's and Goat's Milk, Bulletin No. 202. Athens, Greece, pp. 54-67.
- Kandra, L., Gyeman, G., Zajaez, A., Batta, G., 2004.** Inhibitory effects of tannins of human salivary α -amylase. *Biochem. Biophys. Res commun.*, 319 (4): 1265-71.
- Kanwal, R., Ahmed, T., et Mirza, B., 2004.** Pavic, V., Antunac N., Mioc B., Ivankovic A. et J.L. Comparative analysis of quality of milk collected from buffalo, cow, goat and sheep of Rawalpindi/Islamabad region in Pakistan. *Asian Plant Sci.*, 3: 300-305.
- Kemp, P., Lander, D.J., 1984.** Hydrogenation *in vitro* of α -linolenic acid to stearic acid by mixed cultures of pure strains of rumen bacteria. *J. Gen. Microbiol.*, 130: 527-533.
- Kemp, P., White, R.W., Lander, D.J., 1975.** The hydrogenation of unsaturated fatty acids by five bacterial isolates from the sheep rumen, including a new species. *J. Gen. Microbiol.*, 90: 100-114.
- Kennelly, J.J., 1996.** Producing milk with 2.5% fat - the biology and health implications for dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 60, 161-180. through nutrition. *J. Dairy Sci.*, 80: 2204-2212.
- Khanbabaee, K., Van Ree, T., 2002.** Tannins: classification and definition. *Nat. Prod. Rep.*, 2001, 18: 641-649.
- Khiaosa-Ard, R., Bryner, S.F., Scheeder, M.R.L., Wettstein, H.R., Leiber, F., Kreuzer, M., Soliva, C.R., 2009.** Evidence for the inhibition of the terminal step of ruminal α -linolenic acid biohydrogenation by condensed tannins. *Journal of Dairy Science*. 92: 177-188.
- Kocisko, D.A., 2004.** Evaluation of new cell culture inhibitors of protease resistant prion protein against scrapie infection in mice. *J. Gen. Virol.* 85 (8): 2479- 83.
- Kouniba, A., Kouniba, A., Berrada, M., et El Marrakchi, A., 2007.** Étude comparative de la composition chimique du lait de chèvre de la race locale Marocaine et la race alpine et évaluation de leur aptitude fromagère. *Revue Méd. Vét.*, 158, 03:152-160.
- Kumar, R. and Vaithyanathan, S. 1990.** Occurrence, nutritional significance and effect on animal productivity of tannins in tree leaves. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 30: 21-38.

- Labieniec, M, Gabryelak, T., 2006.** Oxidatively modified proteins and DNA in digestive gland cells of the fresh-water mussel *Unio tumidus* in the presence of tannic acid and its derivatives. *Mutat Res.*, 603(1):48-55.
- Lassoued, N., Rekik, M., Ben Salem, H., Dargouth, M.A., 2006.** Reproductive and productivity traits of goats grazing *Acacia cyanophylla* Lindl. with and without daily PEG supplementation. *Livestock science*. 105: 129-136.
- Le Mens, P., 1985.** Le lait de chèvre : propriétés physico – chimiques, nutritionnelles et chimiques. In : Lait et produits laitiers, vache, chèvre, brebis, de la mamelle à la laiterie. Tome 2. Paris : technique et documentation, Lavoisier, pp.354 – 367.
- Lebret, B., Lefaucheur, L., Mourot, J., 1999.** La qualité de la viande de porc Influence des facteurs d'élevage non génétiques sur les caractéristiques du tissu musculaire, *INRA Production Animal*, 12 (1): 11-28
- Lee K., Lee H., Cho H., et Kim Y. 2005.** Role of the conjugated linoleic acid in the prevention of cancer. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 45: 135–144.
- Li, Y., Meng, Q., 2006.** Effect of different types of fibre supplemented with sunflower oil on ruminal fermentation and production of conjugated linoleic acids *in vitro*. *Arch. Anim. Nutr.*, 60: 402-411.
- Lim, Y.Y., Lim, T.T. et Tee, J.J. 2007.** Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chemistry*, 103: 1003-1008.
- Mahgoub O., Khan A.J., Al-Maqbaly R.S., Al-Sabahi J.N., Annamalai K., Al-Sakry N.M. 2002.** Fatty acid composition of muscle and fat tissues of Omani Jebel Akhdar goats of different sexes and weights. *Meat Sc.*, 61: 381-387.
- Makkar, H.P.S., 2003.** Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Rumin. Res.*, 49: 241-256.
- Makkar, H.P.S., Blümmel, M. et Becker, K. 1995.** Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in *in vitro* techniques. *British Journal of Nutrition*, 73: 897-913.
- Mangan J.L., Vetter R.L., Jordan D.J., Wright P.C., 1976.** The effect of condensed tannins of sainfoin (*Onobrychis Vicciifolia*) on the release of soluble leaf protein into the food bolus of cattle. *Proc. Nutr. Soc.*, 35:95A.
- Marten G.C., Ehle F.R., Ristan E.A., 1987.** Performance and photosensitization of cattle related to forage quality of four legumes. *Crop. Sci.*, 27: 138-145.
- Mc Dougall, G.J., Shpiro, F., Dobson, P., Smith, P., Blake, A., & Stewart D., 2005.** Different polyphenolic components of soft fruits inhibit alpha-amylase and alpha-glucosidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 2760-2766.
- Mc Sweeney, C.S., Palmer, B., McNeill, D.M. and Krause, D.O., 2001.** Microbial interaction with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 91: 83-93.

- McNabb, W.C., Waghorn G.C., Barry T.N., Shelton I.D., 1993.** The effect of condensed tannins on *Lotus pedunculatus* on the digestion and metabolism, cysteine and inorganic sulphur in sheep. *Br. J. Nutr.*, 70: 647-661.
- Mesa, M.D., Aguilera, G.M., et Gil, A., 2007.** Efectos saludables de los lípidos en la dieta. *Aliment. Nutr. Salud* , 14:12–26.
- Metka, Z., Vekoslava, S. and Rogelj, I., 2006.** Milk fatty acid composition of goats grazing on alpine pasture. *Small Rumin. Res.*, 64:45–52.
- Min, B. R., Barry T. N., Attwood, G. T., and McNabb, W. C., 2003.** The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 106:3–19.
- Min, B.R., Hart, S.P., 2003.** Tanins for suppression of internal parasites. *J. Anim. Sci.* 81 (E.Suppl.), E102-E109.
- Min, B. R., McNabb, W. C., Barry, T. N., Kemp, P. D., Waghorn, G. C., McDonald, M. F., 1999.** The effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon reproductive efficiency and wool production in sheep during late summer and autumn. *J. Agric. Sci.*, 132: 323-334.
- Min, B.R., Hart, S.P., Miller, D., Tomita, G.M., Loetz, E., Sahlu, T., 2005.** The effect of grazing forage containing condensed tannins on gastro-intestinal parasite infection and milk composition in Angora does. *Veterinary Parasitology.*, 130: 105-113.
- Min, B.R., McNabb, W.C., Barry, T.N. and Peters, J.S., 2000.** Solubilization and degradation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (EC 4.1.1.39; Rubisco) protein from white clover (*Trifolium repens*) and *Lotus corniculatus* by rumen microorganisms and the effect of condensed tannins on these processes. *J. Agric. Sci. Cam.*, 134 : 305–317
- Mitjavila, S., Lacombe, G., Carrera, G. and Derache, R., 1997.** Tannic acid and oxidized tannic acid on the functional state of rat intestinal epithelium. *J. Nutr.*, 107(12): 2113-21.
- Molle, F., Foran, T., Floch, P., 2009.** Changing Waterscapes in the Mekong Region: Historical Background and Context. in Molle, F., Foran, T., Kähkönen, M. (Eds). *Contested Waterscapes in the Mekong region*. London, pp 1-21.
- Molle, G., Decandia, M., Fois N., Ligios, S., Cabiddu, A., Sitzia, M., 2003.** The performance of Mediterranean dairy sheep given access to sulla (*Hedysarum coronarium L.*) and annual ryegrass (*Lolium rigidum Gaudin*) pastures in different time proportions. *Small Rumin. Res.*, 49: 319–328.
- Molle, G., Sitzia, M., Decandia, M., Fois N., Cabiddu, A., Scanu, G., Ligios, S., 2004.** The sulla (*Hedysarum coronarium L.*) as a complement of a grass based farming system: effect of timed allowance of sulla pasture upon intake and performance of dairy ewes. *Livestock Science*, 123: 138-146.
- Morand-Fehr, P., Tran, G., 2001.** La fraction lipidique des aliments et les corps gras utilisés en alimentation animale. *INRA Prod. Anim.*, 14: 285-302.
- Mueller-Harvey et Mc Allan, A.B., 1992.** Tannins : their biochemistry and anti-nutritional properties. *Adv Plant cell biochem Biotechnol.*; 1: 149-213.
- Mueller-Harvey, I., 2006.** Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *J. Sci. Food Agric.*, 86: 2010-2037.

- Mueller-Harvey, I., McAllan, A.B., Theodorou, M.K., Beever, D.E., 1988.** Phenolics in fibrous crop residues and plants and their effects on digestion and utilization of carbohydrates and proteins in ruminants. In: Reed, J.D., Capper, B.S., Neate, P.J.H. (Eds.), *Plant Breeding and the Nutritive Value of Crop Residues*. Proc. ILCA, Addis Ababa, Ethiopia, p. 97.
- Murdiati, T.B., McSweeney, C.S. and Lowry, J.B., 1992.** Metabolism in sheep of gallic acid, tannic acid and hydrolysable tannin from *Terminalia oblongata*. *Australian Journal of Agricultural Research*, 43(6): 19-1307.
- Noakes, M., Nestel, P. J. et Clifton, P.M., 1996.** Modifying the fatty acid profile of dairy products through feedlot technology lowers plasma cholesterol of humans consuming the products. *Am. J. Clin. Nutr.*, 63: 42-46.
- Normand J., Brouard-Jabet S. 2002.** Guide pratique. Apprécier la qualité du gras de couverture des carcasses d'agneaux : couleur et fermeté. Institut de l'Élevage, Interbev et OFIVAL. 45p.
- Normand, J., Moevi, I., Lucbert, J. et Pottier, E., 2005.** Le point sur... L'alimentation des bovins et des ovins et la qualité des viandes. Collection « Le point sur », Interbev.
- Palmquist, D.L., Beaulieu, A.D., Barbano, D.M., 1993.** Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J. Dairy Sci.*, 76: 1753-1771.
- Papanastasis, V.P., Yiakoulaki, M.D., Decandia, M., Dini-Papanastasi, O., 2008.** Integrating woody species into livestock feeding in the Mediterranean areas of Europe. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 140: 1-17.
- Parodi, P. W., 1999.** Conjugated linoleic acid: the early years. In Yurawecz M. P., Mossoba M. M., Kramer J. K. G., Pariza M. W., Nelson G. J., eds. *Advances in conjugated linoleic acid research*. Vol. 1. AOCS Press, Champaign, IL. pp. 1 - 11.
- Patra, A.K., Saxena, J., 2011.** Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *J. Sci. Food Agric.*, 91(1): 24-37.
- Piluzza, G., Tava, A., De Benedetto, M.G., Tedesco, D., Di Miceli, G., 2005.** Proanthocyanidins from *Hedysarum*, *Lotus* and *Onobrychis spp.* Growing in Sardinia and Sicily and their antioxidant activity. XX International Grassland Congress: Offered papers. In A. Cabiddu, G. Molle M. Decandia S. Spada M. Fiori G. Piredda M. (2009). Responses to condensed tannins of flowering sulla (*Hedysarum coronarium L.*) grazed by dairy sheep Part 2: Effects on milk fatty acid profile. *Livestock Science.*, 123: 230–240.
- Priolo A., Ben Salem H. 2004.** Effects of dietary condensed tannins on small ruminant productions. *Options Méditerranéennes: Série A; n° 59*, p 209-213.
- Priolo A., Lanza M., Bella M., Pinnisi P., Fasone V., Biondi L. 2002a.** Reducing the impact of condensed tannins in a diet based on carob pulp using two levels of polyethylene glycol : lamb growth, digestion and meat quality. *Anim. Res.*, 51: 305-313.
- Priolo, A., Ben Salem, H., Atti, N. and Nefzaoui, A. 2002b.** Polyethylene glycol in concentrate or feed blocks to deactivate condensed tannins in *Acacia cyanophylla* Lindl. foliage. 2. Effects on meat quality of Barbarine lambs. *Anim. Sci.*, 75: 137-140.
- Priolo, A., Lanza, M., Biondi, L., Pappalardo, P. and Young, O.A. 1998a.** Effect of partially replacing barley with 20% carob pulp on post-weaning growth and carcass and meat characteristics of Comisana lambs. *Meat Sci.*, 49: 355-363.

- Priolo, A., Lanza, M., Pennisi, P., Biondi, L. and Waghorn, G. 1998b.** Effect of condensed tannins in carob pulp on lamb meat quality. In: Proc. VIII World Conference on Animal Production, Seoul (Korea), June 1998, pp. 908-909.
- Priolo, A., Waghorn, G.C., Lanza, M., Biondi, L. and Pennisi, P., 2000.** Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: Effects on lamb growth performance and carcass and meat quality. *J. Anim. Sci.*, 78: 810-816.
- Purchas, R.W. and Keogh, R.G. 1984.** Fatness of lambs grazed on *Lotus* and white clover. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.*, 44: 219-221.
- Ramírez-Restrepo, C.A., Barry, T.N., 2005.** Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Anim Feed Sci. Technol.*, 120: 179-201.
- Reed, J. D., 1995.** Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *J. Anim. Sci.*, 73: 1516-1528
- Rogovic, J., Pfister, J.A., Provenza, F.D., 2007.** The effect of polyethylene glycol and number of species offered on intake of Mediterranean shrubs by sheep and goats. *Rangeland Ecol. Small Rum. Res.*, 74 : 1-15.
- Rondia, P., Sinnaeve, G., Sindic, M., Jamar, D., Servais, V., bartiaux thill, N., 2010.** Etude comparative des performances zootechniques, de la conformation bouchère et de la qualité de la viande de trois races ovines : le Mouton Laitier Belge, l'Île-de-France et le Vendéen. *Renc. Rech. Ruminants, Qualité des produits 2010*, 17 p.
- Rouissi, H, Rekik, B, Selmi, H, Hammami, M et Ben Gara, A., 2008.** Performances laitières de la brebis Sicilo-Sarde Tunisienne complétementée par un concentré local. *Livestock Research for Rural Development* 20.
- Salunkhe, D.K., Chavan, J. K., 1990.** Dietary tannins: consequences and remedies. Boca Raton, Florida: CRC press, 177: 208 pp.
- Santos V.A.C., Silva A.O., Cardoso J.V.F, Silvestre A.J.D., Silva S.R., Martins C., Azevedo J.M.T., 2007.** Genotype and sex effects on carcass and meat quality of suckling kids protected by the PGI « Cabrito de Barroso ». *Meat Sc.*, 75: 725-73.
- Sanz Sampelayo, M.R., Chilliard, Y., Schmidely, P.H., Bozaa, J., 2007.** Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68: 42–63.
- SAS, 2004.** SAS/stat version 9.1 User's Guide. SAS Institute: Cary, NC, USA.
- Schmidely, P., Bas P., Rouzeau, A., Sauvart, D., 2001.** Influence de l'incorporation de graines de soja extrudées et de bicarbonate de sodium sur la composition en acides gras de la matière grasse du lait de chèvre. *Renc Rech. Rum.*, (8).
- Scollan, N., Hocquette, J.F., Nuernberg, K., Dannemberger, D., Richardson, I., Moloney, A., 2006.** Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Sci.*, 74: 17-33.
- Sen A.R., Santra A., Karim S.A., 2004.** Carcass yield, composition and meat quality attributes of sheep and goat under semiarid conditions. *Meat Sc.*, 66: 757-763.

- Shehata, A.J., De Man. J.M., Alexander, J.C. 1970.** A simple and rapid method for the preparation of methyl esters of fats in milligram amounts for gas chromatography. Canadian Inst. Food Sci. Technol. J., 3: 85-89.
- Silanikove, N, Tagari, H. and Shkolnik, A. 1993.** A comparison of rate of passage, fermentation rate and efficiency of digestion of high fiber diet in the desert Bedouin goats as compared to Swiss Saanen goats. Small Ruminant Res., 14: 45-60.
- Silanikove, N., Gilbo, N., Nir I., Perevolotsky, A., Nitsan, Z. 1996.** Effect of a daily supplementation of polyethylene glycol on intake and digestion of tannin-containing leaves (*Quercus calliprinos*, *Pistacia lentiscus*, and *Ceratonia siliqua*) by goats. J. Agric. Food. Chem. 44: 199–205.
- Silanikove, N., Gilboa, N., Nitsan, Z. 2001.** Effect of polyethylene glycol on rumen volume and retention time of liquid and particulate matter along the digestive tract in goats fed tannin rich carob leaves (*Ceratonia siliqua*). Small Rum. Res., 40: 9-99.
- Silanikove, N., Nitsan, Z., Perevolotsky, A. 1994.** Effect of a daily supplementation of polyethylene glycol on intake and digestion of tannin-containing leaves (*Ceratonia siliqua*) by sheep. J. Agric. Food. Chem., 42: 2844–2847.
- Simopoulos, A.P., 1999.** Essential fatty acids in health and chronic disease. Am. J. Clin. Nutr., 70: 560S-569S.
- Song, J.H., Kim, S.K., Chang, K.W., Han, S.K., Yi, H.K. et Jeon, J.G. 2006.** *In vitro* inhibitory effects of *Polygonum cuspidatum* on bacterial viability and virulence factors of *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sobrinus*. Archives Oral Biology 51(12): 1131-1140.
- Soyeurt, H., Dardenne, P., Dehareng, F., Bastin, C. & Gengler, N. 2008.** Genetic parameters of saturated and monounsaturated fatty acid content and the ratio of saturated to unsaturated fatty acids in bovine milk. J. Dairy Sci., 91: 3611-3626.
- Soyeurt, H., Dardenne, P., Lognay, G., Veselko, D., Mayeres, P., Bertozzi, C., and Gengler, N., 2006.** Variation in fatty acid contents of milk and milk fat within and across breeds. J. Dairy Sci., 89:4858–4865.
- Spector, AA., 1999.** Essentiality of fatty acids. Lipids, 34: S1-S3.
- Springer, L., Stanne, M. E. et Donovan, S., 1998.** Effects of small-group learning on undergraduates in science, mathematics, engineering, and technology: A meta-analysis. (Research Monograph No. 11)., National Institute for Science Foundation (Ed.). University of Wisconsin-Madison.
- Stender, S. , Dyerberg, J., 2003.** The influence of trans fatty acids on health (4th edn.). A report from the Danish Nutrition Council. Publication No 34, Copenhagen.
- St-Gelais, D., Baba, Ali O, Turcot, S., 2000.** Composition du lait de chèvre et aptitude à la transformation, [en ligne]. Site du ministère de l’agriculture et agroalimentaire du Canada.
- Tava, A., Mella, M., Avato, P., Argentieri, M.P., Bialy, Z., Jurzysta, M., 2005.** Triterpene saponins from leaves of *Medicago arborea* L. J. Agric. Food Chem., 53: 9954-9965.
- Terrill , T.H., Douglas, G.B., Foote, A.G., Purchas, R.W., Wilson, G.F. and Barry, T.N. 1992.** Effect of condensed tannins upon body growth, wool growth and rumen metabolism in sheep grazing Sulla (*Hedysarum coronarium* L.) and perennial pasture. J. Agr. Sci., Camb., 119: 265-273.

- Toral, P.G., Hervás, G., Bichi, E., Belenguer, A., Frutos, P., 2011.** Tannins as feed additives to modulate ruminal biohydrogenation: Effects on animal performance, milk fatty acid composition and ruminal fermentation in dairy ewes fed a diet containing sunflower oil. *Anim Feed Sci. Technol.*, 164 : 199-206.
- Touraille, C., 1996.** Amélioration de la qualité des carcasses et des viandes. INRA, Productions Animales, hors série, pp. 95-110.
- Troegeler-Meynadier, A., Bret-Bennis, L., Enjalbert, F., 2006.** Rates and efficiencies of reactions of ruminal biohydrogenation of linoleic acid according to pH and polyunsaturated fatty acids concentrations. *Reprod. Nutr. Dev.*, 26: 713-724.
- Tsiplakou, H., and Zervas, G., 2008.** The effect of dietary inclusion of olive tree leaves and grape marc on the content of conjugated linoleic acid and vaccenic acid in the milk of dairy sheep and goats. *J. Dairy Res.*, 75:270-278.
- Turner, S.A., Waghorn G.C., Woodward S.L., Thomson N.A. 2005.** Condensed tannins in birdsfoot refoil (*Lotus corniculatus*) affect the detailed composition of milk from dairy cows. *N.Z. Soc. Anim. Prod.* 65, 283–289. Cité par Cabiddu A., Molle G., Decandia M., Spada S., Fiori M., Piredda G., 2009. Responses to condensed tannins of flowering sulla (*Hedysarum coronarium L.*) grazed by dairy sheep Part 2: Effects on milk fatty acid profile. *Livestock Science.* 123: 230–240.
- USDA, 2000.** Agricultural Research Service Nutrient Data Laboratory. <http://www.nal.usda.gov>
- Vasta, V., Lanza M., Pennisi P., Bella M. et Priolo A. 1999.** Effect, of dietary condensed tannins on lamb intramuscular fatty acids. *Options Méditerranéennes, series A, n°74:* 35-39.
- Vasta, V., Luciano, G., 2011.** The effects of dietary consumption of plants secondary compounds on small ruminants' products quality. *Small Rum. Res.*, 101: 150-159.
- Vasta, V., Makkar, H.P.S., Mele, M., Priolo, A., 2008.** Ruminal biohydrogenation as affected by tannins *in vitro*. *British Journal of Nutrition.* 102, pp 88-92.
- Vasta, V., Mele, M., Serra, A., Scerra, M., Luciano, G., Lanza, M., Priolo, A., 2009.** Metabolic fate of fatty acids involved in ruminal biohydrogenation in sheep fed concentrate or herbage with or without tannins. *J. Anim. Sci.*, 87 : 2674-2684.
- Villalba, J.J., Provenza, F.D. and Banner, R.E., 2002.** Influence of macronutrients and polyethylene glycol on intake of a quebracho tannin diet by sheep and goats. *J. Anim. Sci.*, 80(12): 3154-64.
- Visser, S., 1993.** Symposium : proteolytic enzymes and cheese ripening. Proteolytic enzymes and their relation to cheese ripening and flavour : an overview. *J. Dairy Sci.*, 76: 329-350.
- Waghorn G.C., Shelton I.D., 1995.** Effect of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on the nutrition value of ryegrass (*Lolium perenne*) fed to sheep. *J. Agric. Sci. Camb.*, 125:291-297.
- Waghorn, G.C., McNabb, W.C., 2003.** Consequences of plant phenolic compounds for productivity and health of ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society.* 62, 383-392.
- Waghorn, G.C., Shelton, I.D. and McNabb, W.C. 1994a.** Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 1. Non-nitrogenous aspects. *J. Agr. Sci., Cambridge*, 123: 99-107.

- Waghorn, G.C., Shelton, I.D., McNabb, W.C. and McCutcheon, S.N. 1994b.** Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 2. Nitrogenous aspects. *J. Agr. Sci., Cambridge.*, 123: 109-119.
- Wang, Y., Waghorn, G.C., McNabb, W.C., Barry, T.N., Hedley, M.J. and Shelton, I.D., 1996b.** Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon the digestion of methionine and cysteine in the small intestine of sheep. *J. Agr. Sci., Cambridge.*, 127: 413-421.
- Wang, Y., Douglas, G.B., Waghorn, G.C., Barry, T.N., Foote, A.G. 1996a.** Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon lactation performance in ewes. *J. Agric. Sci. Cambridge.* 126: 353–362.
- Wang, Y., Douglas, G.B., Waghorn, G.C., Barry, T.N., Foote, A.G., and Purchas, R.W., 1996c.** The effect of condensed tannins upon the performances of lambs grazing *Lotus corniculatus* and Lucerne (*Medicago sativa*). *J. Agric. Sci. Camb.* 126:87-98.
- Werdi Pratiwi, N.M., Murray P.J., Taylor D.G., 2007.** Feral goats in Australia: A study on the quality and nutritive value of their meat . *Meat Sc.*, 75: 168-177.
- Williams, C. M., 2000.** Dietary fatty acids and human health: review. *Ann. Zootech.*, 49: 165-180.
- Woodward, S. L., Auldist, M. J., Laboyrie, P. J., Jansen, E.B. L., 1999:** Effect of *Lotus corniculatus* and condensed tannins on milk yield and milk composition of dairy cows. *Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod.*, 59: 152-155.
- Zembayashy, M., Lunt, D.K. and Smith, S.B. 1999.** Dietary tea reduces the iron content of beef. *Meat Sci.*, 53: 221-226.
- Zerrouk, H.M., Zantar, S., Chentouf, M., Laglaoui, A., 2010.** Mise au point de quelques méthodes de contrôle de la qualité de la viande caprine. Rapport d'activité 2009/10 du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Tanger. pp. 122-125.
- Zimmer, N. et Cordesse, R. 1996.** Influence des tanins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants. *Prod. Anim.*, 9 (3): 167-179.