



HAL
open science

Caractérisation du parcours, de la qualité bouchère, des propriétés musculaires et de la qualité de la viande des agneaux élevés sur parcours ou en bergerie supplémentés par des grignons d'olive

Hania Hamdi, Khemais Kraiem, Linda Majdoub-Mathlouthi, Denys Durand,
Brigitte Picard

► To cite this version:

Hania Hamdi, Khemais Kraiem, Linda Majdoub-Mathlouthi, Denys Durand, Brigitte Picard. Caractérisation du parcours, de la qualité bouchère, des propriétés musculaires et de la qualité de la viande des agneaux élevés sur parcours ou en bergerie supplémentés par des grignons d'olive. Sciences du Vivant [q-bio]. Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, 2017. Français. NNT: . tel-04806487

HAL Id: tel-04806487

<https://hal.inrae.fr/tel-04806487v1>

Submitted on 27 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Agriculture, des
ressources hydrauliques
et de la Pêche

Institution de la Recherche et de
l'Enseignement Supérieur Agricoles



Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université de Sousse

Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem

Ecole Doctorale « Agronomie et Environnement »

Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques
Spécialité: Agriculture Durable

**Caractérisation du parcours, de la qualité bouchère, des propriétés
musculaires et de la qualité de la viande des agneaux élevés sur
parcours ou en bergerie supplémentés par des grignons d'olive**

Présentée par : Mlle Hamdi Hania

Devant le jury composé de :

Mr. Nizar MOUJAHED	INAT	Président
Mme Naziha ATTI	INRAT	Rapporteur
Mr. Hichem BEN SALEM	INRAT-IRESA	Rapporteur
Mme Madiha HAJ AYED	ISA Chott-Mariem	Examinatrice
Mr. Khemais KRAIEM	ISA Chott-Mariem	Directeur de thèse
Mme Linda MAJDOUB-MATHLOUTHI	ISA Chott-Mariem	Co-encadreur de thèse

Juillet, 2017

" La théorie, c'est quand on sait tout et que rien ne fonctionne.
La pratique, c'est quand tout fonctionne et que personne ne sait pourquoi. "

Albert Einstein (1879 – 1955)

Dédicaces

Je dédie de tout mon cœur ce travail:

A l'âme de mon père qui est toujours présent dans mon cœur et de ma pensée, dors en paix, une part de tes souhaits s'est accomplie.

A l'âme de ma grand-mère pour son grand amour, encouragement et soutien qu'elle m'a accordés tout au long de mes études pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie.

A ma famille, toujours là pour croire en moi, pour m'avoir permis de mener à bien ce rêve et qui à chaque fois m'a fait confiance quand il m'est arrivé de douter. J'espère que vous êtes fiers de ce que je suis devenue.

A mes merveilleux nièces et neveux Mohamed Aziz, Mohamed Hassan, Chayma, Ayoub, Samar, Meriem, Noussayba, Amen Allah, Mohamed Chahid et Jinan. Tatie vous aime fort !!!

A tous ceux qui me sont chers.

Hania

Remerciements

C'est avec un réel plaisir que je réserve ces lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail :

Je tiens tout d'abord à remercier les membres de jury de ma thèse pour le temps qui ont passé pour évaluer et critiquer mon travail. J'espère que la qualité de ce travail soit satisfaisante. Mes sincères remerciements à **Monsieur Moujahed Nizar**, professeur à l'INAT, qui a bien voulu accepter de juger ce travail et d'assurer la présidence du jury de cette thèse. Je tiens à remercier **Madame Atti Naziha**, directeur de recherche à l'INRAT, et **Monsieur Ben Salem Hichem**, directeur de recherche à l'INRAT et en même temps directeur général de l'IRESA, pour avoir accepté d'être rapporteurs de ma thèse. Merci pour votre accueil chaleureux, vos remarques pertinentes et vos conseils précieux m'ont beaucoup aidé à améliorer la qualité de ce travail. Je tiens à remercier également **Madame Haj Ayed Madiha**, maître de conférences à l'ISA Chott-Meriem, d'avoir accepté d'être examinateur de cette thèse.

J'adresse mes plus sincères remerciements à mes directeurs de thèse: **Monsieur Kraiem Khemais**, professeur à l'ISA Chott-Meriem et **Madame Majdoub-Mathlouthi Linda**, maître de conférences à l'ISA Chott-Meriem, pour la qualité de leurs encadrements, leurs disponibilités, leurs encouragements surtout dans les moments de doutes et leurs nombreux conseils et échanges constructifs. Ils n'ont pas épargné aucun effort pour que ce travail se réalise dans les meilleures conditions. Je vous remercie aussi pour le partage de vos connaissances, d'avoir toujours été là pour me guider sur la voie de la recherche scientifique et pour toutes les choses que vous m'avez apprises.

Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance à tous **les cadres et le personnel de l'INRA Clermont-ferrand/Theix**, Unité Mixte de Recherche sur les Herbivores (UMR1213 Herbivores) notamment l'équipe Animal Muscle Viande (AMUVI) pour l'accueil bienveillant qu'ils ont su me réserver au cours de trois stages que j'ai effectués au sein de leur équipe de recherche. Je remercie en particulier **Madame Veissier Isabelle**, directrice de l'UMR1213 Herbivores, et **Madame Picard Brigitte**, responsable de l'équipe AMUVI pour m'avoir accueilli au sein de leur équipe de recherche. Une grande pensée à **Monsieur Durand Denys, chercheur à l'INRA Clermont-ferrand/Theix**, et qui a été le responsable de mes stages, pour ses grandes qualités tant scientifiques qu'humaines, pour la bonne humeur, la gentillesse et les conseils avisés surtout lors de la rédaction des articles. Veuillez trouver à travers ce travail, l'expression de ma parfaite considération et de mon profond respect. Mes remerciements s'adressent aussi à **Mesdames Thomas Agnès, Bage Anne-Sophie et Julie Bacouel** et **Messieurs Chadeyron David, Largeau Vincent et Monyel Jean-Luc** pour leur aide technique et m'avoir expliqué les principes de différents dosages d'oxydation des lipides et du collagène et la détermination des fibres musculaires. Je tiens à remercier aussi **Mesdames Listrat Anne et Prache Sophie** et **Monsieur Bauchart Dominique, chercheurs à l'INRA Clermont-ferrand/Theix**, pour le partage de vos connaissances. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude. Et enfin ma profonde reconnaissance s'adresse à **Madame Marie-Jo Monségu**, ancienne secrétaire de l'équipe AMUVI, une personne pleine de gentillesse, pour ses qualités humaines, son aide et sa bonne humeur.

Ma sincère reconnaissance s'adresse à tous **les cadres et le personnel de l'ISA Chott-Meriem** surtout : **Messieurs Boujelbène Abdelhamid et Boubaker Mohsen**, directeurs successifs de l'ISA Chott-Meriem, **Monsieur Moatameri Sami**, secrétaire général de l'ISA Chott-Meriem, **Mesdames Hajer, Emna, Ines, Samia, Naima, Imen, Faten, Sabrine,...** et **Messieurs Taoufik, Khaled, Mohamed (en double), Saad, Foued, Yasser, Samir, Said, Zied, Sofien, Sami, Ali,...** pour les facilités qu'ils ont mises à ma disposition et pour m'avoir offert toutes les commodités pour bien accomplir ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je remercie sincèrement **Monsieur Nasri Mohamed**, directeur général de l'OEP, et **Monsieur Ragaem Mohamed**, directeur de la ferme expérimentale OEP Saouef, pour leurs qualités humaines et leurs aides précieuses et pour avoir mis à ma disposition toutes les informations et le matériel animal nécessaires pour réaliser ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance. Je ne saurais oublier de mentionner l'aide que m'ont apporté **les cadres et le personnel de l'OEP Saouef et mademoiselle Ahmed Khaoula** qui m'ont aidé énormément dans la réalisation de la partie expérimentale de ce travail et qui par leur bonne humeur m'ont aidé à mener à bien ce travail.

Je voudrais également remercier tous **les cadres et le personnel de la société Général Viandes** de nous aider et de mettre à ma disposition le matériel nécessaire pour l'abattage des agneaux et la découpe.

Je tiens aussi à exprimer ma sincère gratitude à **Monsieur Ben Omar Habib**, directeur du Laboratoire Central d'Analyses et d'Essais de Sousse, pour avoir accepté de nous aider à faire les analyses au sein du laboratoire. Je remercie également **Monsieur El Ayeb Imed**, technicien du laboratoire, pour avoir effectué et m'avoir expliqué les principes de l'analyse de la matière grasse et la composition en acides gras.

J'adresse ma profonde reconnaissance à **Monsieur Ommezine Abdessatar**, ancien enseignant à l'ISA Chott-Meriem, pour m'avoir aidé à identifier les espèces botaniques du parcours étudié, qu'il trouve ici l'expression de mon plus profond respect.

Mes sincères remerciements s'adressent à **Mesdames Haj Ayed Madiha et Abidi Sourour et Messieurs Ben Salem Hichem, Moujahed Nizar, Mars Messaoud, Guider Tibaoui, Gouiaa Mohamed, M'Sadak Youssef, Aloulou Rafik, Hachana Yasser, Znaïdi Ibrahim El-Akram, M'Hamdi Naceur et Mohamed Cherif** pour leurs aides, leurs encouragements et leurs conseils. Veuillez trouver ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Mes plus sincères respects et reconnaissances à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail et qui n'ont pas été cités.

Enfin, je tiens à remercier tous mes amis tout particulièrement **Ahlem, Afef, Faten, Rim, Asma, Ahlem, Rania, Khoula, Hadhami, Aya, Hajer, Lobna, Hana, Amina, Abir, Salma, Fatma, Imen, Jamel, Khaled, Hamza, Fathi,...** pour leur amitié, leur sympathie, leur gentillesse et leur bonne humeur. Je ne garderai que de bons souvenirs de vous.

Résumé

Titre : Caractérisation du parcours, de la qualité bouchère, des propriétés musculaires et de la qualité de la viande des agneaux élevés sur parcours ou en bergerie supplémentés par des grignons d'olive

La présente étude a pour objectif d'évaluer les effets de mode de conduite (parcours naturel vs. bergerie) et de la supplémentation ou non en grignons d'olive sur les performances zootechniques, la qualité bouchère, les caractéristiques musculaires, la qualité de la viande et le niveau d'oxydation des lipides. Soixante agneaux mâles sevrés de race Barbarine, âgés de 6-7 mois et ayant un poids vif moyen de $24,3 \pm 1,06$ kg, ont été répartis en 4 groupes homogènes (n=15). Deux groupes d'agneaux ont été élevés en bergerie avec du foin d'avoine à volonté (LB). Les deux autres groupes ont été élevés sur un parcours naturel amélioré par le *Medicago arborea* (LP) avec un chargement de 4,30 agneaux/ha. Un groupe de chaque mode de conduite a été supplémenté avec 280 g MB /j de grignons d'olive (GO). Tous les agneaux ont reçu 400 g d'aliment concentré (110 g MAT /kg MS). Les agneaux ont été abattus à 33 kg poids vif.

L'étude de la composition floristique du parcours a permis d'inventorier 6 espèces ligneuses et 36 espèces herbacées regroupées dans respectivement 4 et 15 familles. Pour la strate ligneuse, *Medicago arborea* est l'espèce la plus abondante avec une fréquence relative de 88,74% et la famille de légumineuse représente 95,56%. Quant à la strate herbacée, le couvert végétal est composé principalement de *Stipa parviflora* (48,36%) et *Cynodon dactylon* (24,05%). La valeur pastorale du parcours est de 49,41 ce qui indique une qualité fourragère moyenne de ce parcours.

Le GMQ était plus élevé ($P < 0,01$) pour les agneaux des groupes LP (105 vs. 84 g/j). Les rendements vrai et à la découpe ainsi que la conformation étaient similaires entre les deux modes de conduite (MC). Par ailleurs, les agneaux des groupes LP ont des carcasses moins grasses avec une épaisseur de gras, un poids de gras caudal plus faibles ($P < 0,001$) et un pourcentage de gras dans la carcasse plus faible (24,58 vs. 30,01%; $P < 0,001$) et une part de muscle plus élevée (55,85 vs. 52,02%; $P < 0,001$). La couleur de gras sous-cutané a été identique entre les deux MC.

En ce qui concerne les caractéristiques musculaires, le MC n'a pas eu d'effet sur la teneur et la solubilité du collagène, sur l'activité des enzymes ICDH, LDH et CS et sur les types de fibres, à l'exception de la part des fibres oxydatives de type I (6,94 vs. 11,50% respectivement pour LP et LB; $P < 0,05$). Pour les qualités technologiques de la viande, le pH ultime et les

pertes totales en eau n'ont pas été modifiées par le MC. Concernant les qualités sensorielles, les dégustateurs ont jugé la viande des agneaux des groupes LP plus tendre ($P < 0,05$), plus juteuse ($P < 0,001$) avec une flaveur plus intense ($P < 0,05$) que celle des groupes LB. Aucune différence de couleur n'a été notée ni par le jury de dégustation, ni après mesure par le chromamètre. La composition chimique (protéines, cendres et matière grasse) n'a pas été affectée par le MC. Des différences significatives ont été observées pour la composition en acide gras du muscle LL. La conduite des agneaux sur parcours a réduit la part de l'acide C16:0 et a augmenté celles en acide α -linoléique, acides gras polyinsaturés (AGPI), AGPI n-3 et AGPI n-3 à longue chaîne (AGPI n-3 LC) comparé à celle en bergerie. La viande du groupe LP a montré le rapport AGPI/AGS le plus élevé (0,26 vs. 0,20) et le rapport AGPI n-6/AGPI n-3 (6,05 vs. 8,75) le plus faible. Le rapport Hypo/hyper a été aussi plus faible pour la viande des groupes LP. Toutefois, l'index de peroxydation des lipides est plus élevé ($P < 0,05$) pour la viande des groupes LP. Par ailleurs, la conduite sur parcours a permis d'augmenter la teneur de la vitamine E (4,76 vs. 1,53 $\mu\text{g/g}$ de muscle) et l'activité de la catalase dans la viande et ainsi de réduire la teneur en MDA à J5 (0,29 vs. 1,25 $\mu\text{g/g}$ de muscle) par rapport à celle en bergerie. Après 5 jours de conservation, la viande des groupes LP présente les indices de rouge a^* et de jaune b^* et les valeurs de la teinte (H^*) et de la saturation (C^*) les plus faibles ce qui se traduit par une meilleure stabilité de cette viande.

La supplémentation en GO n'a pas eu d'effets significatifs sur les performances de croissance et bouchères. Elle n'a pas affecté les caractéristiques musculaires. La supplémentation en GO tend seulement ($P = 0,067$) à augmenter l'activité en LDH et à réduire celle en ICDH. La viande des agneaux supplémentés avec GO est plus juteuse (5,68 vs. 5,31, $P < 0,05$) et a montré un pH ultime plus faible (5,64 vs. 5,69; $P < 0,05$) que celle des agneaux non supplémentés en GO. Les GO n'ont pas modifié la qualité nutritionnelle de la viande. La supplémentation en GO n'a pas eu d'effet sur le niveau d'oxydation des lipides et la stabilité de la couleur de viande. Seulement, l'activité de SOD a été réduite par la supplémentation en GO.

Globalement, la viande d'agneau produite sur parcours amélioré par le *Medicago arborea* est plus maigre et caractérisée par une bonne qualité des lipides, une meilleure stabilité et moins de risque d'oxydation des lipides lors de la conservation. La supplémentation en grignons d'olive n'affecte pas les qualités de la carcasse et de la viande, les caractéristiques musculaires et la stabilité des lipides.

Mots clés : Agneaux, bergerie, parcours, grignons d'olive, croissance, qualité carcasse, qualité viande, caractéristiques musculaires, peroxydation.

Abstract

Title: Characterisation of rangeland, carcass quality, muscle proprieties and meat quality of lambs fed on rangeland or feedlot and supplemented with olive cake

The present work aims to study the effects of feeding system (rangeland vs. feedlot) and olive cake supplementation (without and with olive cake) on growth performances, carcass quality, contractile and metabolic muscle characteristics, meat quality and lipid oxidation. Sixty weaned male Barbarine lambs (initial body weight of 24.3 ± 1.06 kg) were assigned into four groups (n=15). The first two groups of lambs were reared in feedlot and received oat hay *ad libitum* (LB). The other two groups were reared on natural rangeland improved by *Medicago arborea* (LP) with a stocking rate of 4.30 lambs/ha. One of the feedlot and rangeland groups was supplemented with 280 g/d of olive cake (OC). Each group received 400 g of concentrate (110 g CP/kg DM) per day. Lambs were slaughtered at 33 kg.

The floristic composition of natural rangeland indicated the presence of 36 herbs and 6 fodder shrubs species, which were grouped into 15 and 4 families, respectively. *Medicago arborea* was the dominant fodder shrubs species (88.74%) and the legumes family represent 95.56%. For the herb species, rangeland was composed mainly of *Stipa parviflora* (48.36%) and *Cynodon dactylon* (24.05%). The pasture value of rangeland was 49.41 which indicated medium quality of this rangeland.

The average daily gain was higher ($P < 0.01$) for LP lambs group (105 vs. 84 g/day). Dressing percentage and carcass cut proportions and conformation were similar between the two feeding systems. Moreover, carcass of LP lambs was leaner with lower ($P < 0.001$) subcutaneous fat thickness, tail fat weight and a lower fat percentage (24.58 vs. 30.01%; $P < 0.001$) and a higher lean proportion (55.85 vs. 52.02%; $P < 0.001$). Subcutaneous fat color was similar between the two feeding systems.

As for muscle characteristics, FS had no effect on collagen content and solubility, activities of ICDH, LDH and CS and the proportion of fiber types, except the proportion of slow oxidative fiber type I (6.94 vs. 11.50% respectively for LP and LB lambs; $P < 0.05$). For technological quality of meat, ultimate pH and total water loss were not affected by feeding systems. Regarding the sensory qualities, panellists judged that LP lambs meat was more tender ($P < 0.05$), juicier ($P < 0.001$) with a more intense flavor ($P < 0.05$) than that of LB lambs. No difference was observed for meat color evaluated by panellists or by chromameter measurement. The chemical composition (protein, ash and fat) of meat was not affected by

the feeding systems. Significant differences were observed for the fatty acid composition of LL muscle. Feeding lambs on rangeland reduced the proportion of C16:0 and increased those of α -linolenic acid, polyunsaturated fatty acids (PUFA), n-3 PUFA and long chain n-3 PUFA (LC n-3 PUFA) compared to feeding lambs in feedlot. Meat of LP lambs present higher PUFA/SFA (0.26 vs. 0.20) and lower n-6/n-3 PUFA (6.05 vs. 8.75) ratio. The ratio Hypo/hyper was lower also for meat of LP lambs. Peroxidizability index was higher ($P < 0.05$) for meat of LP group. Furthermore, feeding lambs on rangeland increased vitamin E content (4.76 vs. 1.53 mg/g muscle) and the catalase activity in the meat and thus reduce MDA content (0.29 vs. 1.25 $\mu\text{g/g}$ muscle) at the 5th day of storage compared to that produced in feedlot. After 5 days of storage, meat of LP lambs found lower redness (a^*), yellowness (b^*) indices and hue angle (H) and chroma (C^*) values which indicated a better stability of this meat.

OC supplementation had no significant effects on growth performance and carcass quality. Also, it did not affect muscle characteristics. Only OC supplementation tended ($P = 0.067$) to increase LDH activity and to reduce ICDH activity. Meat lambs supplemented with GO was juicier (5.68 vs. 5.31, $P < 0.05$) and had lower ultimate pH (5.64 vs. 5.68, $P < 0.05$) than that of non-supplemented lambs. OC supplementation did not modify nutritional quality of meat and had no effect on lipid oxidation and color stability of meat. Only the activity of SOD was reduced by supplementation GO.

Overall, lamb meat produced on natural rangeland improved by *Medicago arborea* was leaner and characterized by high quality of lipids, better stability and low risk of lipid oxidation during storage. OC supplementation did not improve or deteriorate carcass and meat quality, muscle characteristics and oxidative lipid stability.

Keywords: Lambs, feedlot, rangeland, olive cake, growth, carcass quality, meat quality, muscle characteristics, peroxidation.

ملخص

يهدف هذا العمل الى دراسة تأثير النظام الغذائي (المرعى أو الحظيرة) و إضافة فيتورة الزيتون (بدون أو مع إضافة فيتورة الزيتون) على خاصيات النمو و الألياف العضلية و جودة الذبيحة و اللحم ومستوى أكسدة الدهون. ستون خروف من السلالة البربرية معدل أعمارها بين 6 و 7 أشهر و وزنها $1,06 \pm 24,3$ كغ، وقع تقسيمها الى أربع مجموعات متجانسة (n=15). مجموعتان وقع تربيتها في الحظيرة مع تقديم قرط القصيبة حسب الرغبة. تم تربية المجموعتين الأخرين بمرعى طبيعي وقع تحسينه بزراعة الفصة الشجيرية (*Medicago arborea*) بمعدل 4,30 خروف/هك. تمت إضافة 280 غ من فيتورة الزيتون الى مجموعة من كل نظام غذائي. و تحصل كل الخرفان على 400 غ من العلف المركب (110 غ من البروتينات الخامة/كغ مادة جافة). عند بلوغ الخرفان وزن 33 كغ وقع ذبح 6 خرفان من كل مجموعة. أظهرت دراسة الغطاء النباتي للمرعى وجود 6 شجيرات علفية و 36 نوع من النباتات العشبية و التي تنتمي على التوالي الى 4 و 15 عائلة. بالنسبة الى الشجيرات، تمثل الفصة الشجيرية النبتة الأكثر انتشارا (88,74%) و تمثل عائلة البقوليات 95,56%. أما بالنسبة الى النباتات العشبية، يتكون الغطاء النباتي من *Stipa parviflora* (48,36%) و *Cynodon dactylon* (24,05%). القيمة العلفية للمرعى (49,41) تعتبر متوسطة. إن معدل النمو اليومي لخرفان المرعى كان أعلى من خرفان الحظيرة (105 مقابل 84 غ/يوم). لم تتأثر مردودية الذبيحة وأجزاءها و المظهر الخارجي للذبائح بالنظام الغذائي. تميزت ذبائح خرفان المرعى بإنخفاض سمك الشحم في العضلة الظهرية و وزن الشحم في مستوى الذيل و أعلى نسبة من العضلات (55,85% مقابل 52,02%) و أقل نسبة من الشحوم (24,58% مقابل 30,01%). لون الشحوم لم يتأثر بالنظام الغذائي. أظهرت نتائج خاصيات العضلات أن النظام الغذائي لم يأثر على كمية و إنحلال الكولاجين، نشاط الأنزيمات (ICDH, LDH و CS) و أنواع الألياف النسيجية باستثناء نسبة الألياف من الصنف الأول (fibres de type I) و التي كانت أعلى لدى خرفان الحظيرة (11,50% مقابل 6,94%). و في ما يتعلق بالجودة التكنولوجية للحوم، لم تتأثر درجة الحموضة و كمية الماء الجمالية المفقودة بالنظام الغذائي. أما بالنسبة الى الخصائص الحسية للحوم فإن المتذوقين أكدوا ان لحوم خرفان المرعى تتميز بطراوة و عصيرية و نكهة و رائحة عالية. و لم يلاحظ وجود اختلاف في لون اللحم و هذه النتيجة تتوافق مع التقييم الإلي للون للحوم. أما بالنسبة للقيمة الغذائية فإن التركيبة الكيميائية للحوم (الزلايات، المواد المعدنية والدهون الجمالية) لم تتأثر بالنظام الغذائي. لكن لاحظنا اختلاف بليغ في تركيبة الأحماض الدهنية للعضلة الظهرية المستطيلة. أظهرت النتائج أن رعي الخرفان بالمرعى الطبيعي مكن من إنخفاض نسبة الحمض الدهني C16:0 و إرتفاع نسبة الحمض C18:3n-3 و الأحماض الدهنية عديدة عدم التشبع (AGPI) و الأحماض الدهنية الأساسية (AGPI n-3 et AGPI n-3 LC). كما ان لحوم خرفان المرعى الطبيعي أظهرت أيضا أعلى ناتج قسمة الأحماض الدهنية عديدة عدم التشبع على الأحماض الدهنية المشبعة (0,26 مقابل 0,20) و أقل ناتج قسمة الأحماض الدهنية عديدة عدم التشبع من صنف أومفا 6 على الأحماض الدهنية عديدة عدم التشبع من صنف أومفا 3 (6,05 مقابل 8,75) و ناتج قسمة الأحماض الدهنية منخفضة الكثافة على الأحماض الدهنية عالية الكثافة (Hypo/hyper). و كان مؤشر أكسدة الدهون مرتفعا لدى مجموعة المرعى الطبيعي. و أظهرت لحوم هذه المجموعة نشاط أعلى لأنزيم catalase و مستوى مرتفع في كمية الفيتامين E (4,76 مقابل 1,53 مغ/كغ لحم) و هو ما أدى الى إنخفاض مستوى أكسدة الدهون (0,29 مقابل 1,25 مغ/كغ

لحم). كما تميزت لحوم خرفان المرعى بعد خمسة أيام من حفظها بأفضل مؤشر للون الأحمر و الأصفر و هو ما يؤكد الثباتية العالية لهذه اللحوم عند الخزن.

أما بالنسبة الى تأثير فيتورة الزيتون ، لاحظنا أن خصائص النمو و الذبيحة و الألياف العضلية و القيمة الغذائية للحوم و مستوى أكسدة الدهون لم تتأثر بإضافة فيتورة الزيتون. في حين أظهرت نتائج التقييم الحسي للحوم أن إضافة فيتورة الزيتون في عليقة الحيوانات مكنت من تحسين عصرية اللحوم (5,68 مقابل 5,31). كما أن إضافة فيتورة الزيتون مكنت أيضا من خفض درجة حموضة اللحوم (5,64 مقابل 5,69) و نشاط أنزيم SOD.

في الختام نستنتج أن اللحوم المتأتية من المرعى الطبيعي تتميز بأعلى كمية عضلات و أفضل تركيبة للأحماض الدهنية و ثباتية عالية عند الخزن. في حين أن إضافة فيتورة الزيتون لم يكن لها تأثير إيجابي أو سلمي على جودة الذبيحة و اللحوم و مستوى ثبات الدهون.

كلمات المفاتيح: الخرفان، الحظيرة، المرعى، فيتورة الزيتون، نمو، جودة الذبيحة ، جودة اللحوم، خصائص الألياف العضلية ، أكسدة الدهون

Liste des publications

Articles dans des journaux impactés

- **H. Hamdi**, L. Majdoub-Mathlouthi, B. Picard, A. Lustrat, D. Durand, I. A. Znaïdi, K. Kraiem. **2016**. Carcass traits, contractile muscle properties and meat quality of grazing and feedgroupe Barbarine lamb receiving or not olive cake. *Small Ruminant Research*, 145, 85–93.
- **H. Hamdi**, L. Majdoub-Mathlouthi, D. Durand, A. Thomas, K. Kraiem. **2017**. Effects of olive-cake supplementation on fatty acid composition, antioxidant status and lipid and meat-colour stability of Barbarine lambs reared on improved rangeland plus concentrates or indoors with oat hay plus concentrates. *Animal Production Science* (<http://dx.doi.org/10.1071/AN16352>)

Articles dans des numéros spéciaux de revues indexées ou des actes de congrès avec comité de lecture

- **Hamdi H.**, Majdoub-Mathlouthi L., Durand D., Thomas A., Kraiem K., **2014**. Composition et stabilité des lipides de la viande d'agneaux engraisés en bergerie ou sur un parcours amélioré par le *Medicago arborea*. *Révue Viandes et Produits Carnés*, hors série, 161-162
- **Hamdi H.**, Majdoub-Mathlouthi L., Znaïdi I. A., Zbidi M., Kraiem K. **2014**. Performances zootechniques et bouchères des agneaux engraisés soit en bergerie soit sur un parcours amélioré par le *Medicago arborea*. 21èmes Renc. Rech. Ruminants, 3 et 4 Décembre 2014 à Paris, France, p 181
- **H. Hamdi**, L. Majdoub-Mathlouthi, D. Durand, A. Thomas, K. Kraiem. **2017**. La supplémentation en grignons d'olive dans la ration des agneaux améliore-t-elle la stabilité de la viande à l'oxydation? 8^{ème} journées scientifiques internationales sur la valorisation des bioressources. 5, 6 et 7 Mai 2017 à Monastir, Tunisie

Table de matières

Dédicaces	I
Remerciements	II
Résumé en français	IV
Résumé en anglais	VI
Résumé en arabe	VIII
Liste des publications et présentations à des congrès	X
Liste des abréviations	XVI
Liste des tableaux	XIX
Liste des figures	XXII
Liste des photos	XXIII
Introduction	1
Etude bibliographique	
1. Elevage ovin en Tunisie	5
1.1. Importance socio-économique de l'élevage ovin	5
1.2. Données sur l'élevage ovin	5
1.3. Systèmes d'élevage ovin	6
1.3.1. Système pastoral	6
1.3.2. Système agro-pastoral	7
1.3.3. Système oasien	7
1.4. Ressources alimentaires	7
1.4.1. Ressources fourragères	8
1.4.2. Résidus de récolte et sous-produits agro-industriels	8
1.4.3. Ressources pastorales	8
1.4.3.1. Contribution des ressources pastorales en alimentation animale	11
1.4.3.2. Amélioration des parcours	11
2. Croissance des agneaux et facteurs de variation	13
2.1. Croissance pondérale	13
2.2. Facteurs de variation de la croissance	14
2.2.1. Race	14
2.2.2. Sexe et mode de naissance	15
2.2.3. Alimentation	15
3. Qualité bouchère de la carcasse: critères d'appréciation et facteurs de variation	17
3.1. Critères d'évaluation de la qualité de la carcasse	17
3.1.1. Critères quantitatifs	17
3.1.1.1. Poids de la carcasse	18
3.1.1.2. Rendements de la carcasse	18
3.1.1.3. Composition tissulaire de la carcasse	18
3.1.2. Critères qualitatifs	19
3.1.2.1. Conformation	19
3.1.2.2. Etat d'engraissement	19
3.1.2.3. Fermeté et couleur du gras de couverture	20
3.2. Facteurs de variation de la qualité de la carcasse	20

3.2.1. Sexe	21
3.2.2. Race	22
3.2.3. Age et poids à l'abattage	22
3.2.4. Alimentation	24
3.2.4.1. Mode de conduite	24
3.2.4.2. Nature et niveau d'alimentation	25
4. Qualités de la viande	27
4.1. Qualité organoleptique	27
4.1.1. Couleur de la viande	27
4.1.2. Tendreté	29
4.1.3. Jutosité	30
4.1.4. Flaveur	31
4.2. Qualité technologique	32
4.2.1. pH de la viande	32
4.2.2. Pouvoir de rétention de la viande	33
4.3. Qualité nutritionnelle de la viande	33
4.3.1. Composition chimique de la viande	33
4.3.2. Valeur nutritionnelle et contribution de la viande aux apports nutritionnels	34
4.3.3. Valeur santé de la viande	36
5. Acides gras en alimentation animale : sources, métabolisme ruminal et pratiques alimentaires d'amélioration de la qualité nutritionnelle de la viande	41
5.1. Sources de lipides en alimentation animale	41
5.2. Digestion des lipides chez les ruminants	42
5.2.1. Synthèse de novo des acides gras	43
5.2.2. Biohydrogénation ruminale des acides gras insaturés	45
5.2.3. Synthèse des acides gras polyinsaturés à longue chaîne dans le rumen	47
5.3. Stratégies alimentaires d'amélioration de la composition et la qualité des lipides de la viande	48
5.3.1. Conduite des animaux à l'herbe	49
5.3.2. Type de pâturage	51
5.3.3. Apport des sources lipidiques riches en AGPI n-3	55
6. Peroxydation des lipides	57
6.1. Le stress oxydant	57
6.2. Mécanismes biochimiques de la peroxydation des lipides	59
6.3. Produits d'oxydation lipidique	62
6.4. Systèmes de défenses antioxydants	64
6.4.1. Systèmes antioxydants enzymatiques	65
6.4.2. Systèmes antioxydants non-enzymatiques	67
6.4.2.1. Antioxydants non-enzymatiques endogènes	67
6.4.2.2. Antioxydants non-enzymatiques exogènes	67
6.5. Conséquences de la peroxydation des lipides sur les qualités nutritionnelle et organoleptique de la viande et sur la santé humaine	70
6.5.1. Altération de la qualité nutritionnelle et des propriétés biochimiques de la viande	70

6.5.2. Altération de la qualité organoleptique de la viande	71
6.5.3. Conséquences sur la santé humaine	73
6.6. Stratégies d'amélioration de la stabilité des lipides et de la couleur de la viande	73
6.6.1. Diminution de la production des ERO	73
6.6.2. Moyens d'augmentation de la teneur des antioxydants en alimentation animale	74
6.6.2.1. Conduite des animaux à l'herbe	74
6.6.2.2. Ajout de la vitamine E	76
6.6.2.3. Antioxydants naturels	77
Conclusion	81
Etude expérimentale	
Objectifs du travail de thèse	82
Matériel et méthodes	
1. Animaux et alimentation	83
2. Etude de la composition floristique du parcours	84
2.1. Zone d'étude	84
2.2. Composition floristique	84
2.3. Indices de diversité	86
2.4. Valeur pastorale	87
2.5. Détermination de la biomasse végétale dans le parcours	88
3. Caractérisation des aliments	89
3.1. Composition chimique	89
3.2. Composition en acides gras	90
3.3. Teneurs en composés secondaires	90
3.3.1. Teneurs en phénols totaux, tanins totaux et tanins condensés	90
3.3.2. Teneurs en saponines	91
4. Performances zootechniques	91
4.1. Contrôle de poids vif des agneaux	91
4.2. Mesure de l'ingéré	91
5. Qualité de la carcasse	92
5.1. Procédure d'abattage	92
5.2. Appréciation de la conformation	92
5.3. Etat d'engraissement	93
5.4. Couleur du gras de couverture	94
5.5. Rendement à la découpe, rendement en viande et composition tissulaire	94
6. Caractéristiques musculaires et qualités de la viande	95
6.1. Prélèvement des muscles	95
6.2. Caractéristiques musculaires	95
6.2.1. Détermination de la teneur et la solubilité du collagène	95
6.2.1.1. Préparation des échantillons	95
6.2.1.2. Dosage du collagène total et insoluble	95
6.2.2. Détermination des caractéristiques contractiles et métaboliques du muscle	96
6.2.2.1. Caractéristiques contractiles du muscle	96
6.2.2.2. Caractéristiques métaboliques du muscle	96
6.3 Qualités technologiques	97

6.3.1. Mesure du pH et de la température	97
6.3.2. Mesure du pouvoir de rétention d'eau	98
6.4. Qualités sensorielles	98
6.4. 1. Préparation des échantillons	98
6.4.2. Epreuve de dégustation	98
6.5. Qualité nutritionnelle	99
6.5.1 Composition chimique	99
6.5.2 Composition en acides gras	99
7. Stabilité de la viande à l'oxydation	100
7.1. Préparation des échantillons	100
7.2. Stabilité de la couleur	100
7.3. Stabilité des lipides	101
7.3.1. Mesure des activités des enzymes antioxydantes	101
7.3.1.1. Préparation de l'extrait	101
7.3.1.2. Dosage de l'activité de la superoxyde dismutase	101
7.3.1.3. Dosage de l'activité de la glutathion peroxydase	101
7.3.1.4. Dosage de l'activité de la catalase	102
7.3.2. Dosage de la vitamine E	102
7.3.3. Dosage de malondialdéhyde	102
8. Analyses statistiques	103
Résultats et discussion	
1. Etude de la composition floristique du parcours	104
1.1. Caractéristiques de la strate arborescente du parcours	104
1.2. Caractéristiques de la strate herbacée du parcours	105
1.2.1. Composition floristique	105
1.2.2. Cycle biologique des espèces	106
1.2.3. Familles botaniques des espèces	109
1.2.4. Type biologique des espèces	110
1.2.5. Contribution pondérale des espèces	110
1.2.6. Richesse spécifique	111
1.2.7. Diversité spécifique	112
1.2.8. Valeur pastorale	112
2. Caractéristiques nutritionnelles des aliments	113
2.1. Composition chimique	113
2.2. Teneurs en composés secondaires	113
2.3. Composition en acides gras	114
3. Performances de croissance	116
4. Qualité de la carcasse	119
4.1. Poids et rendements de la carcasse et pourcentages des abats	119
4.2. Conformation des carcasses	122
4.3. Etat d'engraissement	123
4.4. Couleur du gras de couverture	126
4.5. Rendement à la découpe	127
4.6. Rendement au désossage	129

4.7. Composition tissulaire des morceaux de découpe et de la carcasse	131
5. Caractéristiques musculaires de la viande	133
6. Qualités de la viande	136
6.1. Qualités technologiques de la viande	136
6.1.1. pH de la viande	136
6.1.2. Capacité de rétention d'eau de la viande	137
6.2. Qualités sensorielles de la viande	138
6.3. Qualité nutritionnelle de la viande	141
6.3.1. Composition chimique de la viande	141
6.3.2. Composition en acides gras	142
7. Statut oxydatif du muscle	150
7.1. Niveau d'oxydation des lipides	150
7.2. Stabilité de la couleur de la viande	153
Conclusion générale	157
Références bibliographiques	161
Annexes	

Liste des abréviations

a	Annuelle
a*	Indice de rouge
A [•]	Radical de l'antioxydant
ADF	Acid detergent fiber
ADL	Acid detergent lignin
ADN	Acide désoxyribonucléique
AE	Apport énergétique
AFSSA	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
AH	Antioxydant
AI	Index athérogénique
ALA	Acide α -linoléique
AG	Acide gras
AGI	Acides gras insaturés
AGMI	Acides gras monoinsaturés
AGPI	Acides gras polyinsaturés
AGPI n-3	Acides gras polyinsaturés de type oméga 3
AGPI n-6	Acides gras polyinsaturés de type oméga 6
AGPI n-3 LC	Acides gras polyinsaturés de type oméga 3 à longue chaîne
AGS	Acides gras saturés
ATP	Adénosine-5'-triphosphate
b*	Indice de jaune
C*	Saturation
Ch	Chaméphyte
cm	Centimètre
CMV	Complément minéral vitaminique
CS	Citrate synthase
CV	Coefficient de variation
CDP	Contenu du tube digestif
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
CLA	Acide linoléique conjugué
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
D	Digestibilité
DE	Durée d'engraissement
DHA	Acide docosahexaénoïque
DPA	Acide docosapentaénoïque
E	Indice d'équitabilité de Pielou
EFSA	European Food Safety Authority
EPA	Acide eicosapentaénoïque
ERA	Espèce réactive de l'azote
ERO	Espèce réactive de l'oxygène
ESM	Erreur standard de la moyenne
FAO	Food and Agriculture Organization

FR	Fréquence relative
FS	Fréquence Spécifique
FSCi	Fréquence Spécifique Centésimale
g	Gramme
Gé	Géophyte
GIVLait	Groupement Interprofessionnel des Viandes rouges et du Lait
GMQ	Gain moyen quotidien
GO	Grignons d'olive
GSH	Glutathion réduit
GSH Px	Glutathion peroxydase
h	Heure
H*	Angle de teinte
H'	Indice de Shannon
ha	Hectare
HDL	Lipoprotéines à haute densité (High Density Lipoproteins)
Hé	Hémicryptophyte
HPLC	Chromatographie liquide à haute performance
Hyper	Hypercholesterolemique
Hypo	Hypocholesterolemique
I	Ingéré
IARC	International Agency for Research on Cancer
IC	Indice de la compacité
ICHD	Isocitrate déshydrogénase
INAT	Institut national agronomique de Tunisie
INRA	Institut national de recherche agronomique
INRAT	Institut national de recherche agronomique de Tunisie
IRESA	Institut de la recherche et de l'enseignement supérieur agricoles
IS	Indice spécifique
ISA	Institut supérieur agronomique
j	Jour
J1	Premier jour après abattage
J5	Cinquième jour après abattage
JSMTV	Journées des sciences du muscle et technologies de la viande
kcal	Kilocalorie
kg	Kilogramme
LA	Acide linoléique
LB	Groupe bergerie
LDH	Lactate déshydrogénase
LH	Acide gras insaturé
LDL	Lipoprotéines à basse densité (Low Density Lipoproteins)
L*	Indice de luminosité
L'	Radical alkyle d'acide gras insaturé
LEC	Longueur externe de la carcasse
LIC	Longueur interne de la carcasse

LL	Muscle <i>longissimus lumborum</i>
LOO'	Radical peroxyde d'acide gras insaturé
LOOH	Hydroperoxyde d'acide gras insaturé
LP	Groupe parcours
m	Mètre
MAT	Matières azotées totales
MB	Matière brute
MC	Mode de conduite
MDA	Malondialdéhyde
MG	Matière grasse
mg	Milligramme
ml	Millilitre
mm	Millimètre
MS	Matière sèche
MyHC	Chaîne lourde de myosine
n	Nombre d'individus de toutes les espèces
N	Nombre total de points observés
ni	Nombre d'individus/espèce
NDF	Neutral detergent fiber
OH-pro	Hydroxyproline
OEP	Office d'Élevage et des Pâturages
p	Pluriannuelle
P	Probabilité
PCC	Poids de la carcasse chaude
PCF	Poids de la carcasse froide
PI	Index de peroxydabilité
Rdt	Rendement
Rv	Recouvrement végétal
S	Supplémentation
SOD	Superoxyde dismutase
TBARS	Substances réactives à l'acide thiobarbiturique
TDP	Tube digestif plein
TDV	Tube digestif vide
Th	Thérophyte
TI	Indice thrombogénique
UI	Unité Internationale
V	Volume
Vit E	Vitamine E
VP	Valeur pastorale relative des espèces
UO	Unité ovine
UV	Ultra-violet
μl	Microlitre
4-HNE	trans-4-hydroxy-2-nonenal
4-HHE	trans-4-hydroxy-2-hexenal

Liste des tableaux

Tableau 1 : Facteurs de variation de la qualité de la carcasse d'agneau	21
Tableau 2 : Caractéristiques structurales, contractiles et métaboliques des principaux types de fibres du muscle	30
Tableau 3 : Composition chimique du muscle	34
Tableau 4 : Contribution de 100 g de viande à la fourniture de nutriments dans un régime équilibré selon les apports nutritionnels conseillés	36
Tableau 5 : Rôles et propriétés de certains acides gras chez les mammifères	37
Tableau 6 : Recommandation journalière (% d'apport énergétique) selon AFSSA pour un homme adulte consommant 2000 Kcal	40
Tableau 7 : Apports conseillés en acides gras selon AFSSA pour différentes catégories d'adulte	40
Tableau 8 : Teneur en matière grasse des principaux aliments utilisés chez les ruminants	42
Tableau 9 : Effet de la conduite à l'herbe des agneaux sur la composition en acides gras (en écart par rapport à la conduite en bergerie) et les rapports nutritionnels	50
Tableau 10 : Teneurs en acides gras de viandes d'agneaux ayant pâturé des prairies de composition floristiques variables (% des AG totaux)	53
Tableau 11 : Effet de la teneur en tannins condensés de différentes plantes sur le profil en acides gras (en écart par rapport au témoin) du <i>Longissimus dorsi</i> chez l'agneau	55
Tableau 12 : Teneur en vitamines A et E des principaux aliments des ruminants	76
Tableau 13 : Pluviométries mensuelles (mm) enregistrées pour les années 2012 et 2013 dans la région de Saouef	84
Tableau 14 : Coefficient d'abondance-dominance de Braun-Blanquet	86
Tableau 15 : Qualité fourragère des espèces en fonction de l'indice spécifique	88
Tableau 16 : Caractéristiques des espèces arborescentes du parcours naturel amélioré par le <i>Medicago arborea</i> de la ferme expérimentale Saouef, Zaghouan	104
Tableau 17 : Caractéristiques des espèces herbacées du parcours naturel amélioré par le <i>Medicago arborea</i> de la ferme expérimentale Saouef, Zaghouan	107
Tableau 18 : Familles botaniques de la strate herbacée du parcours	109
Tableau 19 : Répartition des espèces herbacées du parcours naturel amélioré par le <i>Medicago arborea</i> selon la contribution pondérale	111
Tableau 20 : Composition chimique, teneurs en composés secondaires et composition	115

en acides gras des aliments utilisés

Tableau 21: Evolution du poids vif moyen et du gain moyen quotidien global des agneaux selon le mode de conduite et la supplémentation en GO	116
Tableau 22: Effets de la supplémentation en grignons d'olive sur l'ingestion des agneaux conduits en bergerie ou sur parcours (g MB/j)	119
Tableau 23: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur les poids, les rendements de la carcasse et les pourcentages des abats des agneaux (n=6)	120
Tableau 24: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur les mesures linéaires de conformation de la carcasse des agneaux	122
Tableau 25: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur l'état d'engraissement de la carcasse des agneaux	124
Tableau 26: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la couleur du gras de couverture des agneaux	126
Tableau 27: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur le rendement à la découpe des carcasses dépourvues de queue des agneaux (%)	128
Tableau 28: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur le rendement de viande dans les morceaux de découpe et la carcasse des agneaux (%)	130
Tableau 29: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la composition tissulaire des morceaux de découpe de la carcasse des agneaux (%)	131
Tableau 30: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la composition tissulaire des carcasses des agneaux (%)	133
Tableau 31: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la proportion des fibres musculaires au niveau du muscle <i>longissimus lumborum</i> , sur les activités des enzymes ICDH, LDH et CS	134
Tableau 32: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur le pH initial, le pH ultime et les pertes en eau du muscle <i>longissimus lumborum</i> des agneaux	136
Tableau 33: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur les critères d'évaluation de la qualité sensorielle du muscle <i>longissimus thoracis</i> des agneaux de race Barbarine	139
Tableau 34: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la composition chimique (%) du muscle <i>longissimus lumborum</i> des agneaux	141

Tableau 35: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la composition en acide gras du muscle <i>longissimus lumborum</i> des agneaux (% des acides gras identifiés)	144
Tableau 36: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur les groupes des acides gras (% des acides gras identifiés) et la qualité des lipides du muscle <i>longissimus lumborum</i> des agneaux	145
Tableau 37: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur les activités des enzymes anti-oxydantes et en vitamine E et la teneur en MDA à J5 dans le muscle <i>longissimus lumborum</i> des agneaux	150
Tableau 38: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la couleur de la viande à J1 et sa stabilité J5 du muscle <i>longissimus lumborum</i> des agneaux	154

Liste des figures

Figure 1 : Cartes des étages bioclimatiques (à gauche) et d'occupation du sol en Tunisie issue du second IFPN (à droite)	9
Figure 2 : Dynamique de la végétation en zone aride Nord-africaine	12
Figure 3 : Courbe théorique de la croissance chez les ovins	14
Figure 4 : Courbes de développement des différents tissus chez les ruminants	24
Figure 5 : Les différentes formes chimiques de la myoglobine	28
Figure 6: Différences de couleurs liées à des différences de pH ultime	33
Figure 7: Principales voies impliquées dans le métabolisme des lipides au niveau du foie, des tissus adipeux et du muscle	44
Figure 8: Principales voies possibles de biohydrogénation des acides linoléique et linoléinique au niveau du muscle	46
Figure 9: Voies de conversion de LA et ALA en AGPI n-6 et n-3 à longue chaîne	48
Figure 10: Sites de production intracellulaire des espèces oxygénées réactives	58
Figure 11: Effets biologiques cellulaires des espèces oxygénées réactives	59
Figure 12: Principales étapes de la peroxydation des lipides	60
Figure 13: Schéma des réactions d'oxydation des lipides	61
Figure 14: Evolution de l'oxydation des lipides au cours du temps	63
Figure 15: Mécanisme de la réaction de la peroxydation de l'acide arachidonique et la nature des produits terminaux formés	64
Figure 16: Principaux antioxydants intervenant dans la lutte contre l'oxydation des lipides dans la cellule	65
Figure 17 : Mode d'action des principaux systèmes enzymatiques antioxydants et de leurs cofacteurs métalliques	65
Figure 18 : Structure chimique des différents tocophérols	68
Figure 19: Effets de l'oxydation des lipides sur les qualités des aliments	71
Figure 20 : Schéma récapitulatif des traitements alimentaires étudiés	84
Figure 21: Mesures linéaires réalisées sur les carcasses froides	93
Figure 22 : Morceaux de découpe de la carcasse	94
Figure 23 : Evolution de la richesse spécifique de la strate herbacée du parcours par quadrat	112
Figure 24: Corrélation entre la teneur en vitamine E et la valeur de MDA	151

Liste des photots

- Photo 1:** différence de couleur entre une viande fraîche rouge (à gauche) et une viande oxydée brune (à droite) 72
- Photo 2 :** Détermination de la biomasse végétale par la méthode de coupe et de la pesée 88

Introduction

En Tunisie, l'élevage ovin présente une importance économique, sociale et écologique notamment dans les régions semi-arides et arides. Ainsi, environs quatre million d'unité femelle sont élevés par 274000 exploitants agricoles. Cet élevage contribue à environ 40 à 45% de la production de viande rouge et à moins de 2% de la production laitière totale (GIVLait, 2015). L'élevage des ovins repose essentiellement sur une exploitation continue des parcours avec une complémentation en orge grain plus ou moins importante. Ainsi, les parcours naturels couvrent actuellement une superficie de 4,5 millions ha dont environ 87% sont localisés dans les régions semi-arides et arides (FAO, 2016). La superficie de ces parcours est en diminution continue. Ils contribuent selon les années avec 10 à 20% dans la couverture des besoins du cheptel, contre environ 63% dans les années 1960 (Ben Salem, 2011). Les conditions climatiques difficiles, longue saison sèche et le changement des pratiques agricoles ont entraîné la diminution des superficies des parcours et leur dégradation. Pour des raisons de variabilité de l'état de parcours et de disponibilité de ressources pastorales, les éleveurs ont de plus en plus tendance à engraisser les agneaux en bergerie avec un apport important d'aliment concentré. Par ailleurs, les quantités de matières premières importées (soja, maïs et orge) ont été au moins triplées entre 1990 et 2007 (Rejeb Gharbi et Benarif, 2011). Quand on parle de la durabilité de l'élevage, une des notions les plus importantes est de valoriser au maximum les ressources alimentaires locales. Alors, pour limiter les charges alimentaires qui représentent 60 à 80 % des charges totales (Rejeb Gharbi et Benarif, 2011), l'amélioration des parcours par la plantation des arbustes fourragers, en particulier des légumineuses a été une solution proposée depuis les années 80. Des arbustes fourragers tels que l'Attriplex (Ben Salem et *al.*, 2002), le cactus (*Opuntia ficus indica*) surtout inerme, les acacias (Ben Salem et Smith, 2008) et le *Medicago* (Lefi et *al.*, 2012) peuvent être introduits dans régions semi-arides et arides et peuvent améliorer la production pastorale des parcours naturels. Ainsi, des recherches ont été réalisées pour déterminer le potentiel fourrager et la valeur nutritive de ces espèces qui ont montré des effets bénéfiques et encourageants sur les performances des agneaux (Nefzaoui et Chermiti, 1991 ; Ben Salem et *al.*, 2002 et 2010 ; Ben Salem et Smith, 2008). Toutefois, le *Medicago arborea* est une légumineuse arbustive qui a une bonne résistance à la sécheresse et une durée de vie plus longue par rapport aux autres espèces de *Medicago* (Koning et Duncan, 2000; Bingham et *al.*, 2013), mais qui est le moins étudié, en Tunisie, par rapport aux autres arbustes. La première

question de ce travail de thèse est d'étudier l'effet de la conduite des agneaux sur un parcours amélioré par le *Medicago arborea* sur leurs performances de croissance et la qualité bouchère.

De même, des ressources alimentaires locales alternatives telles que les sous-produits agro-industriels (son de blé, grignons d'olive, drêches de brasserie, pulpes de tomate ou d'agrumes ou de betterave, mélasse, marcs de raisin,...) peuvent être utilisées et valorisées dans l'alimentation animale afin de limiter le coût de production (Ben Salem et Nefzaoui, 2003 ; Atti et Ben Salem, 2008 ; Ben Salem et Znaïdi, 2008 ; Vasta et *al.*, 2008). Les grignons d'olive (GO) sont l'un des sous-produits agro-industriels les plus abondants avec une production moyenne annuelle d'environ 367,5 mille tonnes en 2011 (Rejeb Gharbi et Benarif, 2011). Les GO peuvent représenter une source importante d'aliment de sauvegarde en période de disette dans les régions caractérisées par un déficit fourrager. Ainsi, ils sont introduits dans des blocs multi-nutritionnels pour améliorer leur valeur nutritive et en conséquence améliorer le revenu des éleveurs. L'incorporation des GO dans les blocs alimentaires ont permis de remplacer partiellement les aliments concentrés (Ben Salem et Smith, 2008).

La deuxième question posée est de vérifier l'effet de la composition floristique sur la qualité nutritionnelle de la viande. Ainsi, la composition en acide gras (AG) et la qualité nutritionnelle de la viande produite à l'herbe sont influencées aussi par d'autres facteurs tels que le type de pâturage, sa composition, la durée d'accès au pâturage, la supplémentation, etc. (Whittington et *al.*, 2006 ; Lind et *al.*, 2009 ; Popova et *al.*, 2015). Ces effets sont partiellement associés à la présence de légumineuses dans le pâturage et à la richesse des plantes pastorales en composés secondaires (Lourenço et *al.*, 2010 ; Willems et *al.*, 2013 ; Howes et *al.*, 2015). Néanmoins, les AG polyinsaturés (AGPI) sont très sensibles à la lipoperoxydation à cause de leurs degrés d'insaturation. La réaction d'oxydation des lipides induit une détérioration de la qualité nutritionnelle (Aurousseau, 2002 ; Faustman et *al.*, 2010) et sensorielle de la viande (Botsoglou et *al.*, 1994 ; Durand et *al.*, 2005). Ainsi, la peroxydation lipidique entraîne des pertes en AGPI notamment les AGPI n-3 (essentiels pour la santé humaine) et en vitamines. Aussi, l'oxydation des lipides induit le développement des odeurs et des goûts désagréables ainsi qu'une couleur rance de la viande et conduit également à la formation des composés toxiques (peroxydes, époxydes, aldéhydes, oxycholestérol) et des radicaux libres qui ont des conséquences négatives sur la santé humaine (Esterbauer, 1993 ; Favier, 2003).

Toutefois, plusieurs études ont montré que la conduite des ovins au pâturage améliore la stabilité des lipides de la viande (Santé-Lhoutellier et *al.*, 2008 ; Luciano et *al.*, 2009 ; Popova et Marinva, 2013 ; Hajji et *al.*, 2016). Cette stabilité est probablement liée aux niveaux élevés en antioxydants dans cette viande. En plus, la peroxydation lipidique peut être empêchée et/ou retardée par l'apport d'antioxydants ou l'utilisation des aliments riches en antioxydants dans l'alimentation des animaux. L'utilisation de sources d'antioxydants d'origine végétale (Gobert et *al.*, 2009) ainsi que les ressources alimentaires riches en polyphénols, telles que les grignons d'olive et les pulpes d'agrumes (Dal Bosco et *al.*, 2012 ; Luciano et *al.*, 2013 ; Gravador et *al.*, 2014) permet ainsi d'améliorer la stabilité des lipides. Des interactions possibles entre les composés secondaires ont été évoquées par Vasta et Luciano (2011). Ainsi la troisième question posée concerne l'effet de la conduite sur parcours et de la supplémentation en ressources alimentaires riches en composés secondaires sur le niveau d'oxydation des lipides.

En outre, la conduite sur parcours ayant une composition floristique bien particulière pourrait affecter les qualités sensorielles de la viande. Ces qualités sont fortement influencées par les caractéristiques musculaires (types de fibres musculaires, activités métaboliques des fibres, teneur et solubilité du collagène, teneur en gras intramusculaire). Actuellement, et à notre connaissance, aucun travail n'existe sur la caractérisation des qualités organoleptiques et des caractéristiques musculaires de la race Barbarine. Cette méthodologie de détermination des caractéristiques musculaires mérite d'être mise en place et nous permettra de caractériser les muscles venant des différentes races ovines et bovines élevées en Tunisie et pour lesquels nous ne disposons d'aucune information.

Afin de répondre à ces différentes questions posées, ce travail de thèse a été réalisé. L'objectif principal est de caractériser la viande d'agneau produite sur un parcours naturel amélioré avec une légumineuse arbustive qui est le *Medicago arborea* et de le comparer par rapport à celui produit en bergerie et ayant la même quantité d'aliment concentré. Le deuxième objectif est d'étudier les effets de la supplémentation en grignons d'olive. Ces grignons représentent un apport supplémentaire à la ration de base et pourraient affecter les qualités nutritionnelles, sensorielles et la stabilité des lipides et de la couleur de la viande. Le travail a été réalisé dans le souci d'avoir une étude complète allant de l'ingestion et de la digestibilité des rations consommées par les agneaux jusqu'à la caractérisation des différentes qualités de la viande et de la stabilité oxydative des lipides et de la couleur de la viande, en passant par la détermination des caractéristiques musculaires.

Dans ce mémoire de thèse, j'ai consacré la partie bibliographique à la présentation des systèmes d'élevage ovin en Tunisie, la détermination de l'effet de l'alimentation sur la croissance des animaux, la qualité bouchère et de la viande ainsi que les stratégies alimentaires utilisées pour améliorer la qualité nutritionnelle et la stabilité des lipides. La partie expérimentale a pour objectifs d'étudier les effets de deux modes de conduite (bergerie *vs.* parcours naturel) et la supplémentation des grignons d'olive sur la croissance, la qualité bouchère, les caractéristiques musculaires, les qualités sensorielles et nutritionnelles de la viande et la stabilité des lipides et de la couleur.

Etude bibliographique

1. Elevage ovin en Tunisie

1.1. Importance socio-économique de l'élevage ovin

En Tunisie, le secteur de l'élevage ovin joue un rôle important aussi bien dans l'économie nationale que pour la population rurale. Ainsi, l'élevage ovin est une activité largement pratiquée et représente une source de revenu pour de nombreuses familles voir même pour des régions entières. Sur 515880 exploitants, 274000 élèvent des ovins soit 53,11% des exploitations agricoles (Mohamed-Brahmi et *al.*, 2010). Aussi, les produits d'élevage (viande, lait, laine, cuir) constituent les matières primaires pour d'autres secteurs (agro-alimentaire, industries de cuir et artisanale, unités d'abattage,...) ainsi qu'une source de revenu pour plusieurs opérateurs et intervenants. Il s'agit d'un élevage orienté principalement vers la production de viande. Ainsi, la contribution de la viande ovine dans la production des viandes rouges est très importante. La production de viande ovine représente en moyenne 40 à 45% de la production de viande rouge soit 25% de la production totale de la viande. Une grande quantité de la viande ovine produite est utilisée pour la fête de l'Aïd et les cérémonies sociales. La production de viande ovine a enregistré une nette augmentation des quantités produites. En effet, elle a passé de 39600 tonnes en 1995 à 50200 tonnes en 2015 soit une augmentation de 27%. Toutefois, la contribution de l'élevage ovin à la production laitière reste modeste. Elle était de 20000 tonnes en 2015 (inférieure à 2 % de la production totale; GIVLait, 2015).

1.2. Données sur l'élevage ovin

Les principales races ovines élevées en Tunisie sont la Barbarine, la Queue Fine de l'Ouest, la Noire de Thibar et la Sicilo-Sarde qui représentent respectivement 60,3%, 34,6%, 2,1% et 0,7 % (Khaldi, 2007). Les trois premières races sont des races à vocation viande alors que la dernière est une race laitière. L'effectif du cheptel ovin a régulièrement augmenté. Il est passé de 2977 mille unités femelles en 1980 à 3799 mille unités femelles en 2015, soit une augmentation de 28% en 35 ans. L'élevage ovin est une activité pratiquée du nord au sud de la Tunisie. Ainsi, les troupeaux des ovins sont distribués de la manière suivante : 38% dans le nord, 39% dans le centre et 23% dans le sud (OEP, 2015). Plus que trois quart du cheptel ovin est détenue par des exploitations de petite taille (superficie inférieur à 20 ha) et située dans les zones semi-arides et arides (Mohamed-Brahmi et *al.*, 2010).

1.3. Systèmes d'élevage ovin

Avant les années 70, l'élevage ovin était de type extensif ou traditionnel basé essentiellement sur le pâturage des parcours naturels et les terres marginales. La complémentation alimentaire du cheptel est très limitée particulièrement pendant les périodes difficiles. Pendant cette période, l'élevage des ovins est marqué par la mobilité des troupeaux et des éleveurs des régions du centre et du sud vers les régions du sahel et nord de la Tunisie selon la disponibilité des ressources pastorales: phénomène de transhumance. Ainsi, les transhumants recourent à une pratique locale appelée "achaba" qui consiste à louer un espace pastoral provisoirement pour le pâturage de leurs troupeaux. Par la suite, des changements au niveau du secteur agricole (encouragements de l'Etat, développement des cultures céréalières et fruitières et du périmètre irrigué, adoption des nouvelles techniques agricoles, privatisation des terres) ainsi que les conditions climatiques difficiles marquées par des périodes de sécheresse prolongées, sont à l'origine de la diminution des superficies des parcours et des mutations des systèmes alimentaires des ovins (Atti, 2011 ; Ben Salem, 2011). Par ailleurs, le déplacement des éleveurs est limité voir même absent actuellement : sédentarisation. Aussi, l'utilisation des aliments concentrés (fermier et ou acheté) et certains fourrages cultivés (orge en vert et l'avoine) est devenue une pratique dans le système d'élevage ovin. Alors, le système d'élevage des ovins varie d'une région à une autre selon la disponibilité de l'alimentation et l'importance du cheptel dans l'exploitation. On distingue trois systèmes d'élevage : le système pastoral, le système agro-pastoral et le système oasien (Rondia, 2006).

1.3.1. Système pastoral

Ce système se trouve dans les zones arides et semi-arides du pays dont l'élevage ovin garde un rôle principal dans le système de production de l'exploitation. Il est basé surtout sur une utilisation extensive des parcours, essentiellement les parcours forestiers et les steppes, pour de longues périodes de l'année. La disponibilité de la biomasse végétale est très dépendante de la pluviométrie, qui est faible et variable, et des types de sols pauvres et fragiles dans ses régions ce qui explique en question la faible productivité de ce système (Rekik, 1998). Selon Rondia (2006), les parcours et les jachères contribuent à plus de 50%, les pailles pour 15 à 35% et les concentrés pour environ 10% de l'alimentation. Ainsi, les ressources pastorales sont formées par deux types de végétation: les plantes pérennes (alfa, armoise, arganier, ...) et les plantes annuelles qui sont représentées par différentes espèces (graminées et légumineuses).

1.3.2. Système agro-pastoral

Ce type de système d'élevage est localisé dans les régions céréalières (zones humides et subhumides) et dans les périmètres irrigués dont l'élevage ovin présente une place secondaire dans le système de production de l'exploitation. Ses régions présentent un potentiel fourrager important qui joue un rôle déterminant en alimentation animale. L'orge et l'avoine sont les fourrages les plus utilisées dans l'alimentation des ovins (affouragement ou pâturage) pendant 3 à 5 mois (décembre – avril). Cependant, la productivité des troupeaux dans ce système est meilleure que celle du système pastoral. Ce système est caractérisé par une moindre dépendance des parcours qui est liée à l'utilisation des fourrages cultivés dans l'alimentation des animaux. Ainsi, selon Rondia (2006), pour ce système le calendrier alimentaire est formé par trois périodes principales : l'utilisation des parcours et jachères de janvier à mai, les chaumes de juin à septembre et la paille de céréales de septembre à mars. Cet auteur souligne que la contribution des ressources alimentaires est d'environ 50% pour les chaumes, les pailles et autres résidus de cultures, de 8 à 36% pour les parcours et jachères et de 8 à 40% pour les concentrés (Rondia, 2006).

1.3.3. Système oasien

Le système oasien est localisé essentiellement dans le sud tunisien (régions des oasis et Jérid). Ce système est caractérisé par des troupeaux familiaux de petite taille (3 à 10 têtes) généralement de race D'man, maintenus en stabulation permanente (zéro parcours). L'alimentation dans ce système est composée de 25 à 50% de luzerne, qui distribuée en vert ou sous forme de foin, et le reste de la ration est composé de concentré, de paille et de résidus de cultures maraichères et palmier dattier en quantités égales. Ce système est caractérisé par une combinaison de plusieurs systèmes de productions végétales et animales qui lui rend plus rentable et équilibré comparé aux deux autres systèmes (pastoral et agro-pastoral) (Rondia, 2006).

1.4. Ressources alimentaires

En Tunisie, l'alimentation des ovins est basée essentiellement sur les ressources naturelles (parcours, jachères, chaumes,...). Toutefois, ces ressources alimentaires ne sont pas disponibles durant toute l'année. En plus de ces ressources, l'alimentation des ovins est composée aussi d'autres ressources alternatives locales (résidus de récolte, sous-produits agroindustriels). Les fourrages cultivés et les aliments concentrés contribuent faiblement à l'alimentation des ovins comparés aux autres types d'élevages.

1.4.1. Ressources fourragères

En Tunisie, bien que le cheptel (bovins et petits ruminants) ait eu une augmentation remarquable de l'effectif, la production fourragère reste presque constante et sa contribution est limitée. Ainsi, durant les trois dernières décennies, la superficie cultivée en fourrages varie entre 270 mille ha en 1992 (Mohamed-Brahmi et *al.*, 2010) et 422 mille ha en 2007 (OEP, 2015). Les conditions climatiques et la superficie limitée des cultures fourragères ainsi que la concurrence avec d'autres secteurs notamment l'élevage bovin laitier, représentent des contraintes majeures pour l'utilisation des fourrages verts dans la ration des ovins (Mohamed-Brahmi et *al.*, 2010). Les pailles de céréales constituent le principal aliment grossier utilisé dans l'alimentation des ovins pendant une période assez longue de l'année (été-automne-hiver). En plus des pailles, le foin d'avoine est aussi utilisé essentiellement dans les rations d'engraissement des agneaux. Ces deux aliments (pailles et foin) sont riches en fibres et pauvres en azote et par conséquent ne permettent pas de couvrir les besoins des animaux. Aussi, dans certaines régions, notamment zones céréalière et irriguées, l'orge en vert et l'avoine sont utilisés en alimentation des ovins (affouragement) pendant la période hivernale (Atti, 2011; Ben Salem, 2011).

1.4.2. Résidus de récolte et sous-produits agro-industriels

Une partie de l'alimentation des ovins provient de résidus de récolte des cultures (céréales et maraichage) et d'olive (feuilles et brindilles) ainsi que les sous-produits agro-industriels (grignons d'olive, pulpes de tomate, pulpes de betterave, marcs de raisin,...). Les chaumes de céréales sont très utilisés en alimentation animale surtout par les ovins. Ces ressources alimentaires sont disponibles en quantité plus au moins limitée et peuvent être utilisés comme un aliment de sauvegarde surtout pendant les périodes de déficit fourrager. Elles sont caractérisées par une faible valeur alimentaire qui peut être améliorée par certains traitements (Atti, 2011; Ben Salem, 2011).

1.4.3. Ressources pastorales

La superficie des parcours a diminué de 8 millions ha pendant les années 70 à 5,5 millions ha pendant les années 2000 (Ben Salem, 2011) et elle est estimée actuellement à 4,5 millions ha soit 28% de la superficie totale du pays (FAO, 2016). Les parcours sont répartis selon le type de végétation en 9% de forêts, 7,5% de parcours forestiers, 10,8% de parcours alfatiers et 66% de parcours ordinaires (Mohamed-Brahmi et *al.*, 2010). Aussi selon le statut foncier, ces

parcours sont répartis en parcours domaniaux (1,2 %), parcours forestiers (17,4 %), parcours collectifs (44,9 %), parcours privés (23,1 %) et parcours alfatiers (13,4 %). Plus que deux tiers des parcours sont localisés dans les zones semi-arides et arides (centre et sud ; Figure 1). En plus, les parcours collectifs couvrent 2,5 millions ha dont environ 2 millions ha se trouvent dans la région de Tataouine (FAO, 2016).

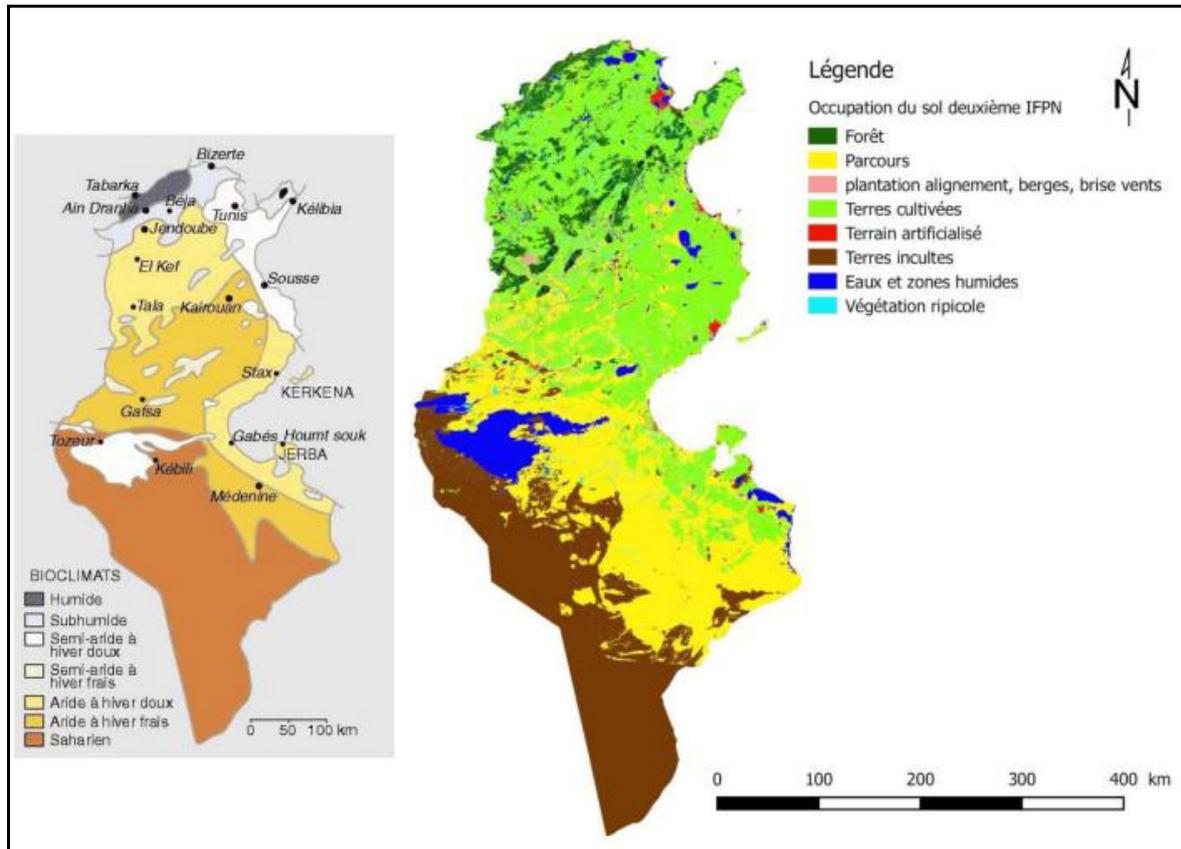


Figure 1 : Cartes des étages bioclimatiques (à gauche) et d’occupation du sol en Tunisie issue du second IFPN (à droite) (FAO, 2016)

La quantité et la qualité de la biomasse pastorale des parcours dépend essentiellement de leur composition botanique qui présente une grande diversité et varie d’une région à une autre. Les parcours forestiers sont essentiellement localisés dans le nord et le centre-ouest (Figure 1). Les trois-quarts des forêts sont situés dans le Nord. Environ 70% des forêts se trouvent dans le nord-ouest et le centre-ouest. Par contre, le centre-est et le sud sont presque totalement dépourvus de forêts (moins de 2% des superficies). Les principales espèces recensées dans les parcours forestiers sont : le pin d’alep (*Pinus halepensis*), le chêne liège (*Quercus suber*), chêne zeen (*Quercus canariensis*), l’eucalyptus (*Eucalyptus sp.*), le pin pignon (*Pinus pinea*), le pin maritime (*Pinus pinaster*), le thuya de berberie (*Tetraclinis articulata*) et l’acacia (*Acacia sp.*) (FAO, 2016) ainsi que d’autres espèces ligneuses (*Arbutus unedo*, *Calycotum*

villosa, *Cystus salvifolia*, *Cytisus triflorus*, *Genista aspalatoides*, *Phylleria angustifolia*, *Erica arborea*, *Myrtus communis*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Quercus suber* et *Viburnum tinum* ; Boubaker et al. (2004). Ces espèces sont très appréciées par les caprins et les bovins (la vache locale) et beaucoup moins par les ovins. La contribution des parcours forestiers au potentiel pastoral du pays est estimée à 430 millions d'UF soit 40% des ressources totales en année moyenne. Les parcours alfatiers sont localisés dans le centre de pays notamment dans les gouvernorats de Kasserine, Sidi Bouzid et Gafsa. Ils sont formés par des formations steppiques avec une dominance de l'alfa (*Stipa tenacissima*). Tandis que les parcours steppiques sont formés par des formations végétales ouvertes constituées de plantes xérophiiles herbacées ou ligneuses (*Gymnocarpus decander*, *Helianthemum kahiricum*, *Artémisia herba-alba*,...), le plus souvent en touffes espacées (FAO, 2016).

La végétation pastorale dans les régions du centre et du sud est une steppe composée essentiellement de *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba-alba*, *Artemisia campestris*, *Aristida pungens*, *Cynodon dactylon*, *Rhanterium suaveolens*, *Anarrhinum brevifolium*, *Plantago albicans*, *Stippa parviflora*, *Echiochilon fruticosum*, *Helianthemum lipii*, *Salsola vermiculata*, *Arthrophytum schmittianum*, *Lygeum spartum*, *Atractylis serratuloides* et des espèces halophytes (Chaieb et Zaâfour, 2000 ; Kayouli, 2000). Par ailleurs, les espèces les plus recensées dans les parcours du sud tunisien sont le tamarix (arbres), le salicornia, la salsola, le suaeda et l'atriplex qui sont des arbustes, l'aeluropus, le sporobolus, le puccinellia, qui sont des espèces pérennes et l'*Hordeum maritimum*, le *Lepturus cylindricus*, le frankenia et le melilotus qui sont des espèces annuelles (Kayouli, 2000). D'après une étude récente, Ayeub et al. (2016), le couvert végétal des parcours au sud tunisien est formé de plus que 30 espèces avec une dominance de *Stipa tenacissima* et d'autres espèces herbacées et ligneuses qui sont représentées essentiellement par *Launaea residifolia*, *Chrysanthemum coronarium*, *Lolium multiflorum* et *Erodium glaucophyllum*.

Les jachères sont principalement composées par un mélange de graminées et de légumineuses telles que *Lolium rigidum*, *Medicago sp.*, *Cutandia dichotoma*, *Matthio lalongipetala*, *Daucus syrticus*, etc (Kayouli, 2000). Toutefois, la composition floristique et surtout la qualité de la végétation des jachères dépendent essentiellement des pratiques culturales ainsi que les travaux du sol précédant la mise en repos de ces terres.

1.4.3.1. Contribution des ressources pastorales en alimentation animale

En Tunisie, la contribution des parcours dans la ration des animaux est en diminution continue. Ainsi, elle est passée de 63% en 1964 à 24% en 1990 (Rekik, 1998). Selon Ben Salem (2011), la contribution des parcours continue à diminuer et elle est estimée à 10-20% pour les années 2000. La diminution des superficies des parcours et la surexploitation de ces derniers sont à l'origine de leur dégradation et en conséquent à la faible contribution des parcours en alimentation animale. Par ailleurs, un déséquilibre entre les besoins du cheptel et les apports permis par les parcours. A titre d'exemple, selon Sghaier et Ouled Belgacem (2011), la charge ovine varie de 0,25 à 0,70 UO/ha/an dans les parcours du sud-Est de la Tunisie alors que la charge réelle est de 0,15 à 0,20 UO/ha/an. La contribution des parcours aux besoins du cheptel reste toujours variable à l'échelle spatiale et temporelle. En effet, l'état des parcours est différent d'une zone à une autre et d'une année à une autre puisque l'état de ces derniers dépend essentiellement de la pluviométrie. Toutefois, les ressources pastorales naturelles ne sont pas disponibles durant toute l'année. Les périodes d'exploitation des parcours sont généralement définies en se basant sur la disponibilité de la biomasse végétale dans ces derniers. Ainsi, les forêts peuvent être exploitées de septembre à juillet, les parcours steppiques de janvier à mai, les chaumes de juin à octobre et les jachères de mai à septembre (Ben Salem, 2011).

1.4.3.2. Amélioration des parcours

Les animaux passent une période assez longue de l'année sur les parcours ce qui augmente la pression sur ces derniers et réduit leur couvert végétal et par conséquent leur dégradation. Ainsi, le surpâturage conduit à la disparition surtout des espèces très appréciées par les animaux notamment les espèces pastorales appartenant aux familles de graminées et légumineuses (Chaieb et Zaâfour, 2000). La dégradation des parcours se traduit par une diminution du taux de recouvrement de la végétation notamment la diminution des espèces pérennes au profit des espèces annuelles (Figure 2).

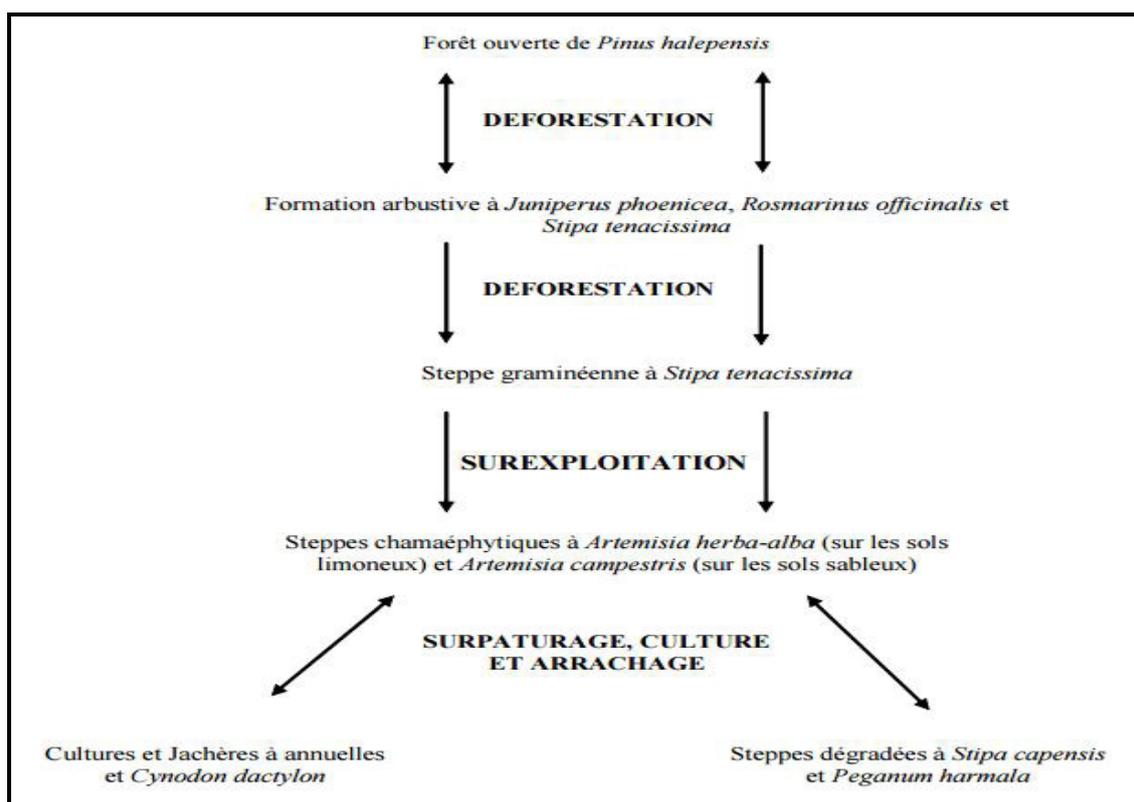


Figure 2 : Dynamique de la végétation en zone aride Nord-africaine (Le Houérou, 1981)

Des stratégies nationales sont adoptées pour améliorer l'état des parcours naturels tels que la plantation des arbustes fourragers, le semis d'espèces pastorales locales, la réhabilitation des parcours et la mise en défens des parcours dégradés. Par ailleurs, la plantation d'arbustes fourragers est la stratégie la plus importante. En effet, la plantation des arbustes fourragers présente un intérêt majeur surtout dans les zones arides et semi-arides. Ainsi, ils constituent des réserves fourragères sur pied aux animaux essentiellement pendant les périodes critiques. Ils permettent aussi de fournir des protéines, des vitamines et des éléments minéraux qui font souvent défaut dans les végétations herbacées. Les principaux arbustes fourragers plantés dans les parcours sont : l'*Atriplex*, l'*Acacia*, le cactus inerme (*Opuntia ficus indica*) et la luzerne arborescente (*Medicago arborea*) (Nefzaoui et Chermiti 1991 ; Ben Salem, 2011). Ainsi, la production moyenne de l'*Atriplex halimus* varie de 1600 à 5000 kg MS/ ha, celle de l'*Acacia cyanophylla* de 1300 à 1500 kg MS/ha et celle du cactus inerme de 600 à 3700 kg MS/ ha. Sur le plan nutritif, ces arbustes sont classés en trois groupes selon leur composition chimique (Nefzaoui et Chermiti, 1991). Un premier groupe formé par les arbustes caractérisés par une teneur élevée en matières azotées totales (MAT, 10 à 25% MS) et une faible teneur en cellulose brute (10 à 20% MS) tels que l'*Atriplex* (*nummularia*, *angulata*, *canescence*,

glauca, *halimus*) et la *Medicago arborea*. Le deuxième groupe est formé par les arbustes caractérisés par une teneur moyenne en MAT (13 à 15% MS) et une teneur relativement élevée en cellulose brute (20 à 25% MS) tel que l'acacia. Le troisième groupe est formé par le cactus inerme qui est caractérisé par des teneurs faibles en MAT (3 à 6% MS) et en cellulose brute (10 à 12% MS).

Aussi, l'introduction d'espèces herbacées constitue également un autre moyen pour améliorer l'état des parcours. Par ailleurs, l'association de certaines luzernes annuelles (*Medicago truncatula*, *Medicago littoralis*,...) avec les céréales permet d'augmenter la valeur pastorale des jachères (Ben Salem, 2011).

2. Croissance des agneaux et facteurs de variation

2.1. Croissance pondérale

La croissance est définie comme l'ensemble des modifications de poids, de forme et de composition anatomique et biochimique des animaux, depuis la conception jusqu'à l'abattage ou l'âge adulte (Prud'hon, 1976). Autrement dit, elle indique l'augmentation du poids de l'animal, qui représente la différence entre deux phénomènes contradictoires (l'anabolisme et le catabolisme), pendant une période donnée. La croissance pondérale de l'animal s'accompagne par des changements au niveau des proportions entre les différentes parties du corps de l'animal, c'est ce qu'on appelle le développement. Les différents tissus de l'organisme se développent simultanément mais avec des vitesses de croissance très différentes (Dudouet, 1997). Ainsi, la croissance et le développement sont deux phénomènes complémentaires et étroitement liés.

D'une façon générale, l'évolution du poids suit une allure sinusoïde et elle est marquée par deux phases principales (Figure 3). Une première phase de la naissance à la puberté pendant laquelle la croissance est accélérée. Une deuxième phase de la puberté à l'âge adulte pendant laquelle la croissance est ralentie (Dudouet, 2003).

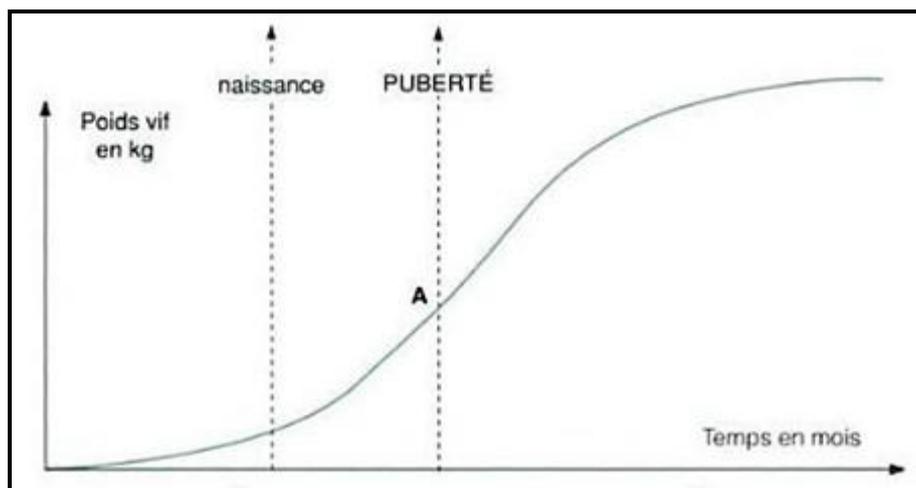


Figure 3 : Courbe théorique de la croissance chez les ovins (Dudouet, 2003)

2.2. Facteurs de variation de la croissance

La vitesse de croissance des agneaux varie selon des facteurs liés à l'animal (âge, génétique, sexe) et le système de l'élevage (mode de conduite, environnement,...). Toutefois, la race, le sexe et le mode de naissance des agneaux et l'alimentation sont les principaux facteurs qui influencent considérablement la croissance des agneaux.

2.2.1. Race

La race est la composante la plus importante qui détermine le potentiel génétique de l'animal. Ainsi, chaque race possède des caractéristiques morphologiques, physiologiques et biologiques qui lui sont propres. La race a une influence considérable sur la vitesse de croissance des animaux. Taylors (1980) a montré que les races de petit format présentent généralement une vitesse de croissance plus élevée que celles de grand format et que les agneaux de races à viande ont une croissance plus élevée que celle des agneaux de races laitières. En Tunisie, bien que les trois races ovines à viande ont un même poids adulte, les agneaux de la race Noire de Thibar présentent une supériorité du gain de poids par rapport aux agneaux de races Barbarine et Queue fine de l'Ouest (Ben Hammouda, 1981). Ce résultat est confirmé par Hajji et *al.* (2014) qui ont montré que quel que soit le mode de conduite, les agneaux de race Noire de Thibar ont montré le meilleur GMQ en bergerie et sur pâturage (197 et 185 g/j respectivement) par rapport aux agneaux de races Barbarine (157 et 138 g/j respectivement) et Queue Fine de l'Ouest (171 et 134 g/j respectivement). Par ailleurs, cette différence pourrait être liée aux caractéristiques maternelles et des conditions du milieu.

2.2.2. Sexe et mode de naissance

Les agneaux mâles sont généralement caractérisés par une vitesse de croissance plus rapide que celle des femelles. Une étude réalisée par Djemali et *al.* (1994) a montré que les agneaux mâles de race Barbarine ont réalisé des GMQ supérieurs par rapport aux agnelles pour les différents âge-type. Ainsi, ces auteurs ont rapporté qu'à l'âge de 90 jours la différence de poids est de 1 kg entre les deux sexes. Ces résultats sont en accord avec Rodríguez et *al.* (2008) qui ont montré d'effet sexe sur la vitesse de croissance d'agneaux de race Assaf. Aussi, Hamdi (2011) a montré une supériorité au niveau de la vitesse de croissance pour les mâles par rapport aux femelles des agneaux élevés sur un parcours naturel dans la région de Sidi Bouzid (77 vs. 49 g/j respectivement). Toutefois, la différence de la vitesse de croissance entre les deux sexes est due à l'action des hormones sexuelles qui agissent sur le potentiel de croissance des animaux (Jeremiah et *al.*, 1998). El Tawil et *al.* (1970) affirment que la différence de croissance liée au sexe est d'autant plus grande que l'âge des agneaux augmente. Ainsi, ces auteurs ont trouvé que le facteur sexe est responsable d'une variabilité de 1,6%, 3,5% et 21,9% respectivement du poids à la naissance, au sevrage et à un an d'âge. Ceci indique que la différence de croissance liée au sexe est probablement plus importante lorsque les agneaux atteignent la puberté. Pour cette raison, il est recommandé de conduire séparément les animaux de sexes différents.

Ben Hamouda (1985) et Djemali et *al.* (1994) ont souligné la présence d'une différence remarquable pour la vitesse de croissance entre les agneaux simples et multiples. Les agneaux doubles ont des croissances inférieures à celles des simples. En effet, bien que la production laitière chez les mères de multiples est plus élevée que celle chez les mères de simples mais la part de chaque agneau de double est plus faible. L'effet du mode de naissance apparaît au fur et à mesure que l'agneau est indépendant des effets maternels. Ainsi, Djemali et *al.* (1994) ont trouvé que la différence de gain de poids entre les agneaux simples et multiples augmente avec l'âge. Elle est de 0,6 kg à la naissance et devient de 5 kg à l'âge de 90 jours. Pour cette raison, les agneaux doivent disposer de foin de bonne qualité et d'aliment concentré à partir de l'âge de deux semaines.

2.2.3. Alimentation

L'alimentation influence en grande partie la croissance pondérale des animaux. Les apports de la ration ingérée par les animaux doivent couvrir leurs besoins alimentaires et déterminent leur croissance. En effet, les quantités d'énergie ingérées par l'agneau sont un facteur primordial de l'expression de ses potentialités de croissance (Aurousseau, 1984). D'une façon

générale, les agneaux de bergerie présentent un gain de poids supérieur à ceux conduits au pâturage en raison de l'activité physique importante ainsi que la quantité d'énergie offerte par l'herbe comparée à celle des céréales (Karim et *al.*, 2007; Jacques et *al.*, 2011). Par contre, Atti et *al.* (2013) ont trouvé une vitesse de croissance plus élevée pour les agneaux de race Barbarine conduits au pâturage de vesce et recevant 400 g/j d'aliment concentré en comparaison à ceux élevés en bergerie. Par ailleurs, Díaz et *al.* (2002), Priolo et *al.* (2002b), Atti et Mahouachi (2009) et Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) ont rapporté que le mode de conduite (parcours *vs.* bergerie) n'a pas eu un effet sur la croissance des agneaux. Cependant, cette différence entre les études semble être liée à différents facteurs notamment les conditions d'élevage, le type et la composition floristique du parcours, la quantité de l'aliment concentré distribuée, la ration équilibrée ou non (isoénergétique et isoprotéique),... En effet, l'alimentation équilibrée est l'un des facteurs qui permet de satisfaire les besoins alimentaires de l'animal en protéines et en énergie et en conséquent d'exprimer son potentiel génétique. Ainsi, Hamrouni et *al.* (1992) et Vachon et *al.* (2000) ont montré que le type d'aliment concentré utilisé pour l'engraissement des animaux influence considérablement la vitesse de croissance.

En Tunisie, pour les agneaux conduits au parcours, l'effet du pâturage dépend de l'année qui a une influence nette sur la croissance des agneaux. En effet, la quantité et la qualité de la biomasse végétale produite sur parcours varie selon les conditions climatiques. Ainsi, Atti et Abdouli (1997) ont montré que pendant une année favorable, la vitesse de croissance des agneaux de race Barbarine conduits sur parcours est plus élevée (144 g/j) que celle des agneaux conduits en bergerie (95 g/j). Aussi, Atti et Mahouachi (2011) ont rapporté que lorsque les conditions climatiques sont favorables, la vitesse de croissance des agneaux de race Barbarine conduits sur un parcours de la région nord et recevant 400 g/j d'aliment concentré est plus élevée que celle des agneaux de bergerie qui doivent recevoir 600 g/j d'aliment concentré pour obtenir la même vitesse de croissance. De même, Said (2009) a souligné une baisse des performances des agneaux sur parcours dans la région semi-aride au centre pendant la saison sèche.

Outre le mode de conduite, le niveau alimentaire de la ration a une influence importante sur la croissance des agneaux. Ainsi, Atti et Abdouli (1997) ont montré qu'une restriction alimentaire de moins 70% de la quantité d'aliment concentré a diminué la vitesse de croissance des agneaux de races Noir de Thibar (143 *vs.* 119 g/j) et Queue Fine de l'Ouest (148 *vs.* 92 g/j). De même, ces auteurs en 2001 ont montré que la vitesse de croissance des

agneaux de race Barbarine élevés en bergerie a augmenté de + 60% (95 vs. 152 g/j) avec l'augmentation du niveau alimentaire (200 à 600 g d'aliment concentré). Aussi, Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2013) ont rapporté une augmentation de la vitesse de croissance de +45 g/j (77 vs. 121 g/j) lorsque le niveau d'aliment concentré passe de 200-300 g/j à 400-600 g/j pour des agneaux de race Barbarine élevés en bergerie. Par ailleurs, Mahouachi et Atti (2005) affirment que la pratique d'une restriction alimentaire suivie d'une réalimentation présente un intérêt. Ainsi, ces auteurs ont montré que les agneaux ayant recevant un niveau bas ont présenté, en période de réalimentation, des GMQ similaires à ceux non restreints. Quant au niveau azoté de la ration, une étude réalisée par Devincenzi et *al.* (2014) a montré que les agneaux recevant 50 et 75% MS de la ration de luzerne ont montré un GMQ plus élevé que ceux recevant 0 et 25% de luzerne. Par contre, Rocha et *al.* (2004) et Hajji et *al.* (2015) ont rapporté qu'une variation des teneurs en azote d'aliment concentré entre 14 et 20% et 11 et 16% respectivement n'a pas eu un effet sur la croissance des agneaux. De même, Ben Ettoumia et *al.* (2014) et suite à une étude par méta-analyse ont montré que la variation de l'apport azoté ne se traduit pas par une variation de la croissance des agneaux, sauf si l'apport énergétique est variable. Ainsi, Haddad et *al.* (2001) affirment qu'à partir d'un niveau protéique optimal, la croissance des agneaux ne varie plus.

3. Qualité bouchère de la carcasse: critères d'appréciation et facteurs de variation

3.1. Critères d'évaluation de la qualité de la carcasse

La carcasse est définie comme étant le reste de l'animal après abattage, saignée, dépouillement, éviscération et enlèvement de certaines parties : tête, pieds (sectionnées à la partie centrale des carpes et des tarses), mamelles, organes génitaux alors que les rognons et leur graisse, la bosse, la hampe, l'onglet, la queue restent attenants (Colomer-Rocher, 1988). Selon Flamant et Bocard (1966), plusieurs critères sont utilisés pour évaluer la qualité de la carcasse. Ces critères peuvent être classés en deux classes : les critères quantitatifs (les poids, les rendements et la composition tissulaire de la carcasse) et les critères qualitatifs (la conformation, l'état d'engraissement, la fermeté et la couleur du gras).

3.1.1. Critères quantitatifs

3.1.1.1. Poids de la carcasse

Le poids est un critère d'importance majeure pour le classement des carcasses. Ainsi, selon Fisher et De Boer (1994), on distingue différents types de poids: poids final (poids de l'animal

un jour avant l'abattage), poids à jeun (poids de l'animal juste avant l'abattage après un jeûne de 16-18 heures), poids de la carcasse chaude (poids de la carcasse après 45 minutes d'abattage) et poids de la carcasse froide (poids de la carcasse maintenue à 4°C pendant 24 h après l'abattage).

3.1.1.2. Rendements de la carcasse

Les rendements de la carcasse constituent également des critères très importants pour l'appréciation de la qualité de la carcasse. D'autre part, ils permettent de déterminer la valeur commerciale de la carcasse surtout pour le boucher. Les différents rendements de la carcasse calculés sont définis par Magali (1989) et Dudouet (1997) :

- **Rendement vrai** : Ce rendement représente le rapport entre le poids de la carcasse chaude et le poids vif vide qui est donné par la relation suivante :

$$\text{Rendement vrai} = (\text{Poids de la carcasse chaude} / \text{poids vif vide}) * 100$$

- **Rendement commercial** : Ce rendement traduit le rapport entre le poids de la carcasse froide et le poids à l'abattage ou poids à jeun.

$$\text{Rendement commercial} = (\text{Poids de la carcasse froide} / \text{poids vif à jeun}) * 100$$

- **Rendement à la découpe** : Il représente la part de chaque morceau de découpe.

$$\text{Rendement à la découpe} = (\text{poids du morceau} / \text{poids de la carcasse froide}) * 100$$

- **Le rendement en viande** : Il est appelé également rendement au désossage qui représente la part de la viande consommable dans la carcasse.

$$\text{Rendement en viande} = ((\text{muscle} + \text{tissu adipeux}) / \text{poids de la carcasse}) * 100$$

2.1.1.3. Composition tissulaire de la carcasse

La carcasse est composée de trois types de tissus anatomiques: le tissu musculaire, le tissu adipeux et le tissu osseux. La composition tissulaire et plus précisément les proportions en muscles et en tissus adipeux déterminent la valeur commerciale des carcasses. En effet, l'objectif recherché par le boucher ainsi que le consommateur est d'avoir le maximum de muscles avec le minimum de gras, d'os et de déchets. Les différents composants anatomiques de la carcasse sont obtenus par dissection (Fisher et De Boer, 1994).

3.1.2. Critères qualitatifs

3.1.2.1. Conformation

L'état de la conformation de la carcasse constitue l'un des principaux éléments déterminants de la valeur commerciale de la carcasse. La conformation de la carcasse renseigne sur le développement des profils de la carcasse notamment du quartier arrière, le dos et l'épaule (Boccard *et al.*, 1964). Ainsi, différentes méthodes objectives et subjectives sont utilisées pour l'évaluation de la conformation des carcasses. Par exemple, le règlement européen n° 2137/92 (1992) a défini une grille dite SEUROP avec la classe S (supérieure), E (excellente), U (très bonne), R (bonne), O (assez bonne) et P (médiocre). La classe S désigne des carcasses avec un développement musculaire exceptionnel avec double muscle (type culard), E une excellente conformation et la classe P désigne une carcasse ayant un développement musculaire réduit. Aussi, l'état de conformation peut être apprécié par des mensurations linéaires réalisées directement sur les carcasses (Boccard *et al.*, 1964 ; Fisher et De Boer, 1994 ; Laville *et al.*, 2002). Par ailleurs, ces auteurs rapportent que les animaux ayant une bonne conformation sont ceux qu'ont des carcasses courtes, une profondeur de poitrine développée et des index de compacité supérieurs.

3.1.2.2. Etat d'engraissement

L'état d'engraissement représente aussi un critère très important dans la détermination de la qualité de la carcasse et plus précisément sa valeur commerciale. Ainsi, il donne une idée sur l'importance de la graisse à l'extérieur de la carcasse et sur la face interne de la cage thoracique (Boccard *et al.*, 1964). L'état d'engraissement peut être évalué par des méthodes objectives ou subjectives. Par ailleurs, Fisher et De Boer (1994) ont adapté la mesure de l'épaisseur du gras dorsal directement sur la carcasse et la pesée du gras rénal pour évaluer l'état d'engraissement. De même, l'état d'engraissement peut être apprécié et noté en tenant compte de l'importance de la graisse de couverture ainsi que celle de la graisse interne abdominale et thoracique. La carcasse recouverte d'une légère pellicule de gras, est la plus recherchée (Journal Officiel de l'Union Européenne, 2008). Aussi, Russel *et al.* (1969) ont déjà utilisé cette même grille de notation pour une appréciation *in vivo* de l'adiposité des animaux vivants sur pieds suite à une palpation au niveau des dernières vertèbres thoraciques et les premières vertèbres lombaires.

3.1.2.3. Fermeté et couleur du gras de couverture

La fermeté et la couleur du gras de couverture, plus précisément au niveau de la culotte, le dos et l'épaule, constituent des critères importants de la qualité de la carcasse et déterminent en partie l'acceptabilité et la décision d'achat du consommateur. En effet, un gras de qualité est un gras ferme et de couleur claire (Normand et *al.*, 2005). La fermeté du gras de couverture est appréciée par la pression exercée par le doigt sur ce gras. Pour un gras ferme, la pression n'entraîne pas de déformation du gras. Alors que pour un gras mou, ce gras se déforme et laisse des traces de matières grasses sur le doigt (Institut de l'Elevage, 2002).

La couleur du gras de la carcasse peut être évaluée par des méthodes objectives ou subjectives. Ainsi, elle peut être mesurée par différents appareils tels que les colorimètres, les spectrocolorimètres et les spectrophotomètres. La détermination de la couleur par ces techniques instrumentales est basée sur les normes de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE, 1986) en coordonnées rectangulaires L^* , a^* et b^* . Les paramètres de la couleur sont la luminosité (L^* : de 0 à 100), l'indice de rouge (a^* : de +60 à -60) et l'indice de jaune (b^* : de +60 à -60) (Moëvi, 2006). Aussi, la couleur du gras peut être déterminée subjectivement par une observation visuelle. Ainsi, l'Institut de l'Elevage (2002) a adapté une grille de notation de la couleur du gras de couverture qui renferme 4 notes :

- **Note 1:** Le gras de couverture est blanc sur toute la carcasse.
- **Note 2:** Le gras est très légèrement coloré sur une partie de la carcasse
- **Note 3:** Le gras est coloré sur toute la surface ou plus fortement coloré une partie seulement de la carcasse
- **Note 4:** Le gras est fortement coloré sur l'ensemble de la carcasse

3.2. Facteurs de variation de la qualité de la carcasse

La qualité de la carcasse peut être affectée par plusieurs facteurs qui sont classés en deux principaux groupes : les facteurs intrinsèques ou facteurs liés à l'animal (la race, le sexe, le poids et l'âge à l'abattage) et les facteurs extrinsèques ou facteurs environnementaux (année ou saison, mode de production, niveau et la nature de l'alimentation, transport et abattage des animaux,...). Les facteurs affectant la qualité de la carcasse d'agneau selon Sañudo et *al.* (1998) sont résumés dans le tableau 1. Ces auteurs ont rapporté que les facteurs intrinsèques ont des effets très significatifs sur les différents paramètres de la qualité de la carcasse à l'exception de la conformation qui varie très peu avec le poids et l'âge à l'abattage. Alors que

pour les facteurs extrinsèques, l'alimentation représente le facteur le plus important qui influe plus la qualité de la carcasse.

Tableau 1 : Facteurs de variation de la qualité de la carcasse d'agneau

	Poids de la carcasse	Rendement vrai	Conformation	Etat d'engraissement
Facteurs intrinsèques				
- Croisement	***	**	****	***
- Gène	**	**	****	**
- Sexe	***	**	**	***
- Age et poids	****	***	*	****
Facteurs extrinsèques				
- Saison	***	*	0	**
- Alimentation	***	***	*	****
- Additifs alimentaires	**	*	**	****
Facteurs pré-abattage				
- Jeûne, stress et transport	*	****	0	0
- Abattage	**	**	0	*

0: Pas d'effet ; * : peu d'effet ; ** : effet modéré ; *** : grand effet; **** : fondamental

(Sañudo et *al.*, 1998)

3.2.1. Sexe

Plusieurs études ont montré qu'à un même poids de carcasse la différence entre le sexe, pour la qualité de la carcasse, concerne essentiellement le tissu adipeux (Díaz et *al.*, 2003 ; Dragomir, 2005 ; Peña et *al.*, 2005; Santos et *al.*, 2007). En effet, les femelles sont plus précoces et atteignent leur maturité physiologique plus vite que les mâles (Butterfield, 1988). Une étude réalisée par Díaz et *al.* (2003) a montré que les carcasses des femelles d'agneaux de race Manchego sont plus grasses que celles des mâles. En effet, les carcasses des femelles ont montré un gras de couverture plus épais (2,57 vs. 1,66 mm) comparé à celles des mâles qui présentent des parts plus élevées en muscle (54,64 vs. 52,75%) et plus faibles en gras (14,05 vs. 19,70%) de la carcasse. Aussi, Dragomir (2005), Peña et *al.* (2005) et Santos et *al.* (2015) ont rapporté que les carcasses des agneaux mâles sont plus maigres que celles des femelles. De même, Santos et *al.* (2007) ont montré que les parts du muscle au niveau de la cuisse et la carcasse sont plus élevées que ceux des agneaux mâles. Par contre, ces auteurs

ont rapporté que les parts du gras pour les différents morceaux de découpe ainsi que la carcasse ont été similaires entre les deux sexes. Aussi, cette étude a montré que les poids, les rendements et l'état de conformation des carcasses n'ont pas été affectés par le sexe des agneaux.

3.2.2. Race

Sañudo *et al.* (1997) et Laville *et al.* (2002) ont montré que la race a une influence remarquable sur le rendement, l'état de conformation et d'engraissement de la carcasse, la couleur du gras de couverture et la composition tissulaire. Ainsi, ces auteurs ont rapporté que les différences de la qualité de la carcasse pour le facteur race sont liées essentiellement aux différences des caractéristiques morphologiques, physiologiques et biologiques entre les races. Aussi, Ekiz *et al.* (2009), Peña *et al.* (2009) et Turner *et al.* (2014) ont montré un effet significatif de la race sur les poids, les rendements et la conformation de la carcasse. A l'échelle nationale, une étude réalisée par Atti et Abdouli (2001) a montré que les carcasses des agneaux de race Barbarine sont plus grasses que celles des races Queue fine de l'Ouest et Noire de Thibar. Toutefois, ces auteurs ont souligné que lorsque le gras caudal n'est pas pris en considération, les trois races présentent des pourcentages en gras similaires. Ce résultat est confirmé par Hajji *et al.* (2015) qui ont montré que la race a eu un effet sur la qualité de la carcasse. Ainsi, les carcasses des agneaux de race Barbarine présentent un rendement vrai plus élevé (49,5%) que celui de la race Queue fine de l'Ouest (47,9%) et Noire de Thibar (48%). Par contre, les carcasses des agneaux de race Noire de Thibar ont montré la part la plus élevée en muscle (52,4 *vs.* 49,8 et 48,4%) et la plus faible en gras (27,4 *vs.* 31,7 et 36,3%) comparé aux autres races. Aussi, ces auteurs ont trouvé que les rendements de découpe des différents morceaux ont été affectés par le facteur race. Les carcasses des agneaux de race Noire de Thibar ont montré des parts plus élevées en cuisse et en épaule par rapport aux deux autres races.

3.2.3. Age et poids à l'abattage

D'une façon générale, l'augmentation du poids d'abattage ou l'alourdissement des animaux et par conséquent leur âge à l'abattage se traduit par une augmentation des poids et du rendement des carcasses. Ainsi, Abdullah et Qudsieh (2008) ont montré que les carcasses des agneaux abattus à 40 kg sont plus lourdes (8,5 *vs.* 8,1 kg et 18,4 *vs.* 17,9 kg respectivement pour les poids des carcasses chaudes et froides) et présentent un rendement plus élevé (48,2

vs. 52,1%) que celles des agneaux abattus à 20 kg. Ce résultat est confirmé par Liu et *al.* (2015).

Aussi, Alexandre et *al.* (2008) ont rapporté que le poids de la carcasse froide augmente proportionnellement (11,70, 13,80 et 15,60 kg) avec l'augmentation du poids d'abattage (28, 32 et 36 kg, respectivement). Par contre, ces auteurs ont trouvé que le rendement de la carcasse (59,30%) n'a pas été affecté par le poids d'abattage. Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2013) ont aussi montré une augmentation du poids de la carcasse chaude (+ 3,9 kg) et froide (+ 3,2 kg) et en rendement vrai (+ 2%) et commercial (+ 1,6%) lorsque le poids d'abattage passe de 34 kg à 41 kg.

Diaz et *al.* (2002), Abdullah et Qudsieh (2008), Santos et *al.* (2015) ont montré que l'augmentation du poids d'abattage permet d'améliorer l'état de conformation des carcasses. En effet, Laville et *al.* (2002) affirment que l'amélioration de la conformation de la carcasse est liée essentiellement à une augmentation du rendement de carcasse et du rendement musculaire. Ainsi, Santos et *al.* (2015) ont rapporté que les carcasses des agneaux plus âgés (128 vs. 110 j) présentent des carcasses et des cuisses plus longues (61,6 vs. 54,3 cm et 29,3 vs. 26,5 cm respectivement), une profondeur de poitrine plus développée (21,3 vs. 19,5 cm) et un index de compacité plus élevé (286 vs. 231g/cm). De même, Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2013) ont montré que les carcasses les plus longues appartiennent aux agneaux les plus âgées (185 vs. 121 j). Aussi, ces auteurs ont rapporté que seulement la part de la queue dans la carcasse augmente et celle de la cuisse diminue avec le poids d'abattage. Alors que les parts des autres morceaux de découpe n'ont pas été affectées par le poids d'abattage. Aussi, Abdullah et Qudsieh (2008) ont rapporté une augmentation de la part de la queue (3,4 vs. 10,2%) et une diminution des proportions de la cuisse (35,6 vs. 32,3%) et de l'épaule (41,4 vs. 36,9%) avec l'alourdissement du poids d'abattage (20-40kg). Quant à la composition tissulaire, Santos et *al.* (2015) ont montré que l'augmentation du poids d'abattage a induit une augmentation dans la part du gras dans les différents morceaux de découpe, alors que les parts en muscle n'ont pas été affectées par le poids d'abattage. Ces variations semblent être liées au fait que la composition tissulaire de la carcasse des animaux et en particulier de l'agneau change d'une façon remarquable pendant la période naissance- maturité. En effet, les différents tissus se forment avant la naissance mais, avec le temps ils ne se développent pas à la même vitesse (Figure 4). Ainsi, le tissu osseux se forme avant la naissance et continue à se développer quelques mois après la naissance de l'animal avec une vitesse de croissance moins importante. Ensuite, le tissu musculaire a une forte croissance juste après la naissance jusqu'à la puberté. Alors que, le tissu adipeux se développe en dernier lieu. Ceci se traduit par

un pourcentage plus élevé en muscle par rapport au gras lorsque l'animal est abattu jeune. Par contre, la part du gras augmente aux dépens du tissu musculaire lorsque l'animal est abattu trop tard.

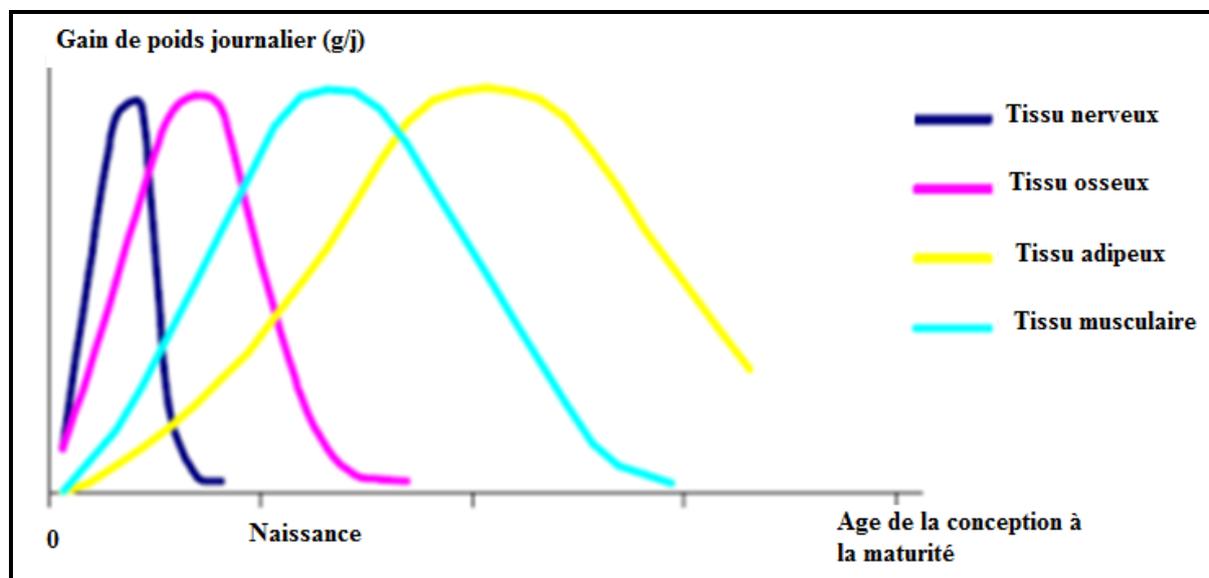


Figure 4 : Courbes de développement des différents tissus chez les ruminants (Dudouet, 1997)

3.2.4. Alimentation

L'alimentation équilibrée est l'un des facteurs qui permet à un animal d'exprimer son potentiel génétique. Le mode de conduite, les niveaux énergétique et azoté ont une influence importante sur la vitesse de croissance des animaux et en conséquence sur le développement des différents morceaux et tissus.

3.2.4.1. Mode de conduite

Plusieurs travaux ont bien mis en évidence l'effet du mode de conduite (bergerie vs. parcours) sur la qualité de la carcasse. Murphy et *al.* (1994) ont montré que les carcasses des agneaux élevés sur le pâturage de luzerne sont plus maigres que ceux nourris avec de ray-grass et du concentré. De même, McClure et *al.* (1995) ont montré que les agneaux élevés au pâturage ont généralement une proportion de muscle supérieure et une teneur de gras plus faible que les agneaux alimentés à base de céréales. Aussi, Atti et Mahouachi (2009) ont rapporté que bien que les agneaux de race Barbarine élevés en bergerie ou sur un parcours naturel aient le même poids vif final et la même vitesse de croissance, les carcasses des agneaux élevés en bergerie présentent un poids et un rendement plus élevé de +2,30 kg et 2,20% respectivement. En effet, le rendement commercial varie avec la nature de la ration qui a une influence sur la

quantité du contenu digestif. En effet, les rations riches en aliments concentrés conduisent à des contenus plus faibles que les rations à base de fourrages notamment les fourrages secs, riches en fibres. Aussi, ces auteurs ont souligné que la conduite des agneaux sur parcours a permis d'augmenter le gain en muscle au niveau de la cuisse de +130 g/kg et de réduire celui en gras de -129 g/kg par rapport à celle en bergerie. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Priolo et *al.* (2002b), Jacques et *al.* (2011) et Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015). Ces auteurs ont rapporté que les carcasses des agneaux conduits au pâturage avaient une faible adiposité par rapport à celles des agneaux élevés en bergerie. Ainsi, Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) ont montré que le gras de couverture des carcasses des agneaux de race Barbarine élevés en bergerie est plus épais que celui des agneaux du parcours (3,7 vs. 1,1 mm). Bien que les gains moyens quotidiens (GMQ) des deux groupes d'agneaux soient similaires. En effet, Borton et *al.* (2005) et Karim et *al.* (2007) ont souligné que la faible adiposité des carcasses des agneaux d'herbe semble être liée essentiellement aux besoins énergétiques élevés et à l'activité physique importante associés au pâturage. Par contre, Prache et *al.* (2009) ont montré que le mode de conduite des agneaux n'a pas eu une influence sur l'état d'engraissement et la conformation de la carcasse. Aussi, Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) ont souligné que le mode de conduite des agneaux n'a pas eu d'effet sur les indices de compacité de la cuisse et de la carcasse. Ceci est en accord avec les constatations de Sanudo et *al.* (1998) qui affirment que l'alimentation a peu d'influence sur la conformation des agneaux.

Díaz et *al.* (2002), Priolo et *al.* (2002b), Joy et *al.* (2008) et Jacques et *al.* (2011) ont souligné une coloration jaune, un indice de jaune (b^*) plus élevé du gras de couverture des agneaux d'herbe comparé à ceux de bergerie. Cette coloration du gras est associée essentiellement aux β -carotènes présentes dans l'herbe verte. En effet, Prache et *al.* (2007) ont rapporté que l'herbe et les fourrages verts sont très riches en caroténoïdes (430 à 700 mg/kg MS) qui sont responsables de la coloration jaune du gras.

3.2.4.2. Nature et niveau d'alimentation

La quantité d'énergie ingérée par l'animal a une influence importante sur sa vitesse de croissance et en conséquence sur la qualité de la carcasse. Papi et *al.* (2011) ont souligné que les agneaux recevant une ration composée d'un ratio foin de luzerne: aliment concentré de 50:50 ou 30:70 présentent des carcasses plus lourdes (35,1 vs. 31 kg) et un rendement plus élevé (56,4 vs. 51,4%) par rapport aux agneaux recevant 70% de foin de luzerne et 30% d'aliment concentré. Par contre, ces derniers ont montré des carcasses moins grasses que les

autres traitements. Ces auteurs ont rapporté que la quantité de muscle dans la carcasse et les rendements de découpe des morceaux nobles n'ont pas été modifiées. Aussi, ces auteurs ont souligné que l'augmentation de la part d'aliment concentré dans la ration d'agneau jusqu'à 90% a réduit légèrement le poids vif à l'abattage et les poids de la carcasse sans aucun effet sur les autres paramètres de la qualité de carcasse. Aussi, Jacques et *al.* (2011) ont montré une augmentation de l'état d'engraissement et du rendement de la carcasse lorsque le niveau énergétique de la ration augmente. De même, Archimède et *al.* (2008) ont rapporté que l'augmentation de la quantité de concentré de 150 à 600 g/j a permis d'améliorer le rendement à l'abattage de 41 à 46%. Ces résultats sont en accord avec ceux de Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2013). Ainsi, ces auteurs ont rapporté une augmentation de +1,7 kg, +1,5% et +2,7% respectivement pour le poids de la carcasse froide et les rendements vrai et commercial lorsque le niveau d'aliment concentré passe de 200-300 g/j à 400-600 g/j pour des agneaux de race Barbarine élevés en bergerie. Par contre, ces auteurs ont trouvé que les parts des morceaux nobles et la queue n'ont pas été affectées par la quantité d'aliment concentré distribuée. Aussi, ces auteurs ont souligné que bien que les carcasses des agneaux qui ont reçu le niveau élevé d'aliment concentré soient plus grasses, le niveau d'aliment concentré a légèrement influencé les rendements en viande des morceaux.

Quant au niveau protéique, Devincenzi et *al.* (2014) ont rapporté que le poids vif à l'abattage et (36,2 ; 36,5 ; 41,2 et 43,7 kg) le poids de la carcasse froide (12,9; 13,3; 16,1 et 17,6 kg) augmentent proportionnellement avec la quantité de luzerne distribuée (0, 25 ; 50 et 75% MS de la ration) dans la ration des agneaux. Aussi, ces auteurs ont trouvé que les agneaux recevant 50 et 75% de luzerne ont montré un gras de couverture plus épais (1,6 et 2,1 *vs.* 1,1 mm) et un poids du gras péri-rénal plus élevé (189 et 196 *vs.* 96 et 124 g) que les agneaux recevant 0 et 25% de luzerne. Par contre, Hajji et *al.* (2015) ont montré que l'engraissement des agneaux de race Barbarine en bergerie avec deux niveaux protéiques (11 et 16% MAT/kg MS de concentré) n'a pas eu un effet sur le poids d'abattage et la composition tissulaire (50 % de muscle, 32 % de gras et 18 % d'os). De même, Kioumarzi et *al.* (2008) ont rapporté que l'augmentation de la teneur en azote de la ration de 12 à 16% n'affecte pas le rendement de la carcasse. Aussi, Rocha et *al.* (2004) n'ont pas montré de variation du poids carcasse et de rendement en testant quatre niveaux d'azote (14,16, 18 et 20%).

Non seulement les niveaux d'énergie et d'azote ont une influence sur la qualité de la carcasse mais aussi, la nature des aliments pourrait l'affecter. Une étude réalisée par Hamdi (2011) sur le type de parcours (parcours naturel *vs.* prairie d'orge en vert) a montré que les carcasses des agneaux conduits sur parcours présentent les rendements les plus élevés et ont montré une

meilleure conformation et des proportions plus élevées en muscles et les plus faibles en gras par rapport à ceux élevés sur une prairie d'orge en vert. Cette étude a montré que le type de parcours n'a pas eu un impact sur l'état d'engraissement des carcasses. De même, Somasiri et al. (2015) ont montré que le type de pâturage affecte la qualité de la carcasse des agneaux. Ces auteurs ont montré que les agneaux élevés sur des pâturages à base de *Plantago lanceolata* et *Cichorium intybus* présentent des carcasses plus lourdes (18,7 et 18,4 vs. 15,7 kg) et un gras de couverture plus épais (8 et 8,2 vs. 4,9 mm) que ceux qui ont été élevés sur un pâturage à base de *Lolium perenne*. Par ailleurs, Atti et Mahouachi (2009) ont montré que la substitution partielle du tourteau de soja par la féverole n'a pas eu d'effets sur les poids, les rendements et la composition tissulaire de la carcasse des agneaux de race Barbarine.

4. Qualité de la viande

La qualité est définie comme étant l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un service ou d'un produit qui lui confère l'aptitude à satisfaire les besoins exprimés ou implicites des consommateurs de ce service ou de ce produit (Luning et al., 2002). D'autre part, selon la CEE la viande est définie comme étant " toutes parties propres à la consommation humaine d'animaux domestiques des espèces bovine, porcine, ovine et caprine, ainsi que de solipèdes domestiques". Selon Dragomir (2005), la qualité de la viande comporte plusieurs groupes qui peuvent être classés en quatre : qualité organoleptique (couleur, jutosité, tendreté, flaveur), nutritionnelle (teneurs en protéines, lipides, minéraux et vitamines), technologique (pouvoir de rétention d'eau, pH,...) et hygiénique (micro-organismes pathogènes,

4.1. Qualités organoleptiques

4.1.1. Couleur de la viande

Pour le consommateur, la couleur de la viande détermine en grande partie l'acceptabilité et la décision d'achat. La couleur de la viande recherchée par le consommateur est rouge vif (Khliji et al., 2010). La principale composante responsable de la coloration de la viande est la myoglobine (Renner, 1990 ; Moëvi, 2006). La teneur et l'état de la myoglobine détermine ainsi l'intensité de la coloration du muscle. Ainsi, la couleur de la viande peut être définie par trois principales composantes : la teinte, la saturation et la luminosité. La teinte et la saturation dépendent respectivement de l'état chimique et la concentration musculaire de la myoglobine. Par contre, la luminosité est liée essentiellement aux caractéristiques physico-chimiques du muscle qui ont une influence sur la diffusion de la lumière.

La myoglobine est présente sous trois formes selon le degré d'oxydation du fer dans le noyau héminique (Figure 5). Dans le cas d'une viande fraîche ou conservée sous vide, la couleur est rouge et uniforme et la myoglobine est sous forme réduite (Mb). Par la suite, l'exposition de la viande à l'air induit une transformation de l'état de la myoglobine de la forme réduite à la forme oxygénée (l'oxymyoglobine : MbO₂) et la viande est de couleur rouge vif qui est préférée par le consommateur. Par contre, une exposition prolongée à l'air favorise le développement d'une couleur brune à la surface de la viande à cause de l'oxydation de la myoglobine en metmyoglobine (MetMb) (Oury *et al.*, 2009). Aussi, la structure physique du muscle qui est liée en partie au pH, a une influence sur la couleur de la viande (Mancini et Hunt, 2005). Cette dernière dépend du type de muscle et de sa composition en fibres musculaires. Ainsi, les muscles qui contiennent plus des fibres oxydatives (type I) et oxydoglycolytiques (IIa) ont une couleur plus rouge et plus foncée que ceux contenant plus de fibres glycolytiques (IIx) due à leur teneur élevée en myoglobine (Micol et Picard, 1997).

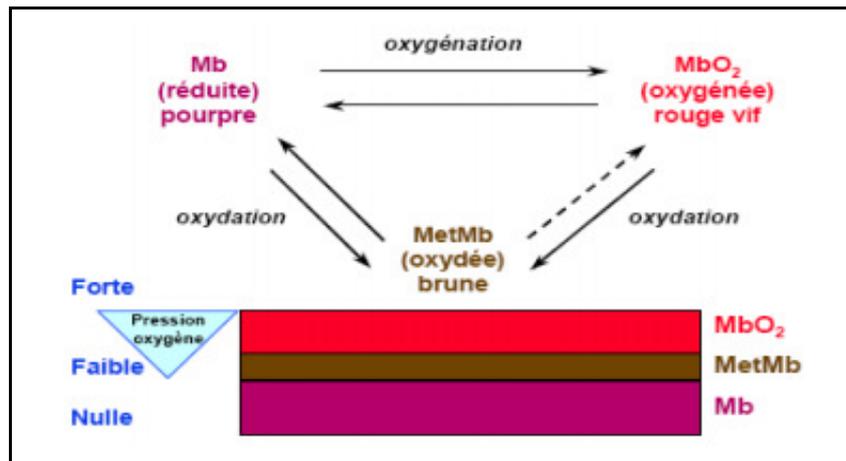


Figure 5 : Les différentes formes chimiques de la myoglobine (Moëvi, 2006)

Une étude réalisée par Hopkins (1996) dans l'objectif d'obtenir une relation entre la couleur de la viande d'agneau et l'acceptabilité du consommateur, a montré que lorsque la luminosité (L*) est inférieure à 35, les consommateurs considèrent la viande trop sombre. Ainsi, une viande fraîche est considérée acceptable par le consommateur lorsque la valeur de L* est de 34-35 ou plus et l'indice de rouge (a*) est inférieur à 19. Aussi, Khaliji *et al.* (2010) ont rapporté que la viande ovine peut être considérée comme « normale » lorsque la valeur de L* est supérieure à 34 et celle de a* est supérieure à 9,5.

4.1.2. Tendreté

La tendreté est définie comme étant la facilité avec laquelle une viande se laisse trancher et mastiquer (Coibion, 2008). Elle représente le deuxième paramètre important recherché par le consommateur, après la couleur. La tendreté de la viande est principalement liée au type des fibres et aux caractéristiques du collagène dans le muscle. En effet, le collagène agit sur la tendreté de la viande par sa quantité ainsi que sa solubilité, une viande est d'autant plus tendre lorsque la teneur en collagène est plus faible et que le collagène est plus soluble. Une synthèse bibliographique réalisée par Hocquette et *al.* (2005) montre que les muscles riches en fibres oxydatives et/ou oxydoglycolytiques sont caractérisés par une viande plus dure que ceux contenant plus de fibres glycolytiques. Ainsi, les fibres musculaires sont classées en trois groupes (Jurie et Listrat, 2010 ; Tableau 2) selon leur vitesse de contraction et leur métabolisme énergétique prédominant:

- **Fibre de type I** (rouge lent) : caractérisé par une contraction lente et un métabolisme oxydatif.
- **Fibre type IIa** (rouge rapide) : caractérisé par une contraction rapide et un métabolisme mixte.
- **Fibre type IIx** (blanc rapide): caractérisé par une contraction rapide et un métabolisme glycolytique

Tableau 2 : Caractéristiques structurales, contractiles et métaboliques des principaux types de fibres du muscle

	Fibres type I	Fibres type IIa	Fibres type IIx
Structure			
Surface de section	+	++	+++
Vascularisation	+++	+++	+
Mitochondrie	+++	+++	+
Myoglobine	+++	+++	+
Couleur	Rouge	Rouge	Blanche
Contraction			
Vitesse de contraction	Lente	Rapide	Rapide
Résistance à la fatigue	Elevée	Intermédiaire	Faible
Activité de la myosine ATPase	Lente	Rapide	Rapide
Métabolisme			
Métabolisme prépondérant	Oxydatif	Oxydo-glycolytique	Glycolytique
Réserve en glycogène	+	+++	+++
Réserve en triglycérides	+++	++	+
Activité enzymes glycolytiques	+	++	+++
Activité enzymes oxydatives	+++	++	+

(Bacou et Vigneron, 1976; cité par Jurie et Listrat, 2010)

4.1.3. Jutosité

La jutosité est la sensation d'humidité perçue lors de la mastication de la viande. Cette sensation d'humidité est la résultante de deux composantes. La première est la sensation de libération d'eau dès les premières mastications qui dépend de la quantité d'eau liée dans la viande. Cette sensation est appelée jutosité initiale (Normand et *al.*, 2005). Ensuite, la jutosité est plus ou moins soutenue par l'effet du gras intramusculaire qui exerce une action stimulante sur la sécrétion salivaire (Geay et *al.*, 2002), c'est la jutosité finale. La teneur en lipide joue un rôle important dans la jutosité de la viande. Ainsi, une viande riche en lipides est plus juteuse qu'une viande maigre. Par conséquent, la jutosité dépend principalement de l'état d'engraissement des animaux pour obtenir une quantité suffisante du gras intramusculaire. Aussi, la jutosité de la viande dépend également de son aptitude à libérer de l'eau.

4.1.4. Flaveur

La flaveur est définie comme étant l'ensemble des propriétés gustatives et olfactives perçues lors de la consommation de la viande. Ainsi, la viande crue est caractérisée par une faible flaveur, mais elle contient des précurseurs de la flaveur qui donnent naissance à des composants aromatiques volatils qui sont produits lors de la cuisson par les réactions chimiques (Micol et *al.*, 2010). Les composés aromatiques responsables de la flaveur de la viande sont issus de deux réactions : la réaction de Maillard et l'oxydation des lipides.

- Réaction de Maillard : Cette réaction se produit entre un sucre réducteur et un groupement aminé au cours de la cuisson et conduit à la formation de substances responsables de l'arôme, des odeurs et des pigments responsables d'une flaveur donnée d'un aliment cuit (Cui et Decker, 2016). Les composés carbonylés des lipides participent à la réaction de Maillard et sont à l'origine de l'apparition de la flaveur caractéristique de la viande.
- Dégradation ou oxydation des lipides : Cette réaction se produit lors de la cuisson, de nombreux composants aromatiques sont produits suite à la dégradation des lipides. Ainsi, la quantité et la nature des lipides dans cette réaction sont souvent déterminante pour l'appréciation de la flaveur de la viande (Micol et *al.*, 2010). Dans ce contexte, Normand (2005) rapporte que les ovins peuvent accumuler des acides gras à chaînes ramifiées tels que les acides 4-méthyl-octanoïque et 4-méthyl-nonanoïque qui sont responsable de la flaveur typique de la viande ovine.

Selon Geay et *al.* (2002), ces deux réactions conduisent grâce à des précurseurs liposolubles et hydrosolubles, à la formation de plus de 1000 composés aromatiques qui sont classés en deux groupes. Les composés volatils responsables de l'arôme ou l'odeur tels que les composés carbonylés, lactones, composés hétérocycliques et les composés soufrés. Les composés non volatils responsables du goût, représentés par les nucléotides, les nucléosides, certains acides aminés, les amines et la créatinine. Ceci fait que la détermination exacte d'une telle flaveur est complexe en raison des nombreux composés aromatiques impliqués.

Dans ce même contexte, la viande ovine produite à l'herbe présente généralement une flaveur intense, qui est moins marquée pour les bovins nourris avec de l'herbe, et qui est moins appréciée par les consommateurs. Ainsi, Schreurs et *al.* (2008) et Prache et *al.* (2009) ont montré que la viande des agneaux nourris avec de l'herbe riche en légumineuses, telles que le trèfle blanc ou la luzerne, présente une flaveur plus intense que celle des agneaux nourris avec de l'herbe riche en graminées. Ces auteurs ont rapporté que cette flaveur caractéristique est

liée principalement au dépôt d'une concentration plus élevée en indole et en scatole dans les tissus adipeux. La forte saveur spécifique qui caractérise la viande ovine pourrait être aussi liée à la concentration élevée en acides gras courts ramifiés (Young *et al.*, 2003). Aussi, Priolo *et al.* (2001) ont montré que les produits d'oxydation du AGPI n-3 et plus précisément C18 :3n-3 (Wood *et al.*, 2003) sont responsables de la saveur particulière de la viande d'agneau nourri à l'herbe.

4.2. Qualité technologique

4.2.1. pH de la viande

La valeur du pH est souvent déterminante de la qualité de la viande, principalement la qualité organoleptique (couleur, tendreté, saveur) et technologique (pouvoir de rétention d'eau) ainsi que pour la conservation et l'aptitude de la transformation de la viande. La valeur de pH du muscle diminue progressivement après l'abattage de l'animal de sa valeur physiologique (pH=7,0 à 7,2) à une valeur voisine de 5,3-5,8 dans les 24 à 48 heures post mortem (Normand, 2005). Ainsi, le glycogène est transformé en acide lactique sous l'action des différentes enzymes. Cette acidification du tissu musculaire est souvent accompagnée par des modifications au niveau de la structure myofibrillaire du muscle. La transformation du muscle en viande, appelée phase de maturation, est essentiellement provoquée par la baisse très rapide du pH et de la plasticité du muscle (Maltin *et al.*, 2003). Ainsi, la vitesse de la chute du pH musculaire après l'abattage peut entraîner deux types d'altérations principales : des viandes PSE et DFD.

- ❖ Les viandes PSE (Pale Soft Exsudative): ce sont des viandes pâles, molles et exsudatives à cause d'une baisse très rapide du pH. Ainsi, la valeur du pH est égale ou inférieure à 6 dans la première heure après l'abattage et la viande est encore chaude. Ceci induit la dénaturation des protéines et par conséquent une diminution de la capacité de rétention d'eau de la viande.
- ❖ Les viandes DFD (Dark Firm Dry): ce sont des viandes sombres, fermes et sèches produites lorsque la baisse du pH est lente et incomplète (Figure 6). Ainsi, les réserves en glycogène sont faibles et par conséquent, l'acide lactique est produit en quantité insuffisante ce qui fait que 24 h après l'abattage, le pH reste supérieur à 6. Un pH élevé favorise le développement des microorganismes pathogènes et entraîne également une modification de la capacité de rétention d'eau et des qualités organoleptiques par

l'altération du goût et de l'odeur de la viande ce qui lui confère une durée de conservation limitée.



Figure 6: Différences de couleurs liées à des différences de pH ultime
(Moëvi, 2006)

4.2.2. Pouvoir de rétention de la viande

Le pouvoir de rétention d'eau est défini comme étant la capacité de la viande à retenir fermement sa propre eau ou de l'eau ajoutée, et ce lors de l'application d'une force quelconque (Hamm, 1986). Il est déterminé par la mesure des pertes d'eau au cours de la conservation et la cuisson de la viande (Honikel, 1998). C'est un paramètre très important qui intervient à la fois dans la qualité sensorielle et l'aptitude de transformation de la viande. La capacité de la viande fraîche de tenir sa propre eau est un aspect important de la qualité, car elle affecte l'acceptation des consommateurs et le poids final de la viande (Hocquette et *al.*, 2005).

4.3. Qualité nutritionnelle de la viande

4.3.1. Composition chimique de la viande

La viande rouge est très connue par sa richesse en protéines (17 à 22 g/100 g) qui sont particulièrement riches en acides aminés indispensables, notamment en lysine et histidine. Ces protéines contiennent 40% d'acides aminés essentiels (Geay et *al.*, 2001). La viande est aussi une source majeure de fer, sélénium, zinc et vitamines de groupe B notamment la vitamine B12. Elle apporte une quantité non négligeable en phosphore assimilable et peu de calcium et de magnésium. La viande apporte aussi certaines vitamines A, D, E et C (Cabrera et Saadoun, 2014). En moyenne, la viande est composée de 75% d'eau, 19% de protéines, 0,5-8% de

lipides (Lefaucheur, 2010), 1-2% de sels minéraux et d'hydrocarbures (Geay et *al.*, 2001). La composition chimique moyenne du muscle rapportée par Pearson et Young (1989) est présentée dans le tableau 3.

Tableau 3 : Composition chimique du muscle

Composés	%
Eau	75
Protéines	19
- Protéines myofibrillaires	11,50
Myosine	5,50
Actine	2,50
Autres	3,50
- Protéines sarcoplasmiques	5,50
Glycéraldéhydes phosphate	1,20
déshydrogénase	0,60
Aldolase	0,50
Creatine kinase	2,20
Autres enzymes glycolytiques	0,20
Myoglobine	0,60
Hémoglobine et autres	2
- Protéines de support	
Lipides	2,50
Hydrocarbures	1,20
Sels minéraux	2,30
Potassium	0,35
Sodium	0,05
Calcium, zinc et autres	0,03
Magnésium	0,02

(Pearson et Young, 1989)

4.3.2. Valeur nutritionnelle et contribution de la viande aux apports nutritionnels

La qualité nutritionnelle ou diététique d'un aliment quelconque est liée essentiellement à sa composition en macro et micronutriments. La viande est un aliment important dans le régime alimentaire humain qui apporte une part importante des besoins du consommateur en acides aminés, en acides gras, en vitamines et en minéraux (Salter, 2013; Cabrera et Saadoun, 2014). En effet, les acides gras (AG) dans la viande, ainsi que des minéraux, oligo-éléments et vitamines, sont des éléments essentiels qui définissent la valeur nutritive de la viande en termes de fonctions physiologiques et biochimiques (McAfee et *al.*, 2010). La viande est très riche sur le plan nutritionnel. En effet, elle représente la première source de protéines (environ 67%) par rapport aux autres types de produits des animaux d'élevage tels que les produits laitiers (26%) et les œufs (7%) (Lebret et Picard, 2015). En plus, les protéines de la viande rouge sont dites de haute valeur biologique en raison de leur richesse en acides aminés

indispensables (lysine et histidine) et très assimilables chez l'homme (Rémond *et al.*, 2010). Aussi, la viande représente une bonne source de fer héminique très bien assimilé par l'organisme. Ainsi, Geay *et al.* (2001) ont rapporté que la viande rouge contient 3 à 4 fois plus de fer que la viande de volailles et de porc.

De même, la viande rouge représente une bonne source d'acide linoléique conjugué (CLA) et d'AG polyinsaturés (AGPI) notamment en AGPI de type oméga 3 (AGPI n-3) indispensables dans la nutrition humaine tels que l'acide alpha-linolénique (C18:3 n-3), l'acide eicosapentaénoïque (EPA ; 20:5 n-3), l'acide docosapentaénoïque (DPA ; 22:5 n-3) et l'acide docosahexaénoïque (DHA ; 22:6 n-3). Ces AG sont associés à des effets bénéfiques dans certaines pathologies telles que les maladies cardiovasculaires, les troubles inflammatoires, certains cancers et le diabète (Simopoulos, 2008). Schmidt *et al.* (2006) ont montré que la viande de ruminants représente une source importante de CLA, qui présente des propriétés anticancéreuses et antiathérogènes, par rapport aux autres types de viande. Ainsi, ces auteurs ont rapporté que les concentrations les plus élevées de CLA ont été trouvées dans la viande d'agneau (4,3 à 19,0 mg/g de lipides) et avec des concentrations légèrement plus faibles dans la viande bovine (1,2 à 10,0 mg /g de lipides). Globalement, la viande des ruminants est composée en moyenne de 40-50 % d'acides gras monoinsaturés (AGS), de 40-45 % d'acides gras monoinsaturés (AGMI) et de 5-15 % d'AGPI (Normand *et al.*, 2005).

Aussi, la viande bovine et ovine présente aussi des avantages nutritionnels supplémentaires, en particulier une teneur élevée en vitamines B12, B2 et B6 (Bourre, 2006). Ainsi, les vitamines fournies par cette viande constituent le principal apport aux besoins alimentaires pour l'Homme pour toutes les classes d'âge. Elle constitue également une meilleure source de sélénium qui présente une propriété antioxydante. Toutefois, la viande peut être remplacée par d'autres aliments pour certaines catégories d'âge. Mais, pour certaines personnes (enfants en croissance, femmes enceintes ou allaitantes, personnes âgées) ayant des besoins assez élevés surtout en vitamine B12, fer et zinc, la consommation de viande est indispensable pour couvrir les besoins.

Globalement, selon les apports nutritionnels conseillés par l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA), la consommation de 100 g /j de viande rouge couvre 40-60% des besoins en protéines (Martin, 2001; Rémond *et al.*, 2010), 20-40% en vitamine du groupe B, fer et sélénium (Martin, 2001; Tableau 4). D'après une étude réalisée par Bauchart *et al.* (2008), la consommation de 100 g /j de viande bovine couvre 5%, 20%, 8% et 48-75% des apports nutritionnels conseillés respectivement en AGPI, AGMI, AGS et en protéines. Aussi, Hébel (2012) a rapporté que la consommation de 100 g de viande de boucherie contribue en

moyenne à 5% des apports énergétiques quotidiens et à 8%, 16% et 11%, respectivement, des besoins en lipides, en protéines et en fer.

Tableau 4 : Contribution de 100 g de viande à la fourniture de nutriments dans un régime équilibré selon les apports nutritionnels conseillés

Nutriments	Contribution (%)
Vitamines B12, zinc, lysine, histidine	> 60
Cholestérol, protéines et autres acides aminés indispensables, vitamine B3	40-60
Fer, sélénium, vitamines B2, B6, acide pantothénique, acides gras saturés	20-40
Acides gras mon-insaturés, phosphore, potassium	10-20
Acides gras polyinsaturés, magnésium, sodium, calcium, vitamines B1, B9, E	< 10
Glucides, fibres, vitamines A, D, C	< 1

(Martin, 2001)

4.3.3. Valeur santé de la viande

La viande rouge occupe une place importante dans l'alimentation humaine en raison de sa qualité. La relation entre la consommation de la viande rouge et la santé humaine est liée essentiellement à sa teneur en matière grasse et plus particulièrement à la proportion des AG *trans* et des AGS totaux d'une part. D'autre part, elle dépend aussi de sa composition en AG et en particulier en AGPI n-3 à chaîne longue (AGPI n-3 LC). Les AG ont des rôles très importants dans de nombreuses fonctions de l'organisme (croissance, système nerveux et immunitaire, reproduction,...). Globalement, ils présentent différents rôles énergétiques, structural et fonctionnel. Aussi, les lipides interviennent dans la synthèse de certaines hormones telles que les stéroïdes ainsi que les hormones dérivées du cholestérol. En plus, ils assurent le transport des vitamines liposolubles (A, D, E, K). Ils jouent également le rôle de précurseurs pour certaines molécules (prostaglandines, prostacyclines, leucotriènes,...) et interviennent dans la régulation génique de l'expression de différentes enzymes intervenants dans le métabolisme des lipides et des glucides (Legrand, 2007). A titre d'exemple, les AGPI de type oméga 6 (AGPI n-6) interviennent essentiellement dans le système immunitaire, la réponse inflammatoire et la reproduction. Alors que les AGPI n-3 participent essentiellement

dans le développement du cerveau, du système nerveux et de la rétine (Guesnet et *al.*, 2005 ; Tableau 5).

Tableau 5 : Rôles et propriétés de certains acides gras chez les mammifères

Rôles et propriétés	
Acides gras saturés	
- Acide myristique (C14:0)	➤ Régule l'activité de certaines protéines membranaires
- Acide palmitique (C16:0)	➤ Effet hypercholestérolémiant
- Acide stéarique (C18:0)	➤ Effet hypercholestérolémiant
	➤ Rôle structural comme constituant des phospholipides membranaires
	➤ Effet neutre sur la lipémie
Acides gras mono-insaturés	
- Acide oléique (C18:1n-9)	➤ Rôle structural comme constituant majeur des lipides de structure
	➤ Propriétés éventuellement hypocholestérolémiante et antiathérogène
Acides gras polyinsaturés	
✓ Famille des AGPI n-6	
- Acide linoléique (C18:2n-6)	➤ AGPI essentiel et précurseur métabolique des AGPI n-6
	➤ Rôle structural comme constituant majeur des phospholipides membranaires
	➤ Croissance et développement (*)
	➤ Reproduction (*)
- Acide γ -linoléique (C18:3n-6)	➤ Effet anti-inflammatoire
- Acide dihomogamma-linoléique (20:3n-6)	➤ Précurseur des prostanoïdes de la série 1
- Acide arachidonique (20:4n-6)	➤ Rôle structural comme constituant majeur des lipides de structure
	➤ Précurseur des prostanoïdes de la série 2 et des leucotriènes de la série 4, des hydroperoxydes, des lipoxines des acides époxyeicosatriénoïques,...
- Acide docosapentaénoïque (22:5n-6)	➤ Constituant des phospholipides membranaires en situation de déficit alimentaire en AGPI n-3
✓ Famille des AGPI n-3	
- Acide α -linoléique (18:3n-3)	➤ AGPI essentiel et précurseur métabolique des AGPI n-3.
	➤ Effet antiathérogène
	➤ Rôle essentiel dans la biogénèse des membranes (système nerveux et rétine) (*)
	➤ Rôle critique au moment du développement (*)
	➤ Facilite la croissance et le développement (*)
- Acide eicosapentaénoïque (20:5n-3)	➤ Précurseur des prostanoïdes de la série 3 et des leucotriènes de la série 5,...
	➤ Effets anti-athérogène, hypotriglycéridémiant, anti-inflammatoire,...
- Acide docosahexaénoïque (22:6n-3)	➤ Rôle structural comme constituant majeur des lipides de structure du système nerveux central
	➤ Constituant majeur de la structure du cerveau et des fonctions cognitives et visuelle (*)

(*) : (Favier, 2012)

(Guesnet et *al.*, 2005)

La consommation à long terme et de grande quantité de viande rouge est souvent associée à une augmentation du risque de maladies cardiovasculaires et de certains types de cancers chez l'homme (Wood et *al.*, 2003; Salter, 2013). Ainsi, De Smet et *al.* (2004) rapportent que le risque d'apparition de ces problèmes augmente quand la viande est plus grasse, alors sa teneur en AGS est élevée, ce qui augmente par conséquent le niveau sanguin de cholestérol LDL (lipoprotéines de basse densité; mauvais cholestérol) qui est athérogène pour l'homme (Bauchart et *al.*, 2007) et réduire le cholestérol HDL (lipoprotéines de haute densité ; bon cholestérol). En effet, Martemucci et D'Alessandro (2013) affirment que les régimes riches en AGS contribuent à l'augmentation du niveau de LDL-cholestérol qui est considéré comme la principale cause de l'athérosclérose, les maladies cardiovasculaires et l'obésité. Aussi, une étude réalisée par Oomen et *al.* (2001) a montré une augmentation de +25% du risque cardiovasculaire suite à une consommation des AG *trans* égale à 2% de l'apport énergétique total.

Toutefois, il y a beaucoup d'effets controversés concernant la relation entre la consommation de viande et les maladies cardiovasculaires. Une synthèse bibliographique menée par McAfee et *al.* (2010) a montré que la relation entre la consommation de viande rouge et le risque d'apparition des maladies cardiovasculaires n'est pas encore claire. Aussi, les résultats d'une méta-analyse réalisée par Abete et *al.* (2014) indiquent que la consommation de la viande transformée pourrait augmenter le risque d'apparition et de mortalité par les maladies cardiovasculaires, tandis que la consommation de la viande rouge est faiblement associée à la mortalité par ces maladies. Dans une autre méta-analyse, de Souza et *al.* (2015) ont aussi montré que la consommation des AGS n'est pas associée à la mortalité causée par les maladies cardiovasculaires, les maladies coronariennes, l'ischémie et le diabète de type 2. Mais, ces pathologies sont induites par la consommation des AG *trans* principalement ceux d'origine industriel que ceux provenant des produits de ruminants.

Par ailleurs, l'IARC (2015) a rapporté que la viande transformée est classée comme cancérogène pour l'homme, en particulier pour le développement du cancer colorectal. Ainsi, l'IARC (2015) affirme qu'un morceau de 50 g de la viande transformée consommée par jour augmente le risque de cancer colorectal de +18% alors que ce dernier peut augmenter de +17% pour 100 g de viande rouge consommée par jour. Williams (2000), Simopolous (2002) et Wood et *al.* (2008) ont montré que le type des AGPI et le rapport des AGPI /AGS sont importants pour la santé des consommateurs. Aussi, ces auteurs rapportent que le rapport entre AGPI n-6 et AGPI n-3 est considéré comme un facteur de risque pour le cancer et les

maladies coronariennes. Ainsi, pour une bonne santé, Wood et *al.* (2003) recommandent un rapport AGPI n-6/ AGPI n-3 inférieur à 4, alors que Williamson et *al.* (2005) ont rapporté une valeur maximale de 6 pour ce rapport. L'AFSSA (2010) recommande une diminution des apports en AGPI n-6 et une augmentation des AGPI n-3 dans les apports nutritionnels quotidiens afin d'améliorer ce rapport qui est de nos jours voisin de 10. De même, Simopoulos (2008) a montré que certains acides gras monoinsaturés (AGMI) et des AGPI, en particulier les AGPI n-3 à chaîne longue (AGPI n-3 LC) tels que l'acide eicosapentaénoïque (EPA; 20:5 n-3), l'acide docosapentaénoïque (DPA; 22:5 n-3) et l'acide docosahexaénoïque (DHA; 22:6 n-3) ont des effets favorables sur la santé humaine. Ainsi, AFSSA (2010) recommande pour une alimentation saine que les apports des AGS totaux et de la somme des C12:0 + C14:0 + C16:0 doivent être respectivement inférieurs à 10% et 8% de l'apport énergétique total pour un adulte consommant 2000 Kcal/j. Aussi, l'AFSSA recommande un apport maximal de 35-40% des lipides totaux, 2% d'AG *trans* et un minimum de 500 mg/jour d'EPA + DHA pour avoir une bonne santé cardiovasculaire. En plus, elle recommande aussi des apports de 4% et 1% de l'apport énergétique total respectivement pour l'acide linoléique C18:2n-6 (LA) et l'acide alpha-linolénique (C18:3n-3; ALA) (Tableau 6). Alors, afin de réduire le risque d'apparition des maladies cardiovasculaires et coronariennes et de certains types de cancer, l'AFSSA recommande une consommation de viande (blanche et rouge) cinq fois par semaine avec une moyenne de 120 g/j et la consommation de poisson deux fois par semaine. Cependant, IARC (2015) recommande un maximum de 500 g de viande à consommer par semaine et de limiter le plus possible la consommation des viandes transformées.

Tableau 6 : Recommandation journalière (% d'apport énergétique) selon AFSSA pour un homme adulte consommant 2000 Kcal.

	Lipides totaux (%)	AL (%)	ALA (%)	DHA (mg)	EPA (mg)
Besoins physiologiques	30	2	0,8	250	-
Prévention du risque de :					
Diabète obésité	30 – 40	2	0,8	500 mg	
Maladies cardiovasculaires	35 – 40	5	1	500 – 750 mg	
Cancer sein et colon	35 – 40	2	0,8	500 mg	
Troubles neuropsychiques	35 – 40	2	0,8	500 mg	
Autres maladies	< 40	< 4,5	0,8	500 mg	
Références nutritionnelles	35-40	4	1	250 mg	250 mg

LA : acide linoléique ; ALA : acide α -linoléique ; DHA : acide docosahéxaénoïque; EPA: acide eicosapentaénoïque (AFSSA, 2010)

Aussi, l'AFSSA (2010) a défini les apports nutritionnels conseillés en lipides pour chaque catégorie de personne selon leurs besoins physiologiques. Ainsi, ces apports sont calculés en tenant compte des besoins minimal et maximal de façon à éviter l'apparition des maladies. Le tableau 7 montre les recommandations de l'AFSSA en certains groupes d'AG et les AG essentiels (ALA et DHA) pour différentes classes d'adulte (homme, femme, sujet âgé).

Tableau 7 : Apports conseillés en acides gras selon AFSSA pour différentes catégories d'adulte

		AGS	AGMI	LA	ALA	AGPI LC	DHA	Total
Homme adulte	g/j	19,50	49	10	2	0,50	0,12	81
2200 kcal/j	% AE	8	20	4	0,80	0,20	0,05	33
Femme adulte	g/j	16	40	8	1,60	0,40	0,10	66
1800 kcal/j	% AE	8	20	4	0,80	0,20	0,05	33
Femme enceinte	g/j	18	45,50	10	2	1	0,25	76,50
2050 kcal/j	% AE	8	20	4,40	0,90	0,40	0,10	33,70
Femme allaitante	g/j	20	50	11	2,20	1	0,25	84,20
2250kcal/j	% AE	8	20	4,40	0,90	0,40	0,10	33,70
Sujet âgé	g/j	15	38	7,50	1,50	0,40	0,10	62,50
1700 kcal/j	% AE	8	20	4	0,80	0,20	0,05	33

AG : acide gras ; AGS : acides gras saturés ; AGMI : acides gras monoinsaturés; AGPI LC: acides gras polyinsaturés à longue chaîne; LA: acide linoléique; ALA: acide α -linoléique ; DHA: acide docosahéxaénoïque ; AE: apport énergétique ; g: gramme ; j: jour

5. Acides gras en alimentation animale : sources, métabolisme ruminal et pratiques alimentaires d'amélioration de la qualité nutritionnelle de la viande

5.1. Sources de lipides en alimentation animale

Les rations des ruminants sont généralement caractérisées par une teneur assez faible en lipides (2 à 5% MS). Les fourrages sont principalement composés de galactolipides, phospholipides alors que les aliments concentrés sont riches en triglycérides (Doreau et *al.*, 2012). En alimentation animale, les principales sources de lipides sont essentiellement les graines et les huiles des oléagineuses qui apportent en moyenne 15 à 45% de MG (Morand-Fehr et Tran, 2001). Ainsi, le colza est une bonne source d'acide oléique (C18 :1n-9), de LA et d'ALA. Les graines et les huiles de soja, de maïs et de tournesol sont riches en LA alors que celles de lin sont riches en ALA (Doreau et *al.*, 2012). Viennent ensuite, les graines de protéagineux qui apportent entre 1 et 15 % de lipides formés principalement de LA, l'acide oléique, ALA et l'acide palmitique. Les lipides des céréales contiennent de 1 à 6 % de lipides qui sont constitués principalement de LA, l'acide oléique et l'acide palmitique (Morand-Fehr et Tran, 2001).

L'herbe et les fourrages verts, bien qu'ils soient pauvres en MG (2 à 6%), constituent une bonne source des AGPI essentiellement l'ALA et le LA qui représentent respectivement 45 à 75% et 5 à 25% des AG totaux (Tableau 8). Aussi, Bauchart et *al.* (1985) ont trouvé que les lipides d'herbe sont formés de 55 à 65% d'ALA. Par contre, les fourrages secs tels que les foin sont très pauvres en MG (0,50 à 3%) et apportent des quantités relativement faibles en ALA (17%) et LA (Bauchart et *al.*, 1985). En effet, le fanage réduit considérablement la teneur en MG et particulièrement en ALA dans les fourrages (Morand-Fehr et Tran, 2001). Toutefois, ces pertes en ALA sont plus ou moins limitées avec la conservation humide des fourrages sous forme d'ensilage. Ainsi, l'ensilage d'herbe permet d'apporter des quantités non négligeables en ALA alors que l'ensilage de maïs apporte surtout du LA tout comme les céréales (Chilliard et *al.*, 2001).

Tableau 8 : Teneur en matière grasse des principaux aliments utilisés chez les ruminants.

Aliments	% MG/MS	Principaux AG	Principales sources
Fourrages verts	2-6%	C18 :3n-3 (45-75%) C18: 2n-6 (5-25%)	Trèfle blanc, trèfle violet, luzerne, dactyle, ray-grass,...
Fourrages secs	0,5-3%	C18 :3n-3 (20-50%) C18: 2n-6 (10-25%)	-
Ensilages enrubannages	2-6%	C18: 2n-6 C18 :3n-3	Ensilage de maïs Ensilages d'herbe
Céréales	1-5%	C18: 2n-6 (45-60%) C18 :1n-9 (10-30%) C16 :0 (10-20%)	Avoine, blé tendre, maïs, orge, sorgho
Graines protéagineuses	1-15%	C18: 2n-6 (40-50%) C18 :3n-3 (5-10%) C18: 1n-9 (5-25%) C16 :0 (15%)	Féverole, lupin blanc, lupin bleu, pois
Graines oléagineuses	15-45%	C18 :3n-3 C18: 2n-6 C18: 1n-9 C16 :0	Lin Soja, tournesol, coton Colza, tournesol oléique Palme
Tourteaux	1-10%	C18 :3n-3 C18: 2n-6 C18: 1	Lin -

MG : matières grasses ; AG : acides gras ; MB : matière brute

(Morand-Fehr et Tran, 2001)

5.2. Digestion des lipides chez les ruminants

Les AG dans les produits des animaux ont deux origines soit qu'ils sont apportés par l'alimentation, généralement sous forme de triglycérides, soit néo-synthétisés par l'organisme. Ainsi, les microorganismes du rumen sont capables de synthétiser de novo des AG. Les AG provenant de la ration des animaux ou néo-synthétisés par l'organisme peuvent subir différents types de transformation (Sauvant et Bas, 2001; Cuvelier et *al.*, 2005):

- Biohydrogénation: La biohydrogénation des AGI est réalisée par les bactéries du rumen. Elle désigne la transformation d'un AGI en AGS par la saturation de ses doubles liaisons. Cette réaction se déroule en plusieurs étapes et la saturation des AG

peut être incomplète ce qui induit la production d'un autre AGI, au lieu d'un AGS, qui sera absorbé dans l'intestin.

- Isomérisation: Cette réaction consiste à transformation des liaisons *cis* en liaisons *trans* par les isomérases.
- β -oxydation partielle : l'oxydation d'un AG consiste à l'élimination de deux atomes de carbones à partir de l'extrémité COOH.
- Désaturation: cette transformation est basée sur l'ajout d'une double liaison entre deux carbones de la chaîne d'AG grâce aux enzymes désaturases. Selon la position de la double liaison ajoutée, $\Delta 5$ -désaturase ($\Delta 5$) $\Delta 6$ -désaturase ($\Delta 6$) et $\Delta 9$ -désaturase ($\Delta 9$) qui agissent respectivement entre les carbones 5 et 6, 6 et 7 et 9 et 10 à partir du groupement carboxyle de l'AG.
- Elongation: deux atomes de carbones sont rajoutées sur l'extrémité COOH de l'AG sous l'action d'une enzyme spécifique «élongase».

5.2.1. Synthèse de novo des acides gras

La synthèse de novo ou la lipogénèse ou appelée également synthèse endogène ou la néosynthèse des AG aura lieu dans le foie et au niveau du tissu adipeux pour les ruminants et aussi au niveau de la glande mammaire pour les femelles laitières (Doreau et *al.*, 2012). Les AGS, AGMI et une partie des AGPI peuvent être synthétisés de novo dans l'organisme, à l'exception de certains AGPI tels que les deux acides LA et ALA qui sont indispensables. En effet, les animaux sont incapables de synthétiser de novo ces deux AG en raison de l'absence des enzymes $\Delta 15$ et $\Delta 12$ désaturases qui assurent leur synthèse à partir de l'acide oléique (C18:1n-9). Ainsi, seulement les cellules des végétaux contiennent ces deux enzymes ($\Delta 15$ et $\Delta 12$ désaturases) et sont capables de convertir l'acide oléique en LA sous l'action de $\Delta 12$ désaturase qui sera à son tour converti en ALA par la $\Delta 15$ désaturase (Guesnet et *al.*, 2005).

Les bactéries du rumen sont capables de synthétiser de novo les AG à chaîne longue ainsi que les AGMI en C16 et C18 à partir des AG volatils et du glucose (Harfoot et Hazlewood, 1997). La dégradation du glucose aboutit à la formation de l'acétyl-coenzyme A (acétyl-CoA) qui sera convertie en malonyl-CoA sous l'action de l'acétyl-CoA carboxylase (ACC). La malonyl-CoA est une substance métabolique qui assure la biosynthèse des AG et inhibe leur dégradation par la β -oxydation en réduisant leur transport vers la mitochondrie. Ensuite, la malonyl-CoA réagit avec la synthétase des AG (FAS : fatty acid synthase) pour former l'acide palmitique (C16:0) (Figure 7). Les AG synthétisés de novo sont essentiellement l'acide palmitique (C16:0) et l'acide stéarique (C18 :0) et avec moindre importance l'acide

mystérique (C14:0). Ainsi, une partie de l'acide C16:0 néoformé, qui est le plus abondant AG néosynthétisé, subit une désaturation par la stéaroyl-CoA désaturase et se transforme en acide palmitoléique (C16:1n-7) ou une élongation et se convertit en C18:0. Ce dernier peut être converti à son tour en acide oléique (18:1n-9) sous l'action de $\Delta 9$ désaturase ou se transforme en C20:0 et C22:0 suite à des élongations successives. Par ailleurs, le métabolisme ruminal des AG conduit entre autres à la formation des AG à chaîne impaire, linéaire ou ramifiée (C15:0, C17:0, c9-C17:1, iso-C15:0, iso-C16:0, iso-C17:0, anteiso-C15:0, anteiso-C17:0, ...) qui peuvent être synthétisés à partir du catabolisme des AG, des glucides et les acides aminés ramifiés (Sauvant et Bas, 2001). Ces AG néo-synthétisés peuvent être utilisés par les tissus ou stockés sous forme de triglycérides (Cuvelier et al., 2005).

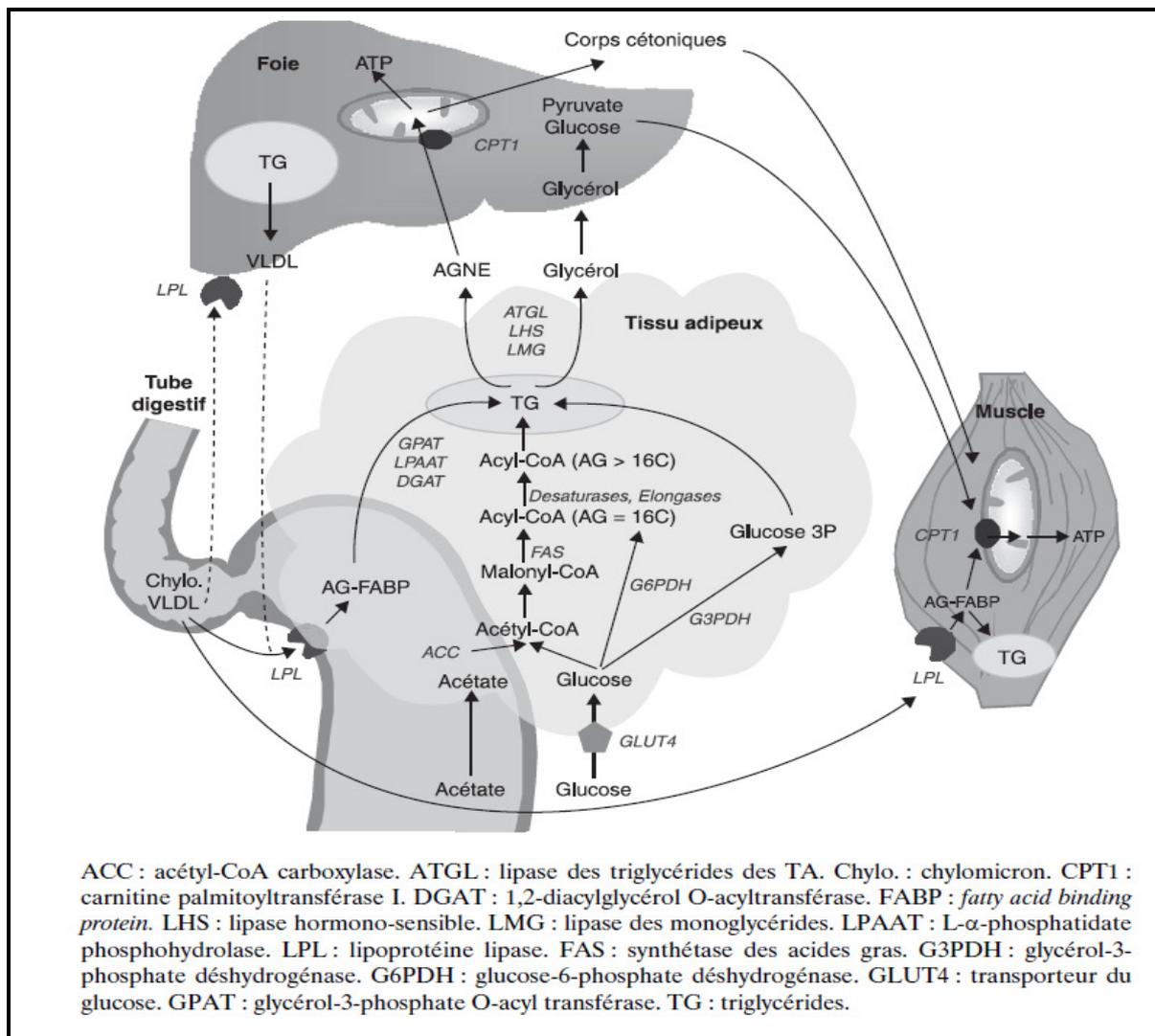


Figure 7: Principales voies impliquées dans le métabolisme des lipides au niveau du foie, des tissus adipeux et du muscle (Bonnet et al., 2010)

5.2.2. Biohydrogénation ruminale des acides gras insaturés

Chez les ruminants, le métabolisme des lipides de la ration débute par une hydrolyse des triglycérides ou des galactolipides par une lipase bactérienne pour libérer les AG avant qu'ils soient absorbés par l'intestin (Doreau et Chilliard, 1997). Les lipides subissent une lipolyse grâce à l'*anaerovibrio lipolytica* pour libérer les AG des triglycérides (Doreau et al., 2012). Le glycérol et le galactose sont alors rapidement fermentés en AG volatils. Les AG libres insaturés vont subir une biohydrogénation par les bactéries du rumen (Harfoot et Hazlewood, 1997). Ainsi, les bactéries du rumen sont capables d'hydrogéner l'acide oléique, le LA et l'ALA en acide stéarique. L'acide oléique (c9-C18:1) peut se transformer en acide stéarique par deux voies, soit directement par hydrogénation, soit indirectement suite à une isomérisation suivie d'hydrogénation. Ainsi, l'acide oléique se convertit en différents isomères *trans* C18:1 (t6, t7, t8, t9, t10, t11, t12, t13, t14, t15 et t16) avec une dominance de l'acide vaccénique (t11-C18:1), l'acide t10-C18:1 et l'acide élaïdique (t9-C18:1). Ces isomères peuvent être par la suite hydrogénés en acide stéarique (Mosley et al., 2002).

La biohydrogénation de LA (c9c12-C18:2) comprend une isomérisation de ce dernier suivie par deux hydrogénations successives (Figure 8). Le LA subit une isomérisation et aboutit à la formation de différents isomères d'acides linoléiques conjugués (CLA) en modifiant la position et la géométrie de LA. Deux principaux isomères CLA sont formés suite à cette réaction: l'acide ruménique (c9t11-C18:2) et le t10c12-C18:2 qui sont produits respectivement suite à l'action de Δ 12 isomérase et Δ 9 isomérase. Ensuite, les isomères CLA sont réduits en différents isomères *trans* C18:1. A titre d'exemple, le t10c12-C18:2 et le c9t11-C18:2 sont convertis respectivement en t10-C18:1 et en t11-C18:1. Les isomères *trans* C18:1 finissent par se transformer en acide stéarique (Harfoot et Hazlewood, 1997). Egalement, l'acide *trans* vaccénique (t11-C18:1) peut être soit réduit en acide stéarique soit absorbé. Dans le cas où il est absorbé, cet acide peut être converti sous l'action de Δ 9 désaturase en CLA (c9t11- C18:2) (Raes et al., 2004).

La biohydrogénation de l'acide ALA se déroule en quatre étapes, une isomérisation et trois hydrogénations successives (Figure 8). Ainsi, l'ALA (c9c12c15-C18:3) subit une isomérisation au niveau de la double liaison cis 12 et aboutit à la formation d'acide linoléique intermédiaire conjugué (c9t11c15-C18:3). Ce dernier est hydrogéné en t11c15-C18:2 qui subit à son tour une hydrogénation et sera converti en trois isomères (t11-C18:1, t15- C18:1 et c15-C18:1) avec une dominance de l'acide vaccénique (t11-C18:1). Ensuite, le t11-C18:1 subit une hydrogénation et se transforme en acide stéarique (C18 :0) (Harfoot et Hazlewood, 1997).

La biohydrogénation ruminale d'ALA est très élevée (85-100%) et celle de LA est comprise entre 70 et 95% (Doreau et Ferlay, 1994). Malgré cette biohydrogénation intense une partie des AGPI échappe à la biohydrogénation ruminale et peut être absorbée dans l'intestin. Toutefois, la biohydrogénation de LA et ALA peut être incomplète selon le type de bactéries présentes dans le rumen. Ainsi, Kemp et Lander (1984) ont classé les bactéries en deux groupes A et B selon le substrat qu'elles utilisent. Le groupe A est formé par des bactéries capables d'hydrogéner le LA et l'ALA en acide vaccénique (t11-C18:1) mais elles sont incapables d'hydrogéner les isomères de ce dernier (c9, c11, t9, et t11) en acide stéarique. Alors que le groupe B est formé par les bactéries qui sont capables d'hydrogéner les isomères d'acide vaccénique en acide stéarique, l'ALA en deux isomères d'acide C18:1 (c15- ou t15-) et de l'acide γ -linoléinique en acide stéarique (Kemp et Lander, 1984).

Différents facteurs peuvent influencer la biohydrogénation des AGPI au niveau du rumen, mais l'alimentation reste le facteur le plus important qui influe le plus les modifications ruminales (Doreau et *al.*, 2012). Ainsi, Chilliard et *al.* (2007) ont montré que les différentes composantes de la ration (quantité et nature de la MG de la ration, nature du fourrage, rapport fourrage/concentré, teneur en amidon) sont capables de modifier et de moduler le processus de biohydrogénation des AGPI et par conséquent la composition et la qualité des AG des produits des animaux.

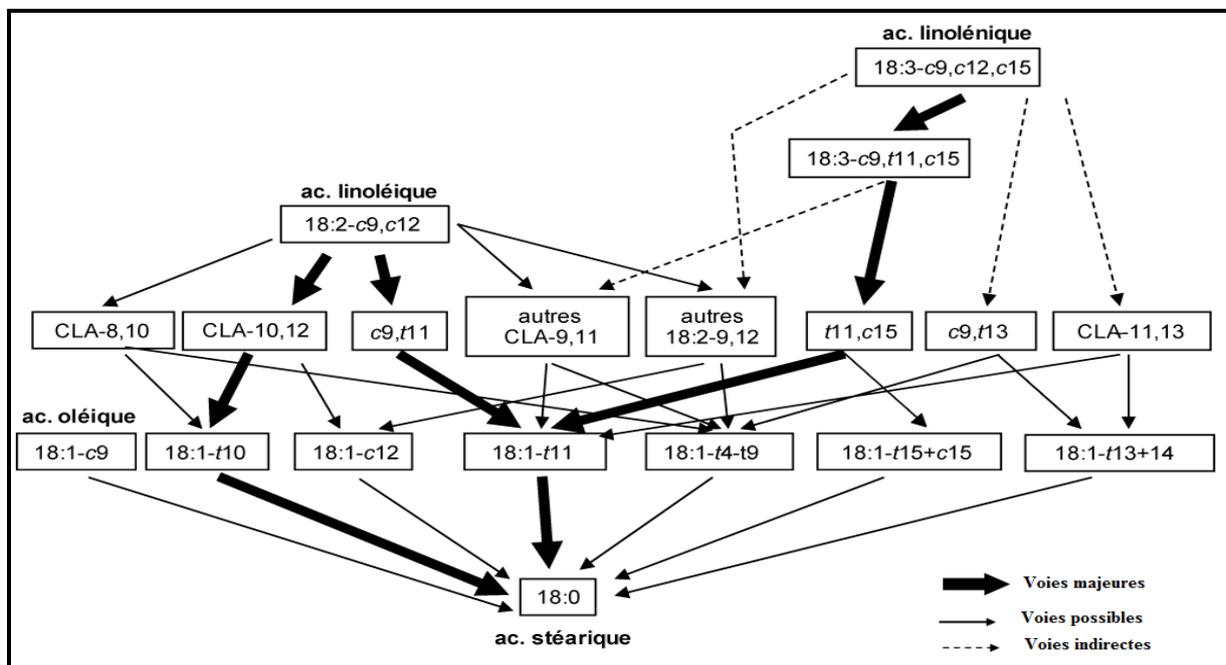


Figure 8: Principales voies possibles de biohydrogénation des acides linoléique et linoléinique au niveau du muscle (adaptée par Chilliard et *al.*, 2007 cité par Doreau et *al.*, 2012).

5.2.3. Synthèse des acides gras polyinsaturés à longue chaîne

Les acides LA et ALA sont respectivement les précurseurs des AGPI n-6 et AGPI n-3, qui sont des AG essentiels pour l'organisme, doivent obligatoirement être apportés par l'alimentation. Par ailleurs, les animaux sont capables à partir de LA et ALA et à l'aide de deux réactions spécifiques (désaturation et élongation) de synthétiser les AGPI à longue chaîne. Trois enzymes ($\Delta 5$ désaturase, $\Delta 6$ désaturase et élongase) sont impliqués dans la formation des AGPI LC à partir des acides LA et ALA (Williams, 2000 ; Figure 9). Ainsi, en présence de $\Delta 6$ désaturase, le LA est converti en acide γ -linoléique (C18 :3 n-6) qui subit à son tour une élongation et se transforme en acide dihomogamma-linoléique (DGLA; C20:3 n-6). Ensuite, la désaturation de ce dernier par la $\Delta 5$ désaturase induit la formation de l'acide arachidonique (AA; C20:4 n-6). Par la suite, deux élongations successives permettent de transformer l'acide AA en acide adrénique (C22:4 n-6), puis en acide tétracosatétraénoïque (C24:4 n-6). Ce dernier peut être converti par l'action de $\Delta 6$ désaturase en acide tétracosapentaénoïque (C24:5 n-6) qui peut subir une β -oxydation et se transforme en acide docosapentaénoïque (C22:5 n-6) (Sprecher, 2000).

Quant aux AGPI n-3 LC, l'acide ALA peut être converti en acide stéaridonique (C18:4 n-3) sous l'action de $\Delta 6$ désaturase, puis en acide eicosatétraénoïque (C20:4 n-3) suite à une élongation de ce dernier. Ensuite, le C20:4 n-3 se transforme en acide eicosapentaénoïque (EPA, C20:5 n-3), puis en acide docosapentaénoïque (DPA; C22:5n-3) et enfin en acide tétracosapentaénoïque (C24:5 n-3) respectivement suite à l'action de $\Delta 5$ désaturase et deux réactions d'élongation successives. En présence de $\Delta 6$ désaturase, le C24:5 n-3 se convertit en acide tétracosahéxaénoïque (C24:6 n-3) qui sera à son tour oxydé et transformé en acide docosahéxaénoïque (DHA; C22:6 n-3) (Sprecher, 2000).

Vu que LA et ALA utilisent les mêmes enzymes pour la synthèse des AGPI LC. Les deux voies de conversion de ces deux AG sont alors en concurrence pour l'utilisation de ces enzymes spécifiques. Ainsi, un apport élevé en LA favorise la formation des AGPI n-6 LC aux dépens de la conversion de ALA en AGPI n-3 LC. En plus, Rodriguez et al. (1998) ont prouvé que la $\Delta 6$ désaturase a une forte affinité pour l'ALA. Ceci peut expliquer en partie, en plus la biohydrogénation élevée, la faible conversion d'ALA en C20:5 n-3 et en C22:6 n-3 (Williams, 2000).

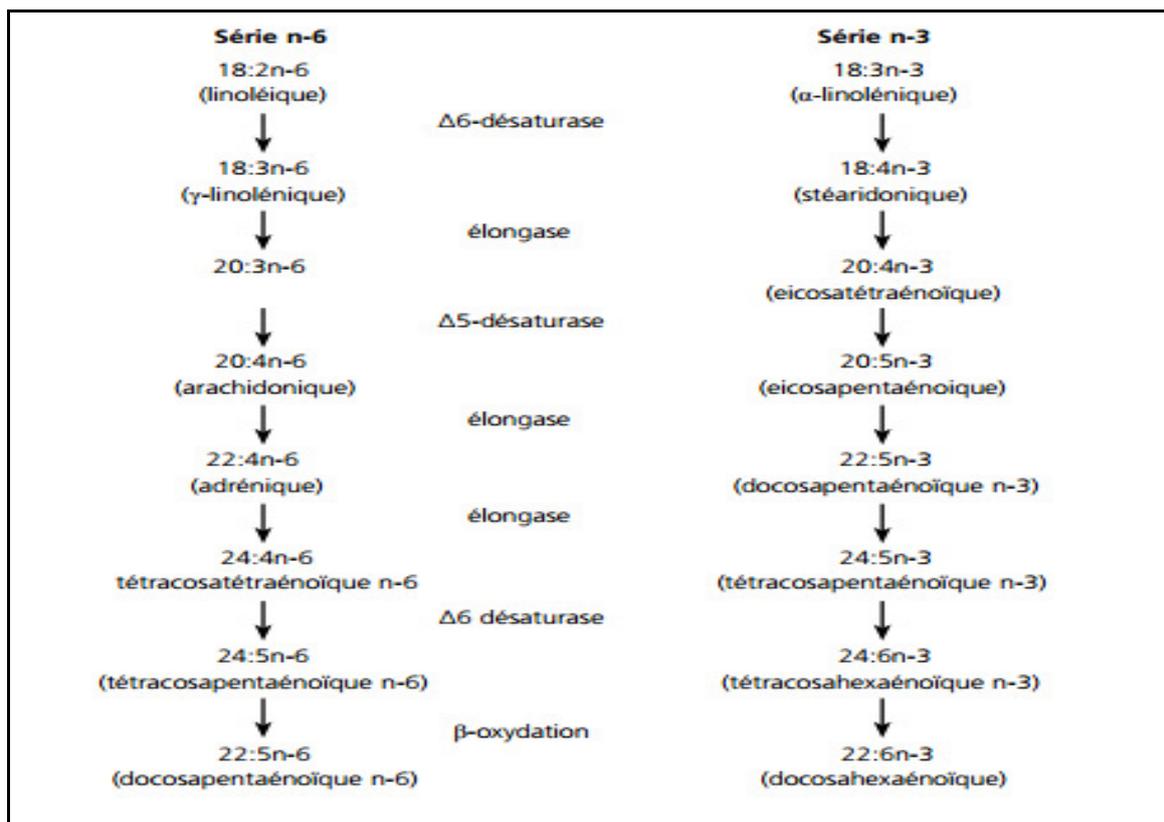


Figure 9: Voies de conversion de LA et ALA en AGPI n-6 et n-3 à longue chaîne (Williams, 2000)

5.3. Stratégies alimentaires d'amélioration de la composition et la qualité des lipides de la viande

Selon différentes synthèses bibliographiques (Wood et Enser, 1997 ; Wood et *al.*, 2008 ; Daley et *al.*, 2010 ; Nieto et Ros, 2012), la composition en AG et la qualité des lipides de la viande sont influencées par des facteurs intrinsèques (espèce, race, génotype, sexe, âge de l'animal,...) ou extrinsèques (mode de conduite, alimentation,...). Toutefois, ces auteurs ont rapporté que l'alimentation reste le principal facteur de variation de la composition et la qualité des AG. Ainsi, cette dernière est très influencée par l'alimentation qui agit sur le profil en AG et la qualité de la viande par ses niveaux énergétique et azoté ainsi que par sa nature principalement reliée à la composition en AG des fourrages et des concentrés consommés par les animaux. En outre, l'augmentation du niveau d'AGPI notamment en AGPI n-3 et la réduction de la part des AGS dans les viandes de ruminants est un objectif important en raison des effets bénéfiques sur la santé humaine. Le pâturage des animaux à l'herbe est une excellente stratégie pour atteindre cet objectif (Priolo et *al.*, 2002b; Aurousseau et *al.*, 2004 ;

Scerra et *al.*, 2007 ; Majdoub-Mathlouthi et *al.*, 2015 ; Popova et *al.*, 2015 ; Hajji et *al.*, 2016).

L'incorporation des ressources alimentaires riches en AGPI et plus précisément en AGPI n-3 telles que le lin, colza et soja ainsi que la farine de poisson (Elmore et *al.*, 2005 ; Scollan et *al.*, 2006; Bas et *al.*, 2007 ; Berthegroupe et *al.*, 2012 ; Nieto et Ros, 2012 ;Urrutia et *al.*, 2015) représentent aussi une autre alternative pour améliorer la qualité des lipides de la viande des ruminants.

5.3.1. Conduite des animaux à l'herbe

Plusieurs travaux ont étudié l'effet de la conduite des agneaux à l'herbe sur la composition et la qualité nutritionnelle des AG de la viande. Les résultats obtenus ont montré que la conduite des animaux aux pâturages modifie fortement la qualité nutritionnelle de la viande. En effet, la viande produite à l'herbe apporte plus d'AG favorables à la santé humaine (acide stéarique, CLA, ALA, EPA, DPA et DHA) et moins d'AG indésirables tels que l'acide palmitique (C16 :0) qui présente des effets pro-athérogéniques. Ainsi, une étude réalisée par Aurousseau et *al.* (2004) sur l'effet du mode de conduite des agneaux de race Ile de France sur la composition en AG de la viande a montré une teneur plus faible en C16 :0 et des teneurs plus élevées en C18:0, CLA, ALA et AGPI n-3, pour les agneaux nourris à l'herbe par rapport à ceux en bergerie (Tableau 9). Par conséquent, les rapports LA/ALA (1 vs. 4,5) et n-6/ n-3 (1 vs. 4) ont été plus faibles et plus favorables à la santé humaine pour les agneaux nourris à l'herbe.

Dans le même contexte, une autre étude réalisée par Aurousseau et *al.* (2007) a montré que la viande des agneaux nourris à base d'herbe présente des teneurs élevées en (acide stéarique, ALA, EPA, DPA et en AGPI n-3 par rapport à celle des agneaux élevés en bergerie avec de concentrés. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Scerra et *al.* (2007) et Cividini et *al.* (2014). Par ailleurs, d'autres études ont montré que la conduite des agneaux au pâturage a légèrement affecté la composition et la qualité des AG. Ainsi, Popova (2014) ont rapporté seulement une augmentation de teneurs en ALA et en CLA pour les agneaux nourris avec de l'herbe par rapport à ceux conduits en bergerie. Toutefois, cette étude a montré que le mode de conduite n'a pas eu des effets significatifs sur les autres AG.

A l'échelle nationale, Atti et Mahouachi (2009) ont montré qu'il n'y a pas de différence significative pour la composition en AG et la qualité des lipides entre les agneaux de race Barbarine élevés en bergerie ou sur parcours. Par contre, Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2010)

ont montré que la valeur santé des AG de la viande a été améliorée par la conduite des agneaux sur un parcours naturel composé d'arbustes dans la région de Sidi Bouzid en comparaison à une conduite en bergerie avec du foin d'avoine et du concentré. Ainsi, la conduite des agneaux sur parcours a diminué la part des AGS totaux et en particulier les proportions en C12 :0, C14 :0 et C16 :0 et a augmenté la part des AGI, AGPI et AGPI n-3 notamment ALA, EPA, DPA et DHA. Aussi, Majdoub-Mathlouthi *et al.* (2015) ont rapporté que les teneurs en AGS, AGI, AGMI, AGPI, C16 :0 et C18 :0 ne sont pas différents en comparant des agneaux de la race Barbarine élevés en bergerie avec du foin d'avoine et 200 à 300 g d'aliment concentré à ceux sur un parcours naturel de la région de Sidi Bouzid formé par des arbustes et supplémenté avec 100 g de concentré. Par contre, cette étude a montré que le rapport AGPI/AGS est amélioré avec la conduite des agneaux sur parcours de même que la teneur en ALA, AGPI n-3 LC ainsi que le rapport AGPI n-6/ AGPI n-3 et LA/ALA (6,78 vs.10,05). De même, Hajji *et al.* (2016) ont rapporté une augmentation de CLA, ALA, EPA (1,13 vs. 0,18) et DPA (1,71 vs.0,46) et une baisse des AGS (44,48 vs. 50,63%) et de C16 :0 lorsque les agneaux sont élevés sur parcours par rapport à ceux élevés en bergerie (Tableau 9).

Tableau 9 : Effet de la conduite à l'herbe des agneaux sur la composition en acides gras (en écart par rapport à la conduite en bergerie) et les rapports nutritionnels

	C16 :0	C18 :0	CLA	ALA	AGPI	AGPI n-3	AGPI/AGS	n-6/n-3
Aurousseau et al. (2004)	- 5,6	+6,35	+0,80	+0,50	-	+1,70	-	1
Majdoub-Mathlouthi et al. (2010)	-1,23	+0,49	NS	+0,48	+4,30	+0,94	0,34	7,73
Cividini et al. (2014)	-4,73	NS	+0,45	+0,39	+7,32	+1,22	-	2,07
Popova (2014)	NS	NS	+0,21	+0,36	+0,50	-		0,38
Majdoub-Mathlouthi et al. (2015)	NS	NS	NS	+0,59	NS	+1,46	0,37	4,53
Hajji et al. (2016)	-6,06	-	+0,28	+1,83	+11,09	+3,27	0,42	2,73

Par ailleurs, l'effet de la conduite des agneaux à l'herbe sur la qualité nutritionnelle de la viande est influencé par d'autres facteurs (type de pâturage, durée de l'accès au pâturage, niveau et type de supplémentation,...). Ainsi, une méta-analyse récente effectuée par Popova

et *al.* (2015) a montré que l'accès des agneaux au pâturage induit une diminution de la teneur en gras intramusculaire, qui est recherchée par le consommateur. Aussi, ces auteurs affirment que lorsque les agneaux sont élevés en pâturage pendant une longue durée et ne reçoivent pas une complémentation, ont tendance à avoir plus d'AGPI et plus particulièrement d'AGPI n-3 dans leur viande. Par contre, la teneur en AGPI n-6 diminue avec l'augmentation de la durée de pâturage et par conséquent ceci permet d'améliorer le rapport AGPI n-6/AGPI n-3.

5.3.2. Type de pâturage

L'effet de l'herbe sur la composition en AG pourrait être associé à la composition floristique des pâturages (Tableau 10). Ainsi, Fraser et *al.* (2004), ont rapporté que la conduite des agneaux sur des prairies à base de trèfle rouge (*Trifolium pratense*) ou de luzerne (*Medicago sativa*) a permis d'améliorer les teneurs en LA (4,47 et 4,02 vs. 2,91%) et en ALA (2,86 et 2,72 vs. 2,07%) ainsi que les rapports AGPI/AGS et AGPI n-6/ AGPI n-3 par rapport à ceux élevés sur une prairie de ray-grass anglais (*Lolium perenne*). Par contre, cette dernière a induit une augmentation de la part d'acide C18:0 alors que la teneur en C16:0 a diminué avec la conduite des agneaux sur une prairie de ray-grass ou celle de trèfle rouge. Aussi, Ådøny et *al.* (2005) ont montré que la teneur en AGPI (6,9%) a augmenté au détriment d'AGMI (38,2%) avec la conduite des agneaux sur une prairie diversifiée en montagne par rapport à ceux élevés sur une prairie mono spécifique (4,4% et 40,3% respectivement AGPI et AGMI). De même, Lourenço et *al.* (2007) ont montré que les teneurs en AGPI et en LA ont été plus élevées avec la conduite des agneaux sur des prairies riches en légumineuses (7,78 et 3,53%) que pour des prairies plus diversifiées (4,63 et 1,30%) ou riches en graminées (4,55 et 1,50%). Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Petron et *al.* (2007) qui ont trouvé une teneur plus élevée en AGPI pour les agneaux élevés sur une prairie plus diversifiée ou celle riche en légumineuses par rapport à ceux élevés sur une prairie riche en ray-grass. Aussi, Willems et *al.* (2013) ont rapporté des teneurs élevées en LA (8,69%) et ALA (3,44%) pour les agneaux élevés sur une alpage formée par 71 espèces végétales et composée principalement du *Crepido-aurea festucetum*, par rapport à ceux élevés sur une plaine composée uniquement de 9 espèces (5,71 et 2,18% respectivement en LA et ALA). Alors que les agneaux conduits sur deux autres types d'alpages moins diversifiés (30 et 37 espèces) ont montré des valeurs intermédiaires en LA et ALA. Par contre, Ponnampalam et *al.* (2010) ont souligné qu'il n'y a pas de différence en termes de teneurs en ALA, EPA et AGPI n-3 entre les agneaux élevés sur une prairie composée de 90% de ray-grass (*Lolium perenne*) et 10% d'orge (*Hordeum leporinum*) en comparaison à ceux élevés en bergerie avec des grains d'orge (80%) et des

lentilles (20%). Par ailleurs, la viande de ce dernier groupe contient des teneurs élevées en C16:0, C18:0, DPA et DHA.

Par ailleurs, une étude réalisée par Lind et *al.* (2009) basée sur une comparaison de la qualité de la viande d'agneaux conduits sur deux types de prairies (montagne *vs.* prairie cultivée) et dans deux régions en Norvège (au nord et au centre) a montré que la qualité nutritionnelle de la viande a été légèrement affectée par le type de prairie. Cette étude a montré que quelle que soit la région, la viande des agneaux élevés sur une prairie en montagne contient une teneur plus faible en C16:0 et plus élevée en LA par rapport à celle des agneaux élevés sur une prairie cultivée. Aussi, la teneur en ALA a été affectée par le type de prairie. En effet, au nord du Norvège, la teneur en ALA a été plus élevée pour les agneaux élevés sur une prairie cultivée, composée principalement d'*Elytrigia repens*, par rapport à celle en montagne (1,9 *vs.* 1,5%). Au contraire, au centre du Norvège, la conduite des agneaux en montagne a permis d'augmenter la teneur en ALA en comparaison aux agneaux conduits sur une prairie cultivée, composée principalement d'*Agrostis capillaris* (1,6 *vs.* 1,4%). Toutefois, une étude réalisée par Hamdi (2011) et Hamdi et *al.* (2012) qui porte sur l'effet de deux types de parcours (parcours naturel *vs.* prairie d'orge en vert) utilisés pour l'engraissement des agneaux de race Barbarine en mode biologique, a montré que le type de parcours n'a eu un effet important sur la composition en AG.

Tableau 10: Teneurs en acides gras de viandes d'agneaux ayant pâturé des prairies de composition floristiques variables (% des AG totaux)

	Type de pâture	Composition en AG de la viande						
		AGS	AGMI	AGPI	C18 :2	C18 :3	C18 :1t11	CLA
Ådnøy et al. 2005	Plaine	45,3 ^a	40,30 ^a	4,40 ^a	-	-	-	-
	Montagne	45,90 ^{a,b}	38,20 ^b	6,90 ^b	-	-	-	-
Louranço et al. 2007	Prairie riche en Ray-grass anglais	53,40	35,90	4,55 ^b	0,86 ^c	1,50 ^b	4,47 ^a	1,01 ^b
	Prairie riche en légumineuses	50,30	35,30	7,78 ^a	2,35 ^a	3,53 ^a	3,25 ^a	0,68 ^c
	Prairie diversifiée	55,70	33,20	4,63 ^b	1,19 ^b	1,30 ^b	4,57 ^a	1,32 ^a
Winttington et al. 2006	Prairie temporaire	41,9	40,6	5,6 ^a	2,6 ^a	1,4	-	-
	Marécage salé	42,60	39,80	7,30 ^a	3,10 ^a	1,60	-	-
	Lande à bruyère	42,60	37,90	9,20 ^b	3,90 ^b	1,70	-	-
	Lande	40,20	39,80	8,30 ^b	3,10 ^a	1,70	-	-

^{a, b et c} : Les différentes lettres sur la même colonne indiquent des différences significatives (P<0,05). (Farruggia et al., 2008)

Plusieurs études ont montré que l'effet du type de pâturage sur la composition en AG est associé à la richesse des certaines espèces fourragères ou pastorales en composés secondaires (Lourenço et al., 2010; Howes et al., 2015; Morales et Ungerfeld, 2015). Ainsi, ces auteurs ont montré que l'augmentation de la part des AGPI dans la viande des animaux nourris avec de l'herbe ou les fourrages verts pourrait être associée à une réduction de la biohydrogénation dans le rumen de ces AG, suite à la présence des composés secondaires (polyphénols, tannins,...). En outre, ces composés et notamment les tannins sont capables de former des complexes avec les protéines et par conséquent inhiber la biohydrogénation des AGPI par les microorganismes du rumen. Alors, ceci favorise la préservation de la quantité d'AGPI apportée par l'alimentation et sa déposition dans les tissus. Dans ce contexte, Bayourthe et Ali-Haimoud-Lekhal (2014) ont montré que les tannins condensés présents dans différentes légumineuses fourragères (Sulla, groupeier pédonculé, groupeier corniculé, sainfoin) inhibent la croissance et la multiplication cellulaire des micro-organismes du rumen, notamment les *Butyrivibrio fibrisolvens* qui sont responsables de la biohydrogénation ruminale des AGPI (Kemp et Lander, 1984). Et par conséquent, ceci pourrait améliorer la qualité nutritionnelle des AG (Tableau 11) et leur valeur santé.

Dans ce contexte, Priolo *et al.* (2005) ont montré que l'utilisation de sulla (*Hedysarum coronarium* L.), qui contient 17,8 g de tannins condensés/kg MS, dans la ration d'engraissement des agneaux a permis d'améliorer la qualité nutritionnelle de la viande. Ainsi, les teneurs en CLA (0,91 vs. 0,41), ALA (4,98 vs. 1,18), EPA (2,91 vs. 1,78) et en AGPI n-3 (11,04 vs. 4,24) ont été plus élevées avec la ration à base de sulla en comparaison à celle à base de concentré. Egalement, l'utilisation du sulla a permis de diminuer les niveaux de certains AGS tels que l'acide caprique (C10:0), laurique (C12:0), myristique (C14:0) et palmitique et le rapport AGPI n-6/ AGPI n-3 (2,09 vs. 7,21). Aussi, Vasta *et al.* (2009) ont rapporté que les agneaux nourris avec une ration composée de 100% de vesce (*Vicia sativa*) a permis d'augmenter la teneur en AGPI par 10,1 points et de réduire celle en AGS par 3,6 points. Ces résultats sont en accord avec ceux de Girard *et al.* (2016) qui ont trouvé que la viande des agneaux nourris avec l'ensilage de sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) ou l'ensilage de groupeier corniculé (*Groupeus corniculatus*) contient moins d'AGS et plus d'AGPI, EPA et DPA par rapport à ceux nourris avec les ensilages de luzerne ou du trèfle rouge (*Trifolium pratense*). Egalement, une étude réalisée par Campidonico *et al.* (2016) basée sur une comparaison d'effets de différents types d'ensilages utilisés pour l'engraissement des agneaux a montré que les teneurs élevées en ALA, EPA, DHA et AGPI n-3 et un rapport plus faible en AGPI n-6/AGPI n-3 ont été déterminées pour les agneaux ayant reçu un ensilage formé par un mélange de sainfoin et de trèfle rouge (50 :50), d'autres agneaux ont reçu un ensilage composé par la fléole des prés (*Phleum pratense*), le sainfoin et le trèfle rouge (50 :25 :25) ou un ensilage composé de fléole des prés et le trèfle rouge (50:50), puis les agneaux nourris avec un ensilage de fléole des prés. Par contre, Jeronimo *et al.* (2010) ont montré que l'alimentation des agneaux avec des aliments riches en tannins condensés tels que la luzerne déshydratée ou la ciste à gomme (*Cistus ladanifer*) n'ont pas affecté la composition et la qualité des AG de la viande.

Toutefois, ces résultats controversés pourraient être expliqués par la différence au niveau de la nature et la teneur en composés secondaires plus particulièrement en tannins condensés et à leur structure entre les espèces fourragères ou pastorales. Vasta *et al.* (2010) et Toral *et al.* (2016) ont rapporté que la dernière étape de la biohydrogénation ruminale peut être inhibée par les tannins ce qui induit une augmentation de la teneur en acide vaccénique et des variations dans la composition en AG des produits des animaux. D'autre part, Makkar (2003) et Morales et Ungerfeld (2015) ont affirmé que lorsque les composés secondaires et plus précisément les tanins condensés sont présents avec des concentrations élevées dans l'alimentation animale, ils peuvent affecter négativement la qualité des produits des animaux.

Tableau 11 : Effet de la teneur en tannins condensés de différentes plantes sur le profil en acides gras (en écart par rapport au témoin) du *Longissimus dorsi* chez l'agneau

	<i>Hedysarum coronarium</i> ¹	<i>Vitis Vinifera</i> ²	<i>Schinopsis Lorentzii</i> ³	<i>Cistus Ladanifer</i> ²	
Tannins (g/kg MS)	17,8	25	40,4 ^(a)	40,6 ^(b)	250
AGS	- 4,4	- 0,2	- 3,6	- 1,4	- 0,4
AGMI	- 4,2	- 2,3	- 6,4	- 0,7	- 3,2
C18 : 1 c9	+ 5	- 3,7	- 6,2	- 4,1	- 3,9
C18 : 1 t11	- 0,81	+ 0,03	- 0,27	+ 0,63	- 0,02
AGPI	+0,24	+ 1,3	+ 10,1	+ 2,1	+ 3,1
C18:2 c9c12	- 5,9	+ 2,0	- 3,7	+ 1,5	+ 2,5
C18:2 c9t11	+ 0,45	- 0,02	- 0,32	+ 0,50	- 0,05
C18:2 t10c12	+ 0 45	0,001	+ 0,01	+ 0,01	-
C18:3 c9c12c15	+ 3,9	+ 0,01	+ 1,1	+ 0,38	- 0,59

¹Priolo *et al* 2005 ; ²Jeronimo *et al* 2010 ; ³Vasta *et al* 2009.

^(a)Ration 100% fourrage (*Vicia sativa*) ; ^(b) Ration 30% fourrage / 70% concentré.

Les valeurs en gras indiquent les écarts significatifs par rapport au témoin (P < 0,05).

Bayourthe et Ali-Haimoud-Lekhal (2014)

5.3.3. Apport des sources lipidiques riches en AGPI n-3

Plusieurs études ont montré que la supplémentation des agneaux avec des sources de lipides riches en AGPI notamment en AGPI n-3 est une voie efficace pour améliorer la valeur nutritionnelle des AG de la viande (Elmore *et al.*, 2005 ; Bas *et al.*, 2007 ; Jerónimo *et al.*, 2010 et 2012 ; Berthegroupe *et al.*, 2012 ; Urrutia *et al.*, 2015). En effet, ces travaux ont rapporté une augmentation de la part des AGPI au détriment des AGS ainsi qu'une amélioration de la teneur en certains AG bénéfiques pour la santé humaine tels que le CLA, ALA, AGPI n-3 (Sinclair, 2007). Dans ce contexte, les sources lipidiques utilisées couramment en alimentation animale sont les graines et les huiles de coton, le tournesol, le soja, le lin et le colza. Les graines de lin représentent la principale source alimentaire riche en AGPI n-3 (Chilliard *et al.*, 2007). De même, des études récentes ont confirmé ces résultats. Ainsi, Jerónimo *et al.* (2010 et 2012), Berthelot *et al.* (2012), Gómez-Cortés *et al.* (2014) et Urrutia *et al.* (2015) ont montré aussi que l'incorporation des graines de lin dans la ration des agneaux a permis d'améliorer la qualité nutritionnelle des lipides et la valeur santé de la viande. En effet, l'huile de lin contient 44% MG dont 55% d'AG totaux formé principalement d'ALA (Doreau et Ferlay, 2015). Elmore *et al.* (2000) ont montré que l'ajout de graines de

lin (6% /kg MS) dans la ration des agneaux a augmenté la teneur en ALA de +0,52% pour la race Suffolk et +0,38% pour la race Soay et a diminué celle en LA de (-0,34%) et (-0,59%) respectivement pour les deux races. Aussi, Rondia et *al.* (2003) ont rapporté que la viande d'agneaux élevés en bergerie et supplémentés en graines de lin (12,5% /kg concentré) contient moins de C16:0 (-1,25%) et plus de CLA (+0,22%) et d'ALA (+1,72%) et elle caractérisée par un faible rapport AGPI n-6/AGPI n-3 (2,32 vs. 5.89) par rapport à ceux non supplémentés. Une autre étude réalisée par Elmore et *al.* (2005) basée sur une comparaison de l'effet de la supplémentation des rations des agneaux avec cinq types de sources lipidiques (huile de lin, huile de poisson, matière grasse protégée (formée par un mélange de 44.39% de C18:2n-6 et 15,97% de C18:3n-3), mélange d'huile de poisson et des algues et un mélange de matière grasse protégée et des algues. Les résultats obtenus montrent que les agneaux ayant reçu de la matière grasse protégée ont une teneur plus élevée en ALA (138 mg/100g) par rapport aux autres traitements ceci est probablement liée à une réduction de la biohydrogénation ruminale des AGPI. La supplémentation de la ration d'agneaux avec un mélange d'huile de poisson et les algues a permis d'améliorer la teneur en EPA (85 mg/100g), viennent en suite les agneaux reçoivent l'huile de poisson (48 mg/100g) et le mélange de matière grasse protégée et les algues (44 mg/100g). Alors que les teneurs élevées en DHA ont été déterminées pour les agneaux ayant reçu des algues dans leur ration. Aussi, Díaz et *al.* (2011) ont étudié l'effet de la supplémentation de la ration des agneaux avec trois différentes sources d'AGPI n-3 (huile de poisson, graines de lin extrudées et un mélange graines de lin extrudées et des micro-algues). Cette étude a montré que la supplémentation des graines de lin extrudées a permis d'augmenter la teneur en ALA, alors que la viande des agneaux supplémentés avec l'huile de poisson est plus riche en AGPI n-3 LC (183 mg/100g de muscle).

Bas et *al.* (2007) ont étudié l'effet de différents taux d'incorporation de graines de lin extrudées (0, 3, 6 et 9% / kg MS de concentré) dans la ration des agneaux. Ces auteurs ont trouvé que les proportions d'ALA et d'AGPI n-3 augmentent linéairement avec le taux d'incorporation. Ainsi, la teneur en ALA est de l'ordre de 0,44%, 0,87%, 1,01% et 1,52% respectivement pour les taux d'incorporation de 0, 3,6 et 9%. Aussi, la teneur en d'AGPI n-3 a augmenté de 0,89% à 2,07% en augmentant le taux d'incorporation de graines de lin de 0% à 9%. Jerónimo et *al.* (2009) ont montré que la substitution de l'huile de tournesol par l'huile de lin dans la ration des agneaux, à raison de 60g/ kg MS et administré dans la luzerne déshydratée les granule amélioré la composition et la qualité santé des AG. En outre, les teneurs plus élevées en ALA (+2,13%), EPA (+0,31%), DPA (+0,08%), DHA (+0,06%),

AGPI n-3 (+2,64%) et en AGPI LC n-3 (+0,52%) et une teneur plus faible en AGPI n-6 (-5,34%) ainsi que un meilleur rapport AGPI n-6/ AGPI n-3 (1,60 vs. 7,04) ont été déterminés pour les agneaux nourris avec l'huile de lin par rapport à ceux recevaient l'huile de tournesol.

Les AGI et plus particulièrement les AGPI sont très sensibles à l'oxydation. Alors, des niveaux assez élevés en AGPI n-3 dans la viande pourraient augmenter le risque de lipoperoxydation de cette viande et altérer ses qualités nutritionnelles et sensorielles lors de la conservation et même affecter la santé humaine (Wood et *al.*, 2004; Díaz et *al.*, 2011). Dans la partie suivante de la synthèse bibliographique on s'intéresse à l'étude du processus de peroxydation des lipides.

6. Peroxydation des lipides

6.1. Le stress oxydant

A l'état physiologique normal de l'organisme, les radicaux libres oxygénés sont présents et produits d'une manière continue au niveau des cellules. L'élimination de l'excès de ces pro-oxydants est assuré par des substances antioxydantes. Toutefois, cette balance peut être perturbée suite à une surproduction excessive des radicaux libres et/ou à un déficit en antioxydants ce qui induit un stress oxydant. Ainsi, le stress oxydant est défini comme étant un déséquilibre dans la balance du ratio antioxydants/pro-oxydants (Sies, 1997). Néanmoins, Favier (2003) affirme que les radicaux libres et en particulier les espèces réactives de l'oxygène, ou également appelées espèces oxygénées réactives (ERO), ne sont pas toujours nocifs lorsqu'ils sont produits en quantité raisonnable. En effet, certains radicaux libres présentent des effets bénéfiques en cas de problèmes d'inflammation ou d'infection de l'organisme. Les principales causes du stress oxydant sont groupées en deux classes selon leur origine :

- **Pro-oxydants endogènes:** dysfonctionnement de la chaîne respiratoire mitochondriale, activation de systèmes enzymatiques (NADPH oxydase, glucose oxydase, monoamine oxydase), développement d'une réaction inflammatoire, les infections tissulaires, présence de certains métaux (fer, cuivre),... (Figure 10)
- **Pro-oxydants exogènes:** alimentation pauvre en antioxydants, exposition aux rayonnements UV et X, exposition prolongée au soleil, changement hormonal, activité physique intense, stress, fatigue, substances toxiques (tabac, pollution, pesticides), certains médicaments, alcoolisme,....

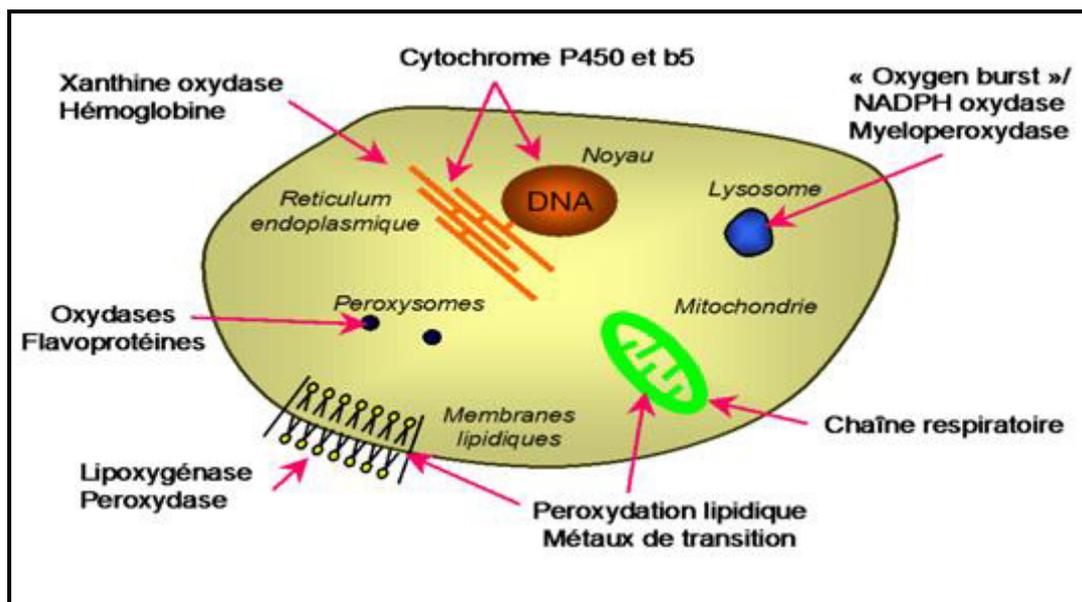


Figure 10: Sites de production intracellulaire des espèces oxygénées réactives (Machlin et Bendich, 1987)

Dans l'organisme, les substances oxydables peuvent être les lipides, les protéines, les glucides ou les acides nucléiques (ADN et ARN). Ainsi, un excès de production des espèces réactives peut induire des dégâts et des lésions souvent irréversibles au niveau des constituants de la cellule (Figure 11) tels que l'inactivation des enzymes, la dégradation des sucres et des protéines, des fragmentations au niveau de la chaîne d'ADN (Sies, 1993) et l'oxydation des lipides (Favier et *al.*, 1997). Alors, il est à noter que dans la suite de notre recherche bibliographique on s'intéresse à l'oxydation des lipides, appelée également peroxydation lipidique, en étudiant les mécanismes biochimiques et les marques de cette réaction ainsi que les effets possibles de la peroxydation des lipides sur les qualités nutritionnelles et sensorielles de la viande et la santé humaine.

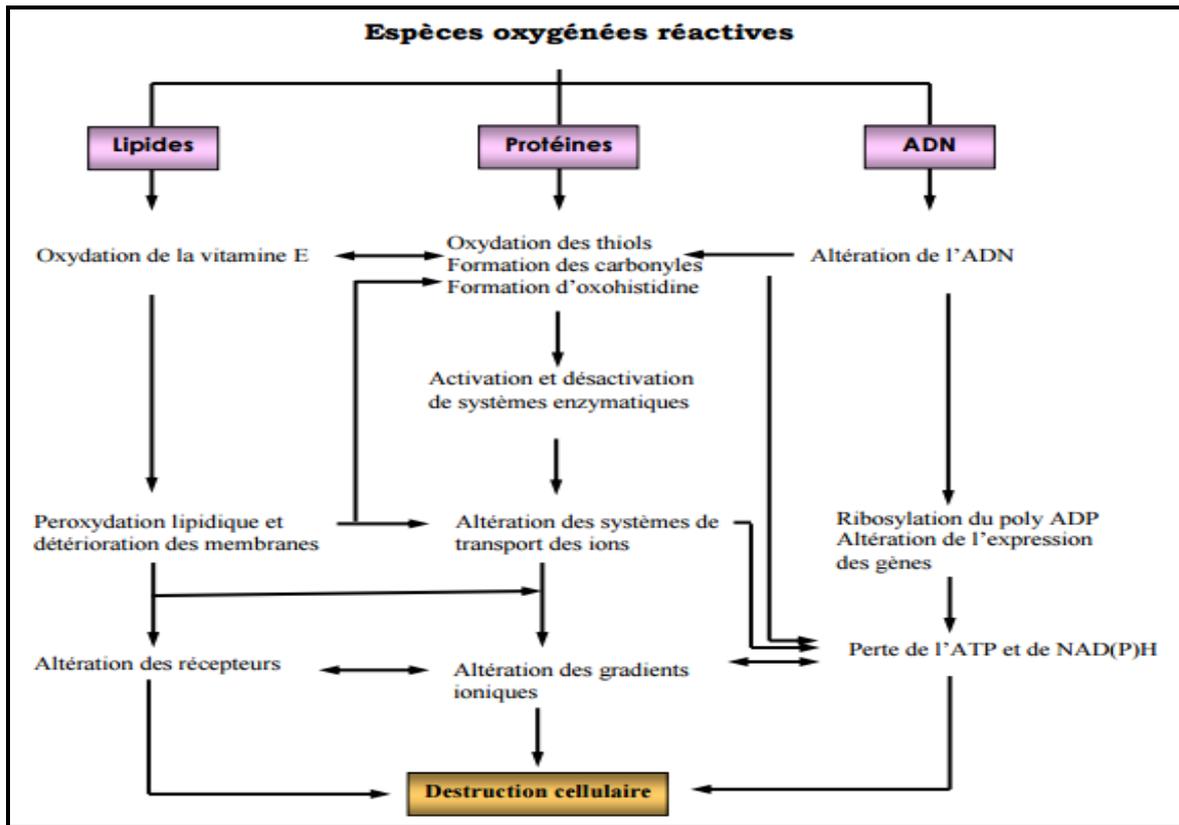


Figure 11: Effets biologiques cellulaires des espèces oxygénées réactives (Lefèvre et *al.*, 1998)

6.2. Mécanismes biochimiques de la peroxydation des lipides

Les lipides sont les constituants de la cellule les plus cibles des espèces oxygénées réactives (ERO) et les plus sensibles au stress oxydant. En effet, la présence des doubles liaisons dans la structure des AG leur confèrent une grande instabilité notamment les AGPI caractérisés par un degré d'insaturation élevé (Min et Ahn, 2005). Les radicaux libres sont capables d'arracher facilement l'atome d'hydrogène du groupement méthyle bis-allylique. Ainsi, la peroxydation lipidique est d'autant plus importante que le nombre des doubles liaisons est élevé ce qui fait que les AGPI sont plus sensibles à l'oxydation que les AGMI. Toutefois, le processus de peroxydation des lipides commence immédiatement après l'abattage de l'animal et se poursuit pendant la phase post-mortem. Les modifications biochimiques produites au cours de la transformation du muscle en viande ont une grande importance dans l'état d'équilibre du ratio antioxydants/pro-oxydants. Ainsi, le niveau de peroxydation des AG est influencé par des facteurs pré-abattage (alimentation, stress,...) ou post-abattage (technique d'alourdissement, pH, température, mode de conservation,...). La peroxydation des lipides est un processus qui

se déroule en trois phases (Cui et Decker, 2016): une phase d'initiation, une phase de propagation et une phase de terminaison (Figure 12).

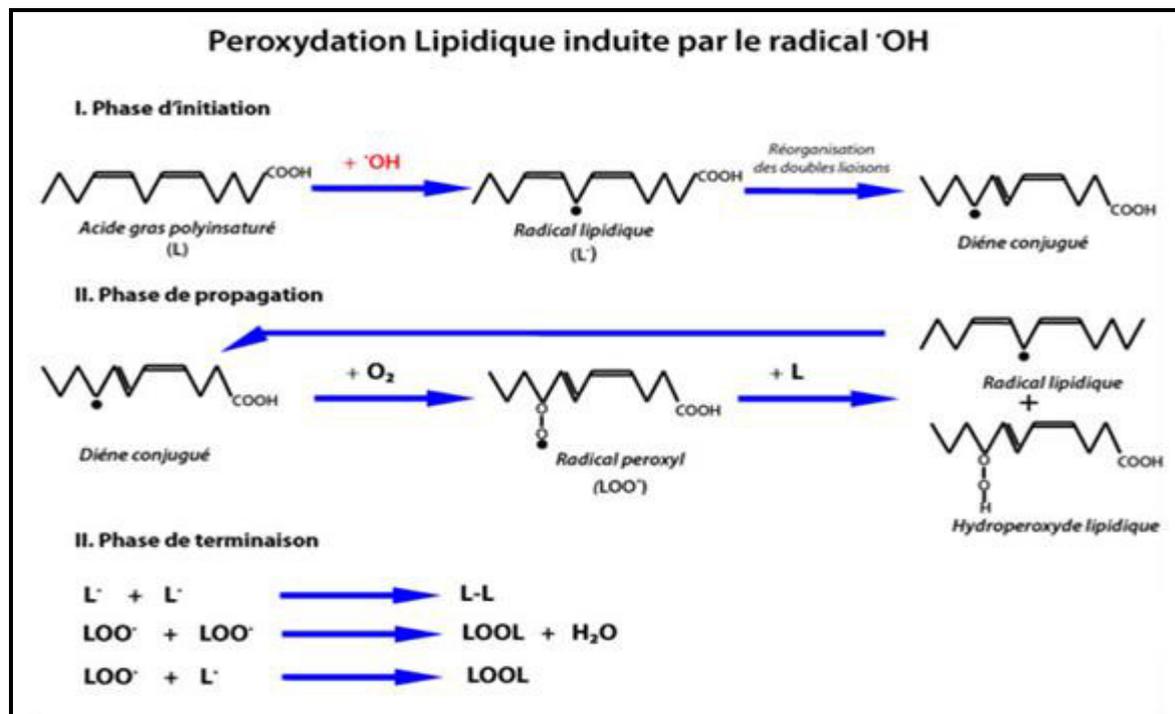


Figure 12: Principales étapes de la peroxydation des lipides (Favier, 2003).

6.2.1. Phase d'initiation

La phase d'initiation de l'oxydation a lieu lorsque une ERO arrache un atome d'hydrogène sur les carbones situés entre deux doubles liaisons d'un AGI pour former un radical libre de lipide ou radical alkyl ($\text{L}\cdot$) (Cui et Decker, 2016). Ce radical est instable et sous l'action du système de résonance se transforme en un diène conjugué, appelé également radical diényl (Cillard et Cillard, 2006). Comme son nom l'indique, ce radical est caractérisé par la présence de deux doubles liaisons conjuguées (Figure 12). Alors, cette réaction d'initiation supprime l'ERO mais elle entraîne la formation d'une molécule d'eau et un autre radical instable. Le radical hydroxyle ($\text{HO}\cdot$) est reconnu comme le radical le plus actif et capable d'attaquer les AGPI et de déclencher l'initiation de la réaction de peroxydation lipidique (Favier, 2003). Plusieurs facteurs sont à l'origine de l'initiation de l'oxydation des lipides, il s'agit des facteurs intrinsèques (nature des AG, nombre d'insaturation, présence d'ions métalliques et des enzymes, niveau des antioxydants,...) et des facteurs extrinsèques (température, la lumière, la présence d'oxygène, conditions de stockage et de transformation,...). Ainsi, selon la nature de l'agent initiateur, on distingue trois classes d'oxydation des lipides (Cuvelier et

Maillard, 2012 ; Figure 13). L'auto-oxydation qui est initiée par la température, les ions métalliques et les radicaux libres. La photo-oxydation comme son nom l'indique, elle est initiée par la lumière en présence de photo-sensibilisateurs. L'oxydation est également favorisée par l'activité de certaines enzymes (lipoxygénase, cyclooxygénase). On parle ainsi de l'oxydation enzymatique.

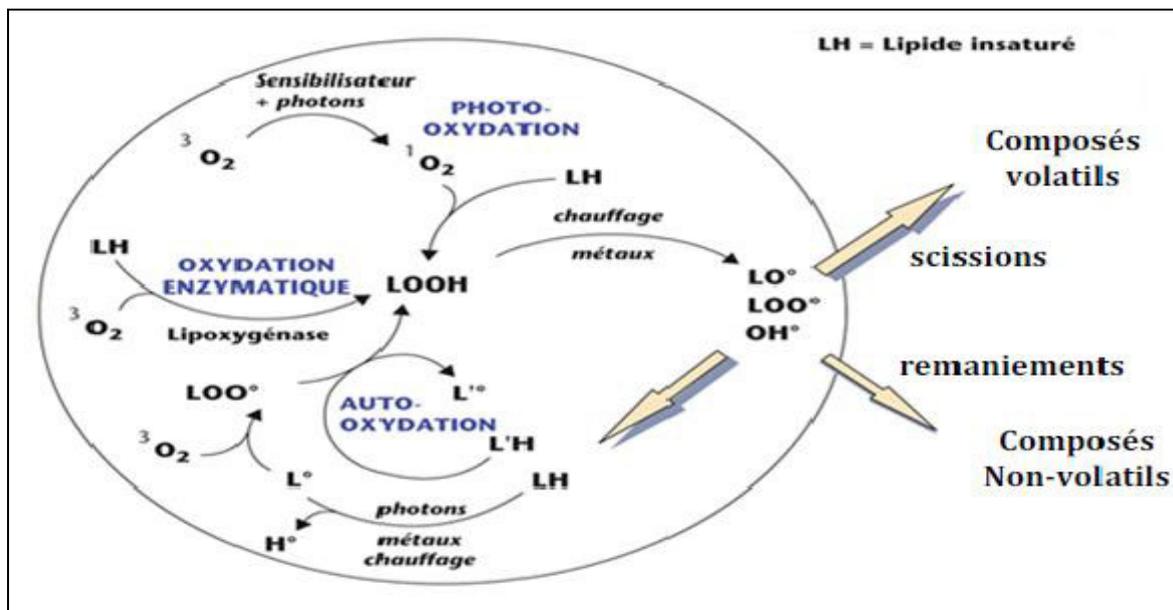


Figure 13: Schéma des réactions d'oxydation des lipides (Berset et Cuvelier, 1996 cité par Cuvelier et Maillard, 2012).

6.2.2. Phase de propagation

Au cours de cette phase, en présence d'oxygène, le radical diène conjugué va être oxydé en radical peroxyde (LOO^\bullet). Ce radical est instable, il va réagir avec un deuxième AGI pour lui arracher un atome d'hydrogène pour former un hydroperoxyde (LOOH) et un nouveau radical diène conjugué. Ce radical diène conjugué néoformé se transforme de nouveau en radical peroxyde et ainsi de suite. Ceci assure la propagation de la réaction et une réaction en chaîne se produit, c'est la phase de propagation (Cui et Decker, 2016). Cette réaction peut être interrompue par certains antioxydants tels que les tocophérols (vitamine E) présente dans la couche lipidique des membranes par la libération d'un atome d'hydrogène (Cillard et Cillard, 2006). Une partie des hydroperoxydes formés au cours de cette réaction, qui sont instables et très réactifs, sera décomposée et réduite en présence de formes ionisées de métaux de transition (fer, cuivre) en aldéhydes (malondialdéhyde, l'hydroxynonanal et les isoprostanes)

et acétones. L'autre partie des hydroperoxydes va être neutralisée par la glutathion peroxydase (Haleng et *al.*, 2007).

6.2.3. Phase de terminaison

La réaction de peroxydation lipidique s'arrête lorsque le radical (L^\bullet) s'associe à un autre radical peroxy (L^\bullet ou LOO^\bullet) pour former une espèce non radicalaire stable ($L-L$ ou $LOOL$; Figure 9) ou par l'action d'un antioxydant qui transforme les radicaux peroxy en hydroperoxydes tout en mettant fin à la réaction en chaîne. Cette réaction est appelée phase de terminaison (Cui et Decker, 2016).

6.3. Produits d'oxydation lipidique

L'oxydation des lipides conduit à la formation de différents types de produits. L'évolution (apparition et disparition) de différentes substances intervenant dans la réaction d'oxydation des lipides est présentée dans la figure 14. Cette figure montre que la concentration en hydroperoxydes (produits primaires de l'oxydation) augmente au même temps que la concentration en oxygène (O_2) qui augmente pendant la phase de propagation. Ensuite, pendant la phase de terminaison et en présence de formes ionisées de métaux de transition, les hydroperoxydes formés finissent par se décomposer en produits secondaires volatils (aldéhydes, alcools, cétones, hydrocarbures, acides, esters) et non volatils (oxy-monomères/dimères, époxydes, éther-oxydes). Ces produits sont responsables de l'altération et de la dégradation de la qualité sensorielle et nutritionnelle de la viande (Genot et Michalski 2010).

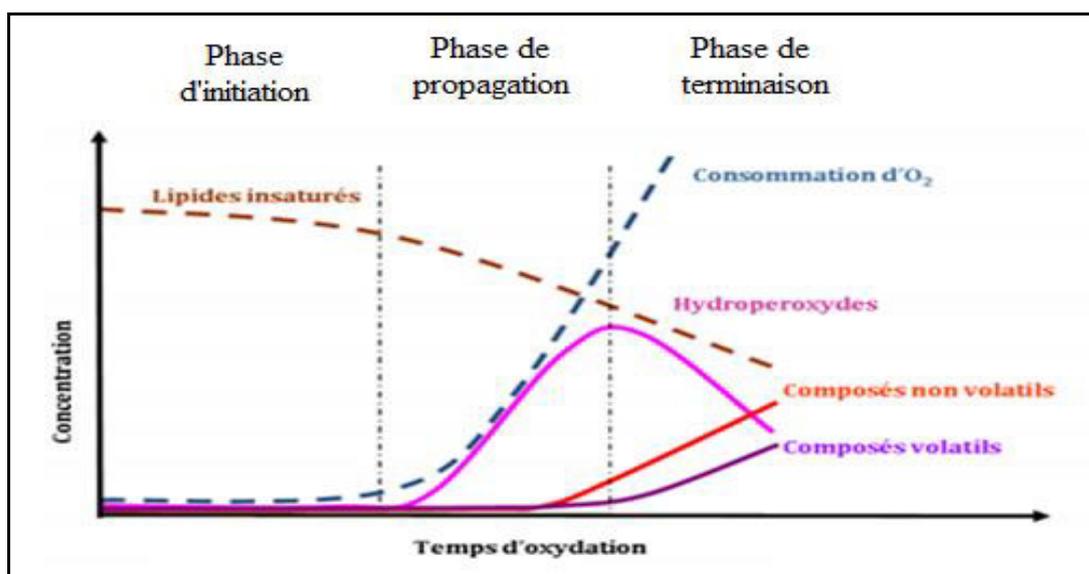


Figure 14: Evolution de l'oxydation des lipides au cours du temps (Labuza et Dugan, 1971)

Ainsi, la réaction d'oxydation des lipides induit tout d'abord la formation des produits primaires (hydroperoxydes et diènes conjugués) qui sont instables et très réactifs. Ensuite, ces produits finissent par se décomposer en produits secondaires (aldéhydes, alcools, cétones,... ; Figure 15). En plus, la formation de ces produits dépend de type de l'AG qui a subi l'oxydation. En effet, les principaux aldéhydes formés sont le malondialdéhyde (MDA), qui est le marqueur de l'oxydation des AGPI ayant au moins trois doubles liaisons et les 4-hydroxy-alkénals notamment le 4-hydroxy-2-nonéal (4-HNE) produits secondaires d'oxydation des AGPI n-6 et le 4-hydroxy-2-hexéal (4-HHE) produits secondaires d'oxydation des AGPI n-3 (Favier, 1997 ; Genot et Michalski 2010). Aussi, d'autres produits secondaires peuvent être utilisés comme marqueur spécifique d'oxydation de certains AGPI tel que les isoprostanes, marqueurs d'oxydation enzymatique de l'acide arachidonique (Lefèvre et *al.*, 1998).

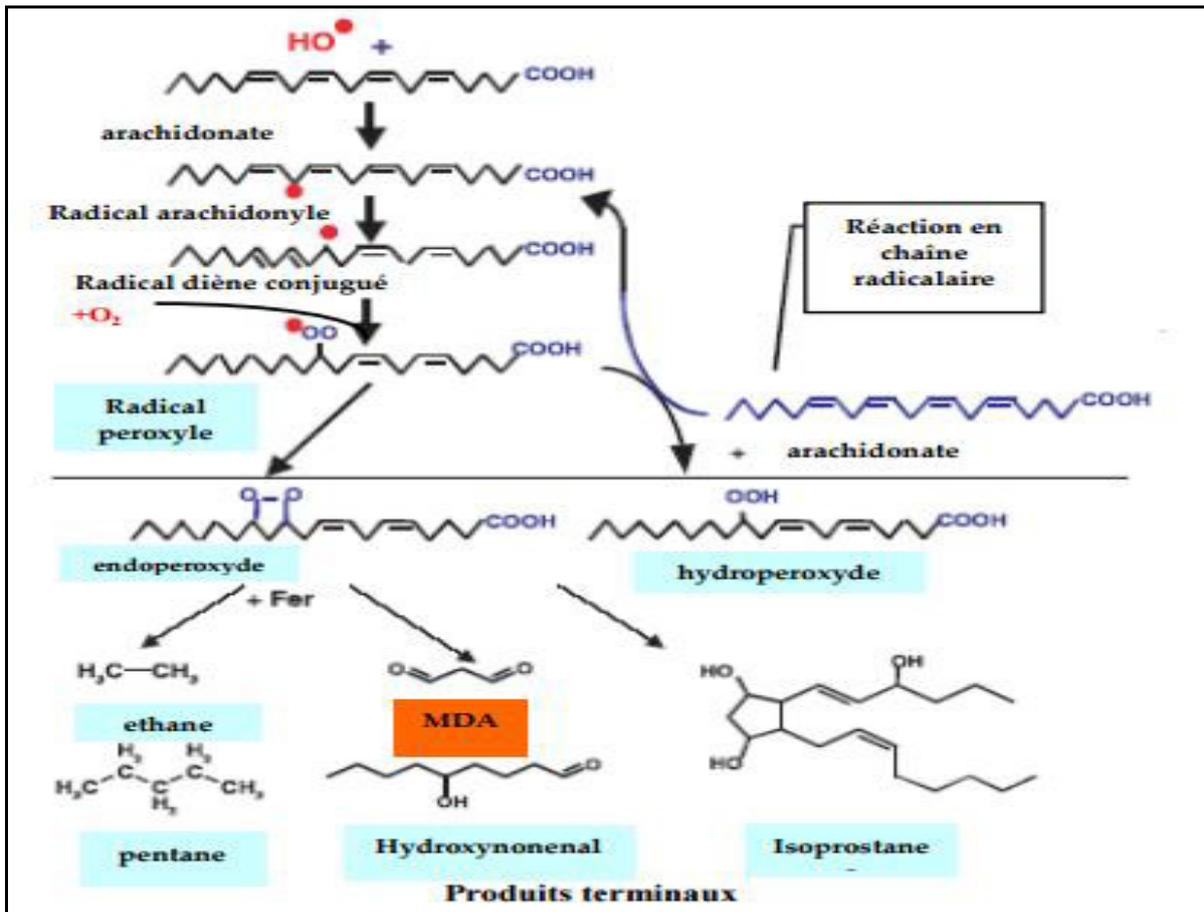


Figure 15: Mécanisme de la réaction de la peroxydation de l'acide arachidonique et la nature des produits terminaux formés (Favier, 2003)

6.4. Systèmes de défenses antioxydants

L'organisme possède des systèmes de défenses antioxydants pour supprimer et lutter contre les espèces réactives de l'oxygène (Figure 16). Un antioxydant est une substance qui est capable d'éliminer, de retarder ou d'empêcher la réaction d'oxydation (Sies, 1993). Les antioxydants peuvent être produits par l'organisme, il s'agit des antioxydants endogènes, ou bien des molécules naturelles et/ou synthétiques apportées par l'alimentation, ce sont les antioxydants exogènes. Aussi, les antioxydants sont classés selon leur mécanisme d'action en deux groupes:

- Système antioxydant enzymatique : superoxyde-dismutase (SOD), catalase, glutathion peroxydase (GSH Px) et glutathion reductase,...
- Système antioxydant non-enzymatique : les vitamines C et E, les caroténoïdes, les polyphénols et les oligo-éléments (comme le Zn ou le Se), le glutathion (GSH), l'acide urique,...

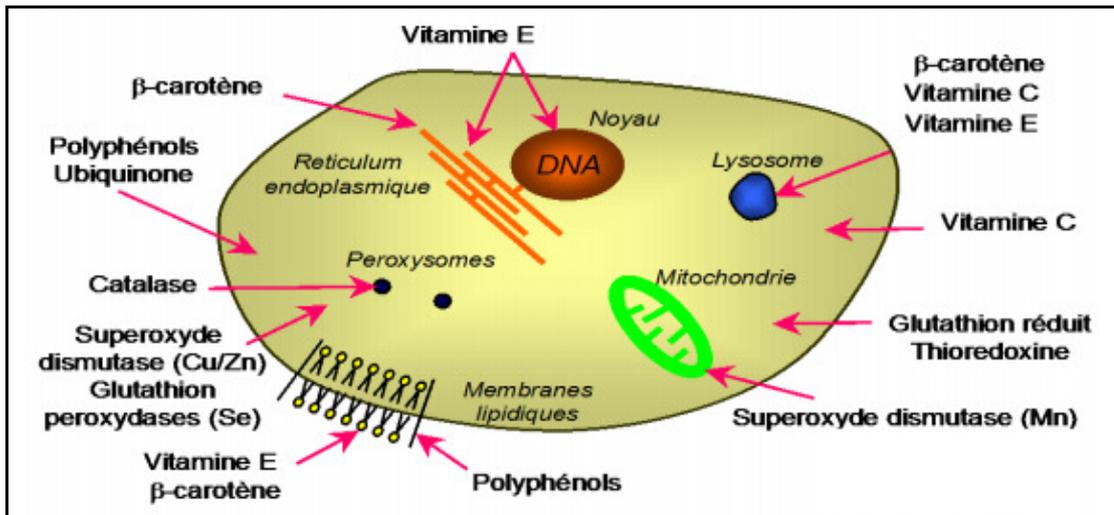


Figure 16: Principaux antioxydants intervenant dans la lutte contre l'oxydation des lipides dans la cellule (Machlin et Bendich, 1987)

6.4.1. Systèmes antioxydants enzymatiques

Les antioxydants enzymatiques comme leur nom l'indique sont des enzymes ayant un pouvoir antioxydant, sécrétées par l'organisme d'une manière continue dont leur quantités et leur actions dépend de certains cofacteurs tels que le cuivre, le fer, le manganèse, le sélénium, et le zinc (Favier, 2003; Figure 17).

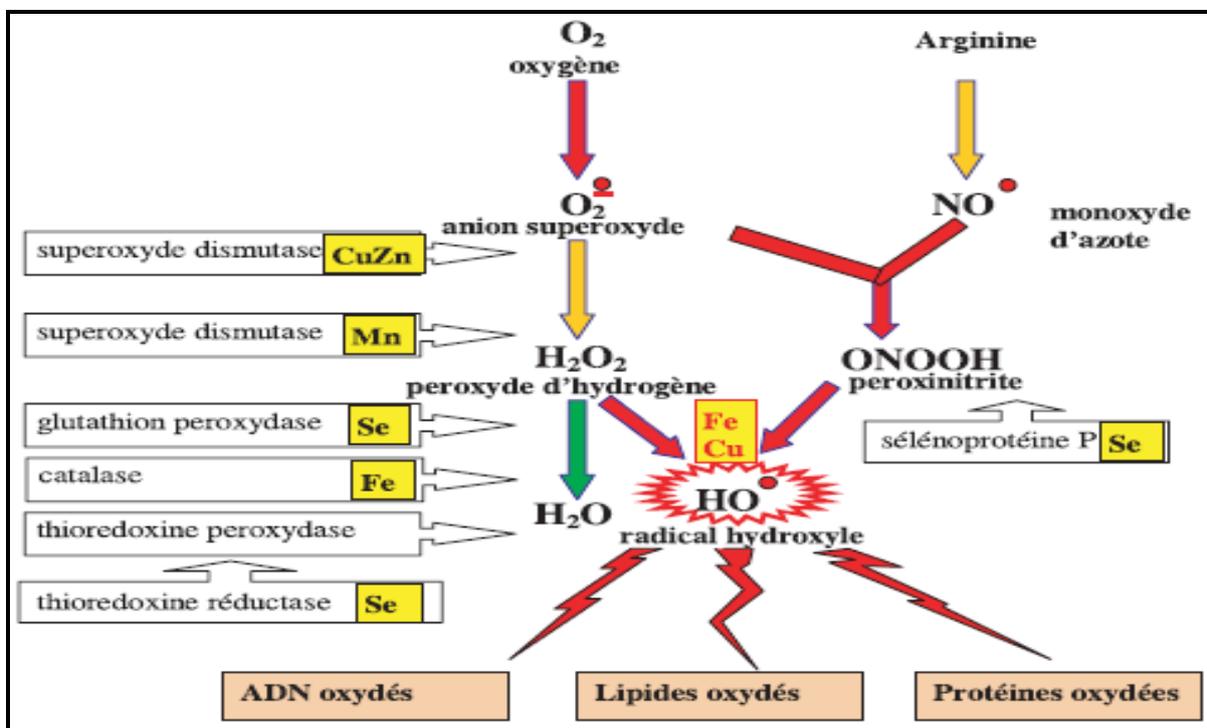


Figure 17: Mode d'action des principaux systèmes enzymatiques antioxydants et de leurs cofacteurs métalliques (Favier, 2003)

6.4.1.1. Superoxyde dismutase

La superoxyde dismutase (SOD) est une métalloprotéine qui catalyse la réaction de dismutation des anions superoxydes en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et en oxygène selon la réaction suivante (Fang et *al.*, 2002):



La SOD représente la première ligne de défense dans le système antioxydant enzymatique qui assure l'élimination et évite l'accumulation des ERO particulièrement l'anion superoxyde ($\text{O}_2^{\bullet-}$) (Sies, 1993). Il y a plusieurs types de SOD qui diffèrent par la composition du cofacteur métallique. On distingue ainsi, les SOD à manganèse (SOD-Mn) qui sont localisées surtout au niveau de la mitochondrie et les SOD à zinc ou cuivre (SOD-Cu-Zn) qui sont présentes dans le cytoplasme, le noyau, le plasma ou dans la membrane des cellules endothéliales (Amar, 2010). L'action de SOD est couplée par l'action de catalase ou glutathion peroxydase (GSH Px) pour éviter l'accumulation du peroxyde d'hydrogène, qui n'est pas un radical libre mais il est très réactif et possède un fort pouvoir oxydant. Selon Pamplona et Costantini (2011), l'activation de ces deux dernières enzymes dépend du niveau de H_2O_2 . Ainsi, des niveaux élevés en H_2O_2 favorisent l'activation de catalase tandis que les niveaux faibles entraînent l'activation de GSH Px (Haleng et *al.*, 2007).

6.4.1.2. Catalase

La catalase est une enzyme tétramérique contenant un groupe hème qui catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en eau et en oxygène selon la réaction suivante (Haleng et *al.*, 2007):

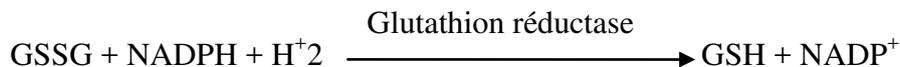


Ainsi, la catalase présente une action complémentaire des SOD puis qu'elle transforme le H_2O_2 formés par l'action de ces dernières en O_2 et H_2O . L'action de catalase devient importante en présence des ions ferreux. La catalase est présente essentiellement dans les peroxysomes et les globules rouges (Fang et *al.*, 2002).

6.4.1.3. Glutathion peroxydase et reductase

La glutathion peroxydase (GSH Px) est une sélénoprotéine qui utilise le glutathion réduit (GSH) comme donneur d'hydrogène pour décomposer H_2O_2 en O_2 et H_2O et neutraliser les peroxydes lipidiques (Agergaard et Jensen, 1982). GSH Px est caractérisée par une forte affinité pour le H_2O_2 . La GSH Px agit en synergie avec la glutathion reductase qui a pour rôle de régénérer GSH à partir du glutathion-disulfure (GSSG) formée lors de la décomposition de

H₂O₂ par l'action de GSH Px. Ainsi, la glutathion reductase utilise l'oxydation du NADPH en NADP⁺ pour réduire le GSSG et régénérer le GSH selon la réaction suivante (Fang et *al.*, 2002) :



6.4.2. Systèmes antioxydants non-enzymatiques

Les principaux antioxydants non-enzymatiques sont le glutathion, la vitamine E, la vitamine C, les caroténoïdes, les polyphénols et l'acide urique. Ils sont classés selon leur origine en antioxydants endogènes et antioxydants exogènes.

6.4.2.1. Antioxydants non-enzymatiques endogènes

Les antioxydants non-enzymatiques endogènes sont des substances présentes dans l'organisme et possèdent un pouvoir antioxydant pour lutter contre l'oxydation des lipides.

6.4.2.1.1. Glutathion

Le glutathion est un tri-peptide formé par L- γ -glutamyl-L-cystéinyl glycine, synthétisé dans le cytoplasme et peut être présent sous deux formes : forme oxydée (GSSG) et forme réduite ou forme thiol (GSH). Il est actif uniquement sous sa forme réduite. Le glutathion a un rôle important dans la lutte contre l'oxydation des lipides en raison de la présence du groupement thiol dans sa structure qui joue le rôle d'un piègeur des radicaux libres. En présence du GSH Px, le glutathion transforme le H₂O₂ en O₂ et H₂O (Fang et *al.*, 2002)..

6.4.2.1.2. Acide urique

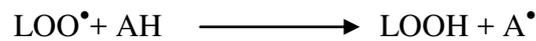
L'acide urique est le produit final du métabolisme des composés puriques tels que la xanthine et l'hypoxanthine. Il est capable de réduire certaines ERO telles que HO[•], ONOO⁻, NO₂[•] et ¹O₂ en molécules plus stables. Cette réaction conduit à la formation d'un radical urate relativement stable et qui sera réduit par la vitamine C (Haleng et *al.*, 2007).

6.4.2.2. Antioxydants non-enzymatiques exogènes

Les antioxydants non-enzymatiques exogènes sont des substances présentes ou apportées dans l'alimentation soit sous leur forme naturelle, soit sous forme d'additifs et qui sont capables d'empêcher et de lutter contre l'oxydation des lipides.

6.4.2.2.1. Vitamine E

La vitamine E est un antioxydant liposoluble qui existe sous quatre formes α , β , γ et δ -tocophérol (Figure 18) dont la forme α -tocophérol est la plus active. La vitamine E appartient aux antioxydants primaires qui interviennent en premier lieu pour lutter contre les radicaux libres particulièrement ceux produits par l'oxydation des AG (Morrissey et *al.*, 1994; Cuvelier et Maillard, 2012). Elle a un pouvoir fort pour inhiber l'initiation et la propagation des réactions de peroxydation lipidique en cédant son hydrogène situé dans le noyau phénolique aux radicaux libres selon les réactions suivantes (Fang et *al.*, 2002):



Ou bien



Avec: AH : antioxydant et A^\bullet : radical de l'antioxydant

Alors, le nouveau radical formé (A^\bullet) à partir de la vitamine E, appelé radical tocophéryle, est un radical non toxique, stable et ne possède pas le pouvoir d'arracher un hydrogène aux lipides et par conséquent la réaction de propagation d'oxydation des lipides s'arrête. La vitamine E est produite dans les chloroplastes des plantes tandis que pour les animaux, elle doit être apportée dans leur alimentation. Alors qu'au niveau de la cellule, sa régénération est assurée par la vitamine C et/ou le glutathion par la réduction du radical tocophéryl. Aussi, les caroténoïdes sont capables de régénérer la vitamine E (Fang et *al.*, 2002).

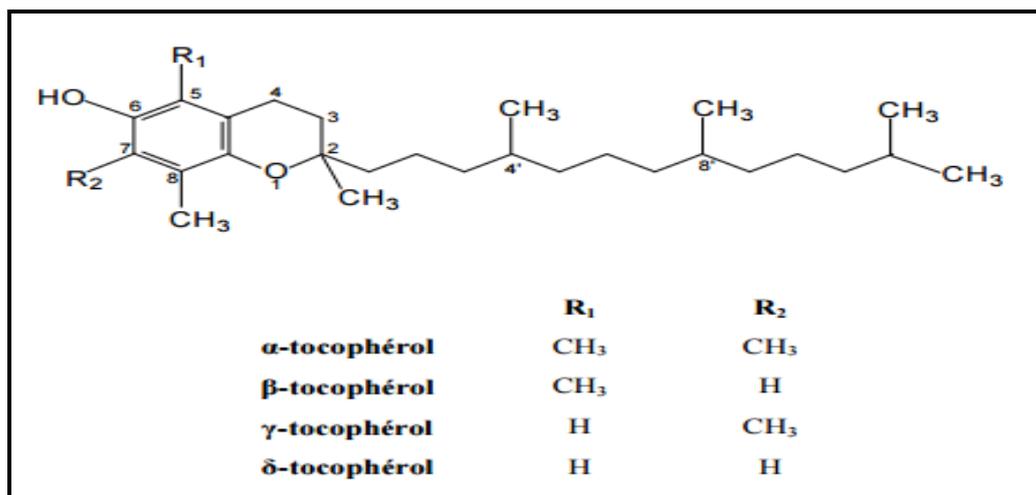


Figure 18 : Structure chimique des différents tocophérols (Laguerre et *al.*, 2007)

6.4.2.2. Vitamine C

La vitamine C ou l'acide ascorbique est un antioxydant hydrosoluble, capable de piéger les ERO essentiellement les radicaux superoxydes et hydroxyles (O_2^{\bullet} , OH^{\bullet} et LOO^{\bullet}) et de neutraliser l'oxygène singlet (1O_2). Aussi, elle joue un rôle important dans la régénération de la vitamine E et les caroténoïdes. Néanmoins, la vitamine C peut devenir un pro-oxydant en réduisant le fer ferrique en fer ferreux qui va réagir à son tour avec H_2O_2 pour donner le radical hydroxyle (Fang et *al.*, 2002).

6.4.2.3. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des molécules liposolubles, produites par les plantes. Elles sont formées par plusieurs molécules dont les plus connues sont les carotènes, qui sont représentés essentiellement par le β -carotène appelée également « pro-vitamine A », et les xanthophylles (zéaxanthine, lutéine,...). Les caroténoïdes sont capables de lutter contre les ERO plus particulièrement, l'oxygène singlet, par le transfert d'un électron ou une atome d'hydrogène (Morrissey et *al.*, 1998 ; Laguerre et *al.*, 2007). Les caroténoïdes peuvent régénérer la vitamine E. Ils sont eux même régénérés par la vitamine C (Fang et *al.*, 2002).

6.4.2.4. Polyphénols

Les polyphénols sont représentés par principalement les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins. Ces molécules contiennent dans leur structure des groupes phénoliques qui leur confèrent un pouvoir antioxydant important. Ainsi, elles sont capables de donner un électron ou un atome d'hydrogène à une ERO, notamment les anions superoxydes, afin de le piéger et de stopper la réaction de peroxydation (Laguerre et *al.*, 2007).

6.4.2.5. Oligoéléments

Certains minéraux tels que le cuivre, le zinc, le manganèse, le sélénium et le fer interviennent dans la lutte contre l'oxydation des lipides. En effet, ces oligoéléments sont des co-facteurs indispensables pour le fonctionnement des enzymes antioxydantes. Ainsi, le cuivre, le zinc et le manganèse sont indispensables pour le fonctionnement de SOD selon le site d'action. Aussi, la CAT et la GSH Px ont besoin respectivement de fer et sélénium pour réagir contre les ERO (Fang et *al.*, 2002). Toutefois, ces oligoéléments peuvent jouer le rôle d'un pro-oxydant. En effet, le fer sous sa forme réduite (hème des méthémoglobines) peut induire la production d'un radical libre.

6.5. Conséquences de la peroxydation des lipides sur les qualités nutritionnelle et organoleptique de la viande et sur la santé humaine

6.5.1. Altération de la qualité nutritionnelle et des propriétés biochimiques de la viande

La réaction d'oxydation lipidique implique les AGI et plus particulièrement les AGPI ce qui entraîne une perte de ces AG reconnus par leurs effets bénéfiques sur la santé humaine et par conséquent une perte de la valeur nutritionnelle de la viande (Figure 19). Ainsi, les pertes sont considérées critiques surtout pour les AGPI n-3 LC (EPA, DHA et DPA) qui sont très susceptibles à l'oxydation et sont présents en quantités assez faibles. En plus, l'oxydation induit la production des composés secondaires (MDA et 4-hydroxyalkénals) qui vont réagir avec les antioxydants comme vitamine E et C d'une part. D'autre part, le MDA et les 4-hydroxyalkénals peuvent réagir avec les autres molécules (protéines, lipides, ADN,...) et altérer leur fonction biologique. Ceci entraîne une perte des vitamines A, E, C et l'oxydation d'acides aminés et des AG et par conséquent une détérioration de la qualité nutritionnelle de la viande (Morrissey et *al.*, 1998; Aurousseau, 2002; Faustman et *al.*, 2010).

En plus, la peroxydation des lipides membranaires contenus dans la bicouche lipidique des membranes, plus précisément les phospholipides membranaires, induit une augmentation de la fluidité et la perméabilité de la membrane et peut induire sa rupture. Ces modifications fonctionnelles affectent les propriétés biologiques de la membrane cellulaire. En effet, ces perturbations entraînent l'inactivation des récepteurs, des transporteurs et des enzymes membranaires et peuvent aboutir à la mort des cellules (Lefèvre et *al.*, 1998). Aussi, ces dommages cellulaires favorisent la contamination microbienne de la viande. Cillard et Cillard, (2006) ont rapporté que la peroxydation des lipides au niveau de la mitochondrie entraîne le dysfonctionnement de la production d'ATP. Aussi, Morzel et *al.* (2006) ont trouvé que les produits d'oxydation des AG peuvent induire l'oxydation du groupement thiol (-SH) de la cystéine et aboutit à la formation des ponts disulfures (-S-S-). Alors, ces ponts de disulfures induisent l'agrégation des protéines lorsqu'ils sont formés entre des protéines différentes.

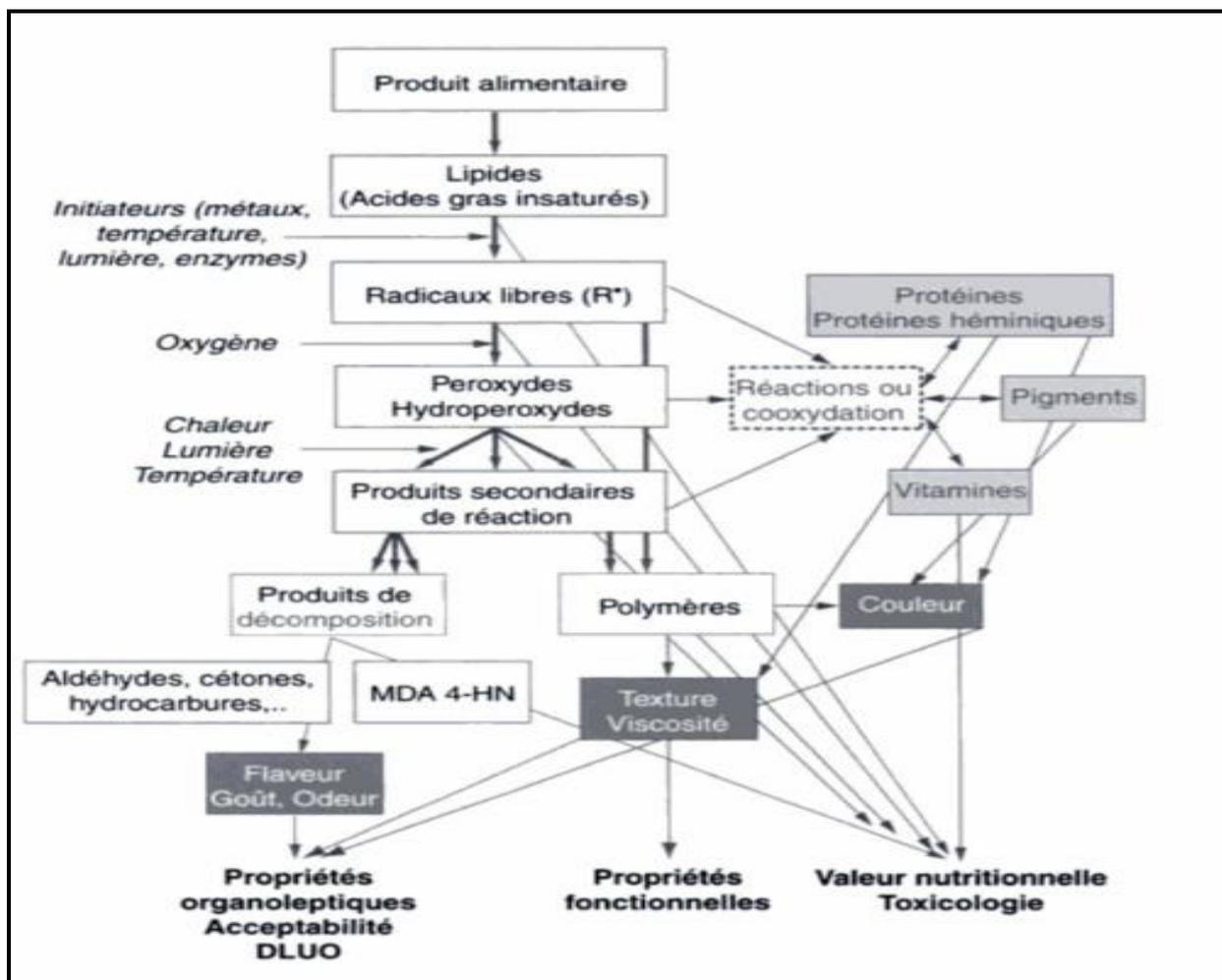


Figure 19: Effets de l'oxydation des lipides sur les qualités des aliments (Genot, 2000)

6.5.2. Altération de la qualité organoleptique de la viande

L'oxydation des lipides aboutit à la formation des composés volatils ayant une odeur désagréable qui influent directement la flaveur et le goût de la viande. En effet, les AG sont oxydés en des aldéhydes, alcanes, alcools et cétones qui sont responsables de l'apparition d'odeurs et de flaveurs désagréables ce qui modifie les caractéristiques sensorielles de la viande (Botsoglou *et al.*, 1994; Durand *et al.*, 2005). En outre, l'arôme rance déterminée dans les viandes oxydées est associée à la dominance des alcanals (hexanal, nonanal) ou certains alcools (1-pentène-3-ol, le 1-octène-3-ol). Toutefois, les composés volatils de l'oxydation des AGPI (Vasta et Priolo, 2006) sont recherchés pour améliorer la flaveur de la viande, mais à des niveaux limités et bien déterminés afin d'éviter le problème de rancissement de la viande (Micol *et al.*, 2010). En revanche, certains produits provenant de l'oxydation des AG notamment les AGPI n-3 LC, ont des effets indésirables sur la flaveur de la viande même

lorsqu'ils sont produits en quantités très faibles (Priolo et *al.*, 2001; Wood et *al.*, 2003; Elmore et *al.*, 2005). Ainsi, Ripoll et *al.* (2011) ont défini pour la viande d'agneau une valeur de TBARS égale à $1\mu\text{g MDA} / \text{g}$ de viande comme seuil acceptable de rancidité. Aussi, Campo et *al.* (2006) ont trouvé que la viande bovine est jugée rance pour une valeur de MDA égale à $1\mu\text{g MDA} / \text{g}$ de viande. Il est à noter que pour une viande peu oxydée, on doit multiplier par trois les valeurs de MDA pour avoir la correspondance avec celles en TBARS (Durand, communication personnelle).

De même, l'oxydation des AG induit également le développement de la couleur brune à la surface de la viande. Ainsi, d'après une synthèse bibliographique réalisée par Faustman et *al.* (2010), la couleur brune qui apparaît à la surface de la viande oxydée est associée à la présence de la metmyoglobine (myoglobine oxydée). En effet, l'oxydation des AG et celle de la myoglobine sont deux processus étroitement liés. L'oxydation lipidique conduit à la production de radicaux libres qui peuvent être à l'origine de l'oxydation des protéines et en particulier de la myoglobine. Cette dernière passe alors de son état oxygéné (oxymyoglobine) à l'état oxydé (metmyoglobine) ce qui aboutit à l'apparition d'une couleur brune indésirable (Photo 1; Oury et *al.*, 2009). Ces modifications de la couleur de la viande réduisent la durée de conservation de cette viande (Elmore et *al.*, 1999). Alors, une alimentation des animaux riche en antioxydants permet de limiter l'oxydation de la myoglobine et d'augmenter ainsi la stabilité de la couleur de la viande lors de la conservation (Luciano et *al.*, 2009b).



Photo 1: différence de couleur entre une viande fraîche rouge (à gauche) et une viande oxydée brune (à droite) (Moëvi, 2006)

6.5.3. Conséquences sur la santé humaine

La peroxydation des lipides induit la formation des composés toxiques (peroxydes, époxydes, aldéhydes, oxycholestérol) qui vont s'accumuler dans la viande et peuvent être à l'origine de la toxicité pour l'Homme (Esterbauer, 1993). Aussi, la réaction d'oxydation lipidique induit la formation des radicaux libres qui sont instables et peuvent être à l'origine de l'apparition de certaines maladies telles que les maladies cardio-vasculaires, certains types de cancer, l'alzheimer et les maladies inflammatoires (Genot et Michalski, 2010). Favier (2003) affirme que le MDA est un produit ayant un caractère mutagène et atherogène et peut être considéré comme un agent causal dans l'initiation des cancers. Les 4-hydroxyalkénals peuvent devenir cytotoxiques lorsqu'ils sont produits en excès (Esterbauer et *al.*, 1991) et peuvent également être des initiateurs du cancer colorectal (Pierre et *al.*, 2008). La peroxydation des lipoprotéines conduit à la formation des LDL oxydées qui seront captées par des macrophages et entraîne en conséquent l'apparition de diverses maladies dont le cancer et les maladies cardiovasculaires. Les aldéhydes peuvent réagir avec les bases azotées de l'ADN, alors ceci peut modifier l'expression génétique et générer des adduits qui présentent des effets mutagènes et cancérogènes (Nair et *al.*, 2007). En plus, le MDA et les 4-hydroxyalkénals réagissent avec des antioxydants et entraînent une diminution de leur teneur dans l'organisme ce qui entraîne une diminution dans le système de défense cellulaire (Favier, 2003). Aussi, Cillard et Cillard (2006) ont rapporté que les AG oxydés sont à l'origine du développement de l'athérosclérose.

6.6. Stratégies d'amélioration de la stabilité des lipides et de la couleur de la viande

Dans le but d'améliorer la stabilité des lipides et la couleur de la viande, deux principales solutions sont envisagées. La première solution consiste à limiter les sources de production des ERO, alors que la deuxième consiste à augmenter la teneur des antioxydants au niveau des tissus musculaires à travers l'alimentation des animaux (Morrissey et *al.*, 1998). En effet, les antioxydant alimentaires sont métabolisés et déposés dans les muscles et plus précisément dans les membranes de tissus où leur action antioxydante est plus efficace (Botsoglou et *al.*, 1994).

6.6.1. Diminution de la production des ERO

La diminution du niveau des ERO est liée principalement à la limitation des conditions pro-oxydantes favorisant une surproduction de ces molécules. Ainsi, pour limiter la surproduction des ERO, une maîtrise des bonnes pratiques d'élevage, d'abattage et de transformation de la

viande est nécessaire afin d'éviter et/ou limiter le stress des animaux. Toutefois, la maîtrise de différentes pratiques d'élevage, d'abattage et de transformation fait intervenir de nombreux acteurs ce qui rend cette tâche un peu difficile et complexe à gérer. Dans ce contexte, Arousseau (2002) recommande d'exposer les jeunes animaux à des stress ménagés afin de renforcer leurs systèmes antioxydants et assurer par conséquent l'adaptation de leur organisme à une telle situation ultérieure de stress.

6.6.2. Moyens d'augmentation de la teneur des antioxydants en alimentation animale

L'oxydation des AG et la stabilité de la couleur de la viande sont influencées par la composition des tissus musculaires qui dépend à son tour de la teneur et la nature des AG et le statut antioxydant. Egalement, ces derniers sont étroitement liés à la nature et la composition de l'alimentation des animaux (Morrissey et *al.*, 1998 ; Daley et *al.* 2010). Dans la nature ou à l'échelle industrielle, différentes substances ayant un pouvoir antioxydant sont utilisés pour prévenir et/ou ralentir les processus de peroxydation (Morrissey et *al.*, 1998). Ainsi, les antioxydants peuvent être regroupés en deux grandes catégories: les antioxydants naturels et les antioxydants synthétiques. Les antioxydants naturels sont des substances qui se trouvent en tant que composants naturels des fruits, les légumes, les herbes et les épices dont ils présentent un effet protecteur contre l'oxydation lipidique de la viande (Lee et Shibamoto, 2002; Nieto et *al.*, 2010; Velasco et Williams, 2011 ; Jiang et Xiong, 2016). Des antioxydants synthétiques sont des substances fabriquées au laboratoire et sont largement utilisés pour leur action rapide de prévention de l'oxydation des lipides (Ripoll et *al.*, 2011).

6.6.2.1. Conduite des animaux à l'herbe

L'enrichissement de la viande en antioxydants naturels par le biais de l'alimentation des animaux avec de l'herbe ou les fourrages verts représente une solution intéressante. La viande des animaux nourris avec de l'herbe se distingue par sa meilleure stabilité lors de conservation par rapport à celle produite avec une ration riche en concentré. Ainsi, plusieurs études réalisées sur les ovins (Santé-Lhoutellier et *al.*, 2008 ; Luciano et *al.*, 2009b ; Popova et Marinva, 2013 ; Hajji et *al.*, 2016) et sur les bovins (Mercier et *al.*, 2004 ; Realini et *al.*, 2004 ; Descalzo et *al.*, 2005 ; Gatellier et *al.*, 2005 ; Insani et *al.*, 2008) ont montré que la viande produite au pâturage présente moins de risque d'oxydation en comparaison à celle produite avec des régimes à base de concentré. Ceci pourrait être probablement lié à la richesse de cette viande en antioxydants. En effet, Wood et Enser (1997) et Wood et *al.* (2004) affirment que l'herbe et les fourrages verts sont riches en antioxydants naturels comme

les tocophérols, les caroténoïdes, l'acide ascorbique, les flavonoïdes et les composés phénoliques qui ont un pouvoir antioxydant pour lutter contre la sensibilité des produits des animaux à l'oxydation (Daley et *al.*, 2010). Toutefois, le niveau des antioxydants du pâturage pourrait être différent selon la composition botanique de l'herbe. Ainsi, Meschy (2007) a montré que les espèces légumineuses sont plus riches en vitamine E (Vit E, 100 UI/ kg MS) que celles de graminées ou les prairies permanentes (20 UI/kg MS; Tableau 12). Par ailleurs, Whittington et *al.* (2006) ont montré que l'intensité de peroxydation de la viande n'a pas été modifiée par le type de pâturage (prairie de ray-grass, des marais salés, bruyères et landes) utilisé pour l'engraissement des agneaux. Seulement la teneur en Vit E a été plus élevée dans la viande des agneaux conduits sur les bruyères (7,02 µg/g viande) par rapport aux autres types de pâturage (entre 4,48 et 5,10 mg/kg). Aussi, Petron et *al.* (2007) ont montré que le type de pâturage (prairie de ray-grass, prairie diversifiée ou prairie riche en légumineuse) n'a pas eu un effet sur le niveau d'oxydation des AG. Aussi, ces auteurs ont rapporté qu'après une période de 8 jours de la conservation de la viande et pour tous les traitements, les valeurs moyennes de TBARS (0,61 µg MDA /g viande) sont faibles. Cette valeur est inférieure à la valeur seuil (1µg MDA/g de viande) rapportée par Ripoll et *al.* (2011) pour la viande d'agneau et indique que cette viande est acceptable après 8 jours de conservation. Ces résultats sont en accord avec ceux de Ponnampalam et *al.* (2012) qui ont rapporté que les valeurs TBARS de la viande conservée 4 jours sont similaires entre les agneaux élevés sur une prairie pérenne (0,24 µg MDA/g viande) et ceux élevés sur une prairie annuelle (0,36 µg MDA/g viande), malgré une teneur plus élevée en Vit E pour ceux élevés sur prairie pérenne.

Tableau 12: Teneur en vitamines A et E des principaux aliments des ruminants (UI/kg MS)

	Vitamine A (*1000)	Vitamine E
Céréales	1,5-2	15-30
Tourteaux	-	15-20
Pulpes de betterave déshydratées	100	12
Luzerne déshydratée	0,06-80	150-200
Fourrages verts		
Prairies permanentes	100	20
Graminées	80	20
légumineuses	120	100
Ensilages		
Prairies permanentes	8	5
Maïs	5	5
Graminées	8	5
légumineuses	3	5
Foins		
Prairies permanentes	45	10
Graminées	50	5
légumineuses	45	10

(Savant *et al.*, 2004 cité par Meschy, 2007)

6.6.2.2. Ajout de la vitamine E

En alimentation animale, l'addition des antioxydants et plus précisément de la vitamine E est devenue une pratique courante et indispensable pour assurer la stabilité des lipides et maintenir la qualité de la viande lors de sa conservation pour une durée plus ou moins longue (Faustman *et al.*, 1989; Morrissey *et al.*, 1994 et 1998). En outre, plusieurs études ont été réalisées sur les ovins (Macit *et al.*, 2003a et 2003b; Álvarez *et al.*, 2008; Ripoll *et al.*, 2011 et 2013; Muíño *et al.*, 2014; Gallardo *et al.*, 2015) et les bovins (Gatellier *et al.*, 2001; Yang *et al.*, 2002; Descalzo et Sancho, 2008; Daley *et al.*, 2010) ont montré que l'ajout de la Vit E dans l'alimentation des animaux permet d'améliorer la stabilité des lipides de la viande. A titre d'exemple, Macit *et al.* (2003a) ont trouvé qu'une supplémentation en Vit E de 45 mg/j/ agneau a limité efficacement la peroxydation des lipides pour une viande conservée pendant 12 jours (0,75 vs. 1,07 μg MDA /g viande). Álvarez *et al.* (2008) et Ripoll *et al.* (2013) ont souligné que la teneur en Vit E dans le muscle augmente linéairement avec l'augmentation de la durée de la supplémentation en Vit E dans la ration des agneaux. Ainsi, Ripoll *et al.* (2013) ont montré que la teneur en Vit E est passée de 0,19 μg /g viande pour les agneaux non supplémentés à 0,74, 1,47 et 1,95 μg /g viande pour ceux supplémentés avec 500 mg de Vit

E/kg d'aliment concentré respectivement pendant 10, 20 et 30 jours. En plus, ces auteurs ont montré que les faibles teneurs de TBARS aux 2^{ème}, 5^{ème} et 7^{ème} jours ont été déterminées pour les agneaux supplémentés en Vit E pendant 20 ou 30 jours par rapport à ceux supplémentés seulement pendant 10 jours. Aussi, Gallardo et *al.* (2015) ont rapporté que l'ajout de 400 mg/kg de Vit E naturelle ou synthétique dans la ration des agneaux enrichie en C18 :3n-3 par l'huile de lin a permis de réduire efficacement l'oxydation des lipides qui n'a pas dépassé 0,50 µg MDA/g viande pour une durée de conservation de 12 jours par rapport à ceux non supplémentés en Vit E (3,5 µg MDA/g viande). Par contre, une étude réalisée par Descalzo et *al.* (2005) basée sur la comparaison de la supplémentation en Vit E pour des bovins conduits en bergerie ou au pâturage a montré que quel que soit le mode de conduite il n'y a pas de différence au niveau des teneurs en Vit E, β-carotène, Vit C et TBARS entre les animaux supplémentés ou non.

Les doses de Vit E à administrer dans la ration des animaux et en particulier pour les agneaux sont encore difficiles à évaluer. En effet, l'efficacité de la Vit E pour réduire l'oxydation des lipides dépend non seulement de sa concentration mais aussi de la teneur et la nature des AGPI notamment les AGPI n-3. Dans ce contexte, Ponnampalam et *al.* (2012) ont rapporté que pour des agneaux non supplémentés avec des sources lipidique riches en AGPI, une teneur en Vit E de 3,1µg/g viande est suffisante pour maintenir la stabilité des lipides et de la couleur de la viande. Alors qu'Álvarez et *al.* (2008) soulignent que la teneur en Vit E nécessaire pour prévenir l'oxydation de viande conservée pendant 14, 21 et 28 jours sous atmosphère riche en oxygène varie de 1,87 à 2,37 µg /g de viande. Par contre, Lopez Bote et *al.* (2001) ont proposé pour une protection maximale des lipides et de la couleur de viande pendant 9 jours de sa conservation, une teneur en Vit E entre 5,30 et 5,60 µg /g de viande qui correspond à un apport de 550 à 625 mg Vit E/ kg d'aliment.

6.6.2.3. Antioxydants naturels

Certaines plantes contiennent des composés secondaires tels que des huiles essentielles, les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins et les saponines qui possèdent différentes activités biologiques et en particulier une activité antioxydante (Velasco et Williams, 2011). Des recherches récentes ont porté sur l'évaluation du potentiel antioxydant de ces composés végétaux comme moyens naturels pour améliorer la qualité de la viande (Nieto et *al.*, 2010). Par conséquent, l'utilisation des ces composés secondaires dans l'alimentation des animaux est de plus en plus développée.

6.6.2.3.1. Ressources alimentaires riches en composés phénoliques

Depuis quelques années, les extraits végétaux riches en composés phénoliques ont montré un grand d'intérêt en alimentation animale. Gladine et *al.* (2007b) ont proposé un cocktail d'extraits de plantes riches en polyphénols préparé à partir de romarin (*Rosemarinus officinalis*), de raisin (*Vitis vitifera*), des agrumes (*Citrus paradisi*) et de calendula (*Calendula officinalis*) et ils ont évalué le potentiel antioxydant de la Vit E seule et combinée avec le cocktail d'extraits chez les agneaux supplémentés en AGPI n-3. Les résultats obtenus montrent que l'association de la Vit E et le cocktail d'extraits est plus efficace pour prévenir la peroxydation que la supplémentation de la Vit E seule. Par ailleurs, ces auteurs affirment que les polyphénols et la Vit E possèdent des actions protectrices complémentaires. En effet, les polyphénols sont capables d'intervenir dès l'initiation de la réaction de peroxydation par piéger les ERO formées dans les phases aqueuses grâce à leurs propriétés hydrophiles. Alors que la Vit E a un potentiel antioxydant important pour réduire et éviter la propagation de la réaction de peroxydation grâce à ses propriétés lipophiles. Dans le même contexte, des études réalisées par Gobert et *al.* (2009 et 2010) ont montré que l'apport de la Vit E seule est incapable de protéger les lipides du lait ou de viande contre l'oxydation.

Luciano et *al.* (2009a) ont rapporté que l'addition de quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii*), qui est riche en tanins (40,35 g/kg MS), dans la ration des agneaux n'a pas affecté l'oxydation des lipides du muscle semi-membraneux pour toutes les dates de conservation (4, 7, 11 et 14 jours). Ces résultats sont en accord avec ceux de Brogna et *al.* (2014) qui ont souligné que la supplémentation de 80 g/kg des tannins extraits de l'arbre de quebracho (*Aspidosperma quebracho*) n'a pas eu un effet sur le niveau de TBARS de la viande d'agneau recevaient des pulpes de betterave séchées. Par ailleurs, l'incorporation des tannins de quebracho colorado a amélioré la stabilité de la couleur de la viande en diminuant l'oxydation de la myoglobine (Luciano et *al.*, 2009a). Ainsi, selon Priolo et Vasta (2007), les effets des tannins sur la couleur de la viande pourrait être due à une réduction de la biosynthèse microbienne de la vitamine B12, qui est le précurseur de la synthèse des pigments de l'hème.

6.6.2.3.2. Ressources alimentaires riches en huiles essentielles et saponines

Dans les nouveaux systèmes de productions animales modernes, les huiles essentielles, les plus utilisées sont celles de romarin, de thym et d'origan et présentent un intérêt zootechnique. Néanmoins, les huiles essentielles peuvent avoir une activité antioxydante. Ainsi, Simitzis et *al.* (2008) rapportent un effet protecteur de l'huile essentielle d'origan qui est

ajouté à raison de 1 ml / kg d'aliment concentré dans l'alimentation des agneaux sur l'oxydation des lipides de la viande. Par contre, Smeti et *al.* (2013) ont montré que la supplémentation d'une faible dose (0,06%/ kg concentré) d'huiles essentielles de romarin (*Rosmarinus officinalis*) n'a pas eu une influence sur le niveau d'oxydation de la viande d'agneau de 1, 3, 7 et 9 jours par rapport à ceux non supplémentés. Aussi, Aouadi et *al.* (2014) ont rapporté que la supplémentation des rations des agneaux de race Barbarine en huiles essentielles de romarin ou d'armoise blanche (*Artemisia herba alba*, 400 mg / kg MS) n'a pas eu un effet protecteur contre l'oxydation des lipides (2,60 µg MDA/g viande) ainsi que sur la stabilité de la couleur de la viande conservée pendant 7 jours. Par ailleurs, ces auteurs ont trouvé que la capacité antioxydante globale du muscle a été améliorée avec l'utilisation de ces deux huiles essentielles.

Les saponines sont des composés secondaires présentes dans plusieurs plantes et certains arbustes fourragers et présentent certaines activités antioxydantes (Francis et *al.*, 2002). Ainsi, Ibrahim et *al.* (2010) ont montré que la viande des agneaux supplémentés avec les saponines extraites de ginseng présente un niveau d'oxydation plus faible que ceux supplémentés avec des composés phénoliques extraits de jatropha ou du gingembre (*Zingiber officinale*) ou supplémentés avec des flavonoïdes extraits du jojoba. Aussi, Brogna et *al.* (2014) ont rapporté que la viande d'agneaux supplémentés avec 15 g/kg de saponines extraites de *Quillaja saponaria* présente un faible niveau d'oxydation des lipides aux 8^{ème} et 12^{ème} jours de conservation de la viande par rapport à ceux supplémentés avec des tannins extraits de quebracho. Par contre, ces résultats sont différents de ceux de Nasri et *al.* (2012) qui ont montré que la supplémentation des rations d'agneaux de race Barbarine par des saponines extraites de *Quillaja saponaria* (60 ou 90 mg /kg MS) n'a pas eu une influence sur la stabilité des lipides pour toutes les dates de conservation de la viande (0,7 et 14 jours) ainsi que le taux d'oxydation de la myoglobine.

6.6.2.3.3. Autres sources d'antioxydants

Récemment, des études ont montré que certaines ressources alimentaires alternatives telles que les sous-produits agro-industriels contiennent des quantités non négligeables de molécules bioactives qui sont capables d'améliorer la qualité nutritionnelle ainsi que la stabilité des lipides des produits des animaux (Vasta et Luciano, 2011). Ainsi, des recherches se sont intéressées à évaluer l'effet des différents antioxydants dérivés des grignons d'olive (Dal Bosco et *al.*, 2012; Luciano et *al.*, 2013), les pulpes d'agrumes (Gravador et *al.*, 2014;

Inserra et *al.*, 2014) et les pulpes de caroube (*Ceratonia siliqua*) (Gravador et *al.*, 2015). Dal Bosco et *al.* (2012) affirment que le pouvoir antioxydant des grignons d'olive varie selon le type de grignons d'olive utilisé qui dépend à son tour de la teneur en polyphénols. Ainsi, ces auteurs ont trouvé des teneurs différentes en polyphénols pour les trois types de grignons d'olive utilisés dans la ration des lapins. Luciano et *al.* (2013) ont montré une teneur élevée en Vit E au niveau de la viande du groupe supplémenté en grignons d'olive comparé à celle du groupe supplémenté en grignons d'olive et des grains de lin ensemble. Aussi, ces auteurs ont rapporté de faibles valeurs de TBARS pour toutes les dates de conservation (4, 7 et 11 jours) pour les agneaux recevant des grignons d'olive. Quant à l'effet de l'utilisation des pulpes d'agrumes sur la stabilité oxydative des lipides, Inserra et *al.* (2014) ont montré que la substitution de l'orge par 24 ou 35% de pulpes d'agrumes sèches dans la ration d'agneau a permis de réduire efficacement l'intensité d'oxydation des lipides. Ces auteurs ont souligné que le niveau de peroxydation lipidique a été similaire pour les deux taux de substitution. De même, Gravador et *al.* (2015) ont montré que la valeur de TBARS (1,22 µg MDA/g viande) et l'oxydation de myoglobine après 3 jours de conservation de la viande n'ont pas été affectées par la substitution de l'orge avec 24 ou 35% de pulpes de caroube dans l'aliment concentré d'engraissement d'agneaux.

Conclusion

Beaucoup de travaux de recherches ont bien mis en évidence l'effet de l'alimentation et plus précisément le mode de conduite (bergerie *vs.* parcours) sur les performances de croissance et la qualité bouchère et de la viande (organoleptiques, nutritionnelles, technologiques..) d'agneau. Les résultats rapportés dans la littérature sont souvent contradictoires. D'une façon générale, les animaux conduits avec de l'herbe présentent une carcasse plus maigre avec une part de muscle plus élevée et une faible proportion en tissu adipeux. En plus, de point de vue valeur santé de la viande, une alimentation à base d'herbe semble enrichir la viande en AGPI, en particulier les AGPI n-3 et les AGPI longs. Cette viande s'oxyde probablement moins lors de la conservation malgré sa richesse en acides gras insaturés. Toutefois, la présente recherche bibliographique montre que les caractéristiques de la carcasse et la qualité de la viande notamment la composition en acides gras et la stabilité des lipides, peuvent être affectées par le type de parcours plus précisément la composition floristique à travers les composés secondaires et les antioxydants apportés par les plantes pastorales.

Par ailleurs, en Tunisie, l'alimentation des ovins est essentiellement basée sur les ressources naturelles (parcours, jachères, chaumes,...) qui ne sont pas disponibles durant toute l'année, et des aliments grossiers (foin et paille). Les parcours sont dégradés et pauvres en particulier en azote et leur productivité se voit limitée, l'introduction des arbustes fourragers et plus précisément des légumineuses pour améliorer les parcours pourrait réduire la part des matières azotées importées. Aussi, l'utilisation de certaines ressources alimentaires locales peut aider les éleveurs à limiter les charges alimentaires et améliorer la qualité des produits des animaux. Ainsi, les grignons d'olive, sous-produit très disponible en Tunisie, apportent des quantités non négligeables en composés secondaires qui sont capables d'améliorer la qualité et la stabilité des lipides de la viande. Alors, trois principales questions se sont posées :

- 1) Quels seront les effets de la conduite des agneaux sur parcours amélioré avec une légumineuse arbustive par rapport à une conduite en bergerie avec du foin d'avoine sur les performances de croissance, les caractéristiques bouchères et musculaires et la qualité de la viande?
- 2) Quels seront les effets de la supplémentation en grignons d'olive pour les deux modes de conduite sur les différents paramètres étudiés?
- 3) Les composés secondaires présents dans les plantes pastorales et les grignons d'olive améliorent-ils la qualité nutritionnelle et la stabilité des lipides?

Etude expérimentale

Objectifs du travail de thèse

Ce travail de thèse a été entrepris pour étudier les effets de deux modes de conduite des agneaux (bergerie *vs.* parcours amélioré) et de la supplémentation en grignons d'olive sur les performances zootechniques, la qualité bouchère, les caractéristiques musculaires, la qualité de la viande et le niveau d'oxydation des lipides. Alors, le premier objectif est de comparer l'effet de la conduite des agneaux sur parcours amélioré par *Medicago arborea* par rapport à une conduite en bergerie avec du foin d'avoine sur les performances de croissance, les caractéristiques bouchères et musculaires et la qualité de la viande des agneaux ayant la même quantité d'aliment concentré. Le deuxième objectif est de déterminer l'effet d'une supplémentation en grignons d'olive pour les deux modes de conduite. Le troisième objectif est d'étudier les effets possibles des composés secondaires présents dans les plantes pastorales et les grignons d'olive sur la composition en acides gras de la viande et sur la stabilité des lipides.

Matériel & méthodes

1. Animaux et alimentation

L'essai a été réalisé dans la ferme expérimentale de l'office de l'élevage et des pâturages (OEP) de Saouef. Soixante agneaux mâles sevrés de race Barbarine, âgés de 6-7 mois et ayant un poids vif moyen de $24,3 \pm 1,06$ kg, ont été répartis en 4 groupes homogènes (n=15) en fonction de leur poids vif au sevrage. Avant le sevrage, les agneaux ont été élevés sur un parcours naturel avec leurs mères et ont reçu une complémentation du même aliment concentré utilisé dans cet essai. Ils ont été vaccinés contre l'entéro-toxémie (injection intramusculaire de 2 ml of Coglavax[®]/tête) deux semaines avant le sevrage. Les deux premiers groupes d'agneaux ont été élevés en bergerie et ont reçu du foin d'avoine à volonté comme ration de base. Les deux autres groupes ont été élevés sur 7 ha d'un parcours naturel amélioré par la luzerne arborscente (*Medicago arborea*), soit un chargement de 4,30 agneaux/ha. Un groupe de chaque système alimentaire (foin ou parcours) a été supplémenté avec 280 g MB/j de grignons d'olive soit 20% MS de la ration totale. Il est à noter que le taux d'incorporation des grignons dans la ration des agneaux est calculé de sorte qu'il n'affecte pas leurs vitesse de croissance (Mioč et al., 2007; Molina-Alcaide et Yáñez-Ruiz 2008). Ainsi, les 4 traitements testés dans cette étude sont: bergerie, bergerie + grignons d'olive, parcours et parcours + grignons d'olive (Figure 20). En plus de la ration de base, chaque groupe a reçu 400 g d'aliment concentré (35% maïs, 51% orge, 5% tourteau de soja et 9% CMV; 110 g MAT/kg MS). Les GO sont mélangés avec l'aliment concentré. Les aliments ont été distribués en deux repas par jour (7 h et 15 h). Durant une première période de 30 j, y compris 10 j d'adaptation, les agneaux de chaque groupe ont reçu 350 g d'aliment concentré et les lots supplémentés recevaient 250 g de GO. Pendant une deuxième période d'environ deux mois, les agneaux ont reçu 400 g d'aliment concentré et les lots supplémentés recevaient 280 g de GO. Il est à souligner que cette quantité de GO (280 g MB/j) n'a pas été augmentée par la suite en raison que le refus en GO a dépassé 10% de distribué. Les agneaux ont été élevés pendant une période moyenne de trois mois (début Avril jusqu'au début Juillet 2013) puis abattus à un poids vif d'environ 33 kg.

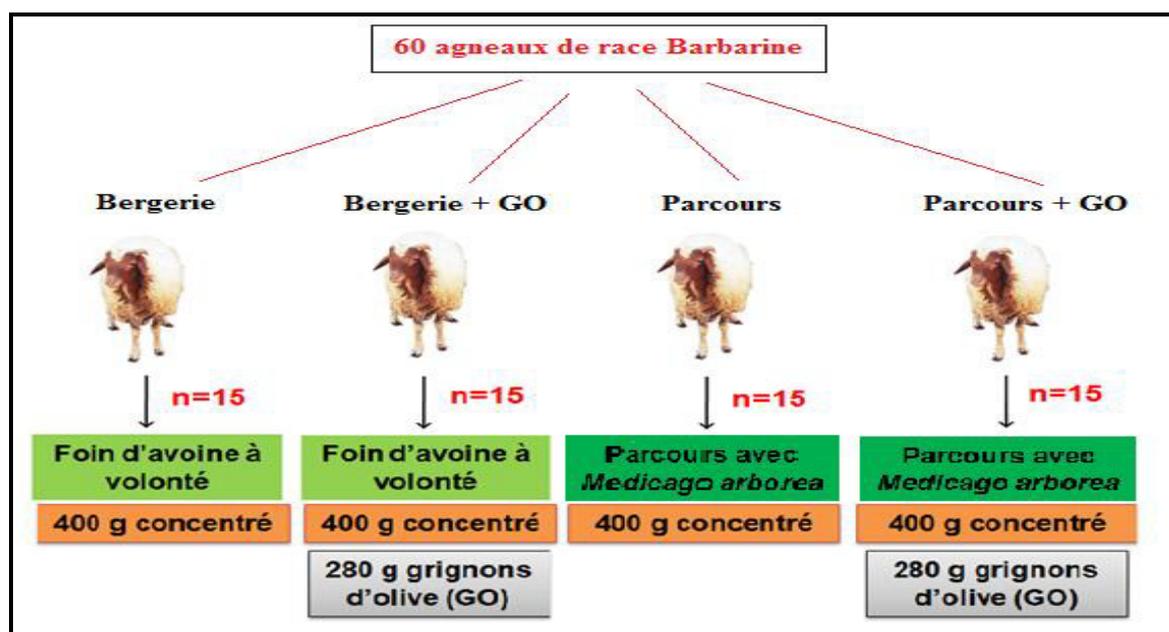


Figure 20 : Schéma récapitulatif des traitements alimentaires étudiés

2. Etude de la composition floristique du parcours

2.1. Zone d'étude

Le parcours utilisé dans cette étude est situé dans la ferme expérimentale OEP de Saouef (gouvernorat de Zaghouan). La délégation de Saouef se trouve dans le nord-Est de la Tunisie sous l'influence d'un climat semi-aride à hiver froid et été chaud. Cette région est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle de 450 mm/an (Institut national de météorologie, 2014). Le tableau 13 présente les pluviométries mensuelles déterminées pour les années 2012 et 2013.

Tableau 13: Pluviométries mensuelles (mm) enregistrées pour les années 2012 et 2013 dans la région de Saouef

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Somme
2012	31	45	54	18	0	0	0	0	25	102	4	10	289
2013	29,5	13	15	67	15	13	0	36	22	10	14	107	341,5

(Institut national de météorologie, 2014)

2.2. Composition floristique

Le parcours utilisé dans cette étude est formé par deux types de végétation : des espèces arbustives et une strate herbacée. Pour cette raison, on a déterminé les caractéristiques de

chaque type de végétation à part. La méthode utilisée pour l'étude de la composition floristique du parcours est celle de relevé mixte ligne-surface décrite par Daget et Poissonet (1971). Les mesures de l'inventaire floristique ont été faites durant la période de pic de la végétation (Avril-Mai). Au total, 32 relevés linéaires (ligne intercepte) de 20 m et 36 quadrats de 1 m² ont été effectués pour déterminer les caractéristiques qualitatives et quantitatives de la composition floristiques de la strate herbacée. Vingt quadrats de 400 m² ont été réalisés afin de déterminer la densité des arbustes dans le parcours. Pour compléter la liste floristique, nous avons récolté des échantillons de toutes les espèces herbacées recensées afin de faire un herbier et pour identifier les espèces (nom scientifique et nom commun).

Pour les arbustes fourragers, on a déterminé la densité végétale (nombre de pieds par hectare) de chaque espèce en utilisant la méthode de quadrat. Il s'agit de déterminer le nombre de pieds présents de chaque espèce rencontrée dans chaque quadrat. La surface du quadrat choisi est de 400 m² (20 x 20 m). Ensuite, la densité et le taux de recouvrement de chaque espèce sont calculés par hectare.

Pour la strate herbacée, on a utilisé la méthode des lignes interceptes. C'est une méthode qui consiste à utiliser un décamètre de 20 m divisée en 100 points espacés de 20 cm. Un piquet est descendu verticalement à chaque point d'observation. On note, ainsi, l'objet qui est en contact avec le piquet qui peut être une végétation ou bien du sol (pellicule, sable, cailloux, litière). Les paramètres déterminés pour la strate herbacée sont :

- ❖ **Taux de recouvrement global de la végétation :** Le taux de recouvrement global (Rv) de la végétation représente le rapport entre le nombre de points où la végétation est présente (n) et le nombre total de points observés (N).

$$\text{Recouvrement végétal (\%)} = (n / N) * 100$$

- ❖ **Fréquence spécifique centésimale (FSC) :** La fréquence spécifique d'une espèce donnée traduit la contribution de cette espèce au recouvrement global de l'espace (Floret, 1988). Elle représente le rapport entre le nombre de présence d'une espèce donnée (ni) et le nombre total de points observés (N). Elle est donnée par la relation suivante :

$$\text{Fréquence spécifique centésimale (\%)} = (ni / N) * 100$$

- ❖ **Fréquence relative (FR) :** La fréquence relative d'une espèce donnée traduit la contribution de cette espèce au recouvrement végétal de l'espace (Floret, 1988). Elle représente le rapport entre le nombre de présence d'une espèce donnée (ni) et le

nombre total de points où la végétation est présente (n). Elle est donnée par la relation suivante :

$$\text{Fréquence relative (\%)} = (n_i / n) * 100$$

❖ **Dominance et abondance** : L'abondance exprime le nombre d'individus présents d'une espèce donnée i présente dans le relevé. La dominance représente le recouvrement de l'ensemble des individus d'une espèce donnée. Le coefficient d'abondance-dominance de Braun-Blanquet est présenté dans le tableau 14 selon l'échelle donnée par Walter (2006).

Tableau 14 : Coefficient d'abondance-dominance de Braun-Blanquet

Recouvrement de l'espèce	Coefficient d'abondance-dominance
Supérieur à 75%	5
Compris entre 50% et 75%	4
Compris entre 25% et 50%	3
Compris entre 5% et 25%	2
Inférieur à 5%	1
Très peu abondant	+
Espèce très rare	R
Espèce représentée par un individu unique	I

Walter (2006)

2.3. Indices de diversité

La diversité floristique de la végétation du parcours a été appréciée par la détermination de la richesse spécifique et la diversité alpha.

❖ **Richesse spécifique** : La richesse spécifique est exprimée par le nombre d'espèces recensées par quadrat (1m²)

❖ **Diversité alpha** : Elle est appelée également diversité intra-habitat ou diversité locale qui représente la diversité des espèces au sein d'une même communauté. La diversité alpha est évaluée par les indices de Shannon (H') et d'équitabilité de Pielou (E).

- **L'indice de Shannon (H')** : c'est un indicateur de la diversité biologique des espèces dans une communauté. Cet indice varie généralement de 0 à 5, voire même un peu plus de 5. Il est calculé par la formule donnée par Shannon et Weaver (1949) citée par Frontier et Pichod-Viale (1993).

$$H' = -\sum_{i=1}^{i=S} f_i \text{Log}_2 f_i$$

Avec : $f_i = (n_i/n)$

n_i : Nombre d'individus/espèce

n : Nombre d'individus total des espèces

S : Nombre total d'espèces

Il est à noter que la base du logarithme utilisée est 2.

- L'indice d'équitabilité de Pielou (E)

L'indice d'équitabilité (E) de Pielou (1966) est un indicateur de la régularité de répartition des individus des espèces dans la communauté. Elle varie de 0 à 1 et représente le rapport entre l'indice de diversité de Shannon réel et sa valeur maximale donnée par la formule suivante :

$$E = H' / H' \text{ max}$$

$$\text{Avec } H' \text{ max} = \log_2 S$$

2.4. Valeur pastorale

La valeur pastorale (VP) du parcours est un indicateur de la qualité globale de la végétation qui tient compte de la fréquence relative et l'indice spécifique des différentes espèces. L'indice spécifique (IS) représente la qualité fourragère des espèces qui dépend de certains critères tels que la valeur nutritive, la productivité, la digestibilité, l'appétabilité de l'espèce. Pour chaque espèce inventoriée, la note de 0 à 5 a été attribuée selon l'échelle donnée par Floret (1988) et présentée dans tableau 15. La valeur pastorale du parcours est calculée par la formule donnée par Floret (1988) :

$$VP = 0,2 * \sum_{i=1}^S (FR_i * IS_i)$$

Avec, FR_i : Fréquence relative de l'espèce i

IS_i : Indice spécifique de l'espèce i

Tableau 15: Qualité fourragère des espèces en fonction de l'indice spécifique

Indice spécifique	Signification
0	Valeur pastorale nulle
1	Valeur pastorale médiocre
2	Valeur pastorale moyenne
3	Assez bonne valeur pastorale
4	Bonne valeur pastorale
5	Très bonne valeur pastorale

Floret (1988)

2.5. Détermination de la biomasse végétale dans le parcours

Pendant la période expérimentale, la quantité de biomasse végétale de la strate herbacée a été estimée à partir de la méthode de coupe et de la pesée de la biomasse végétale. Le parcours est divisé en petites aires d'échantillonnage tout en tenant compte de l'uniformité de la végétation par station (taux de recouvrement, composition floristique). Ainsi, 36 quadrats de 1m² ont été utilisés pendant 6 prélèvements effectués à raison de 6 quadrats/prélèvement. La surface à couper est choisie au hasard, on jette le quadrat, puis la biomasse est ramassée totalement (Photo 2) et pesée à l'état frais et sec après séchage. Ensuite, le poids moyen pour 1m² est déterminé. Aussi la contribution pondérale de chaque espèce herbacée a été déterminée. Il s'agit de déterminer le poids moyen de chaque espèce par rapport au poids moyen de la biomasse totale ramassée dans un quadrat.



Photo 2 : Détermination de la biomasse végétale par la méthode de coupe et de la pesée

3. Caractérisation des aliments

Des échantillons représentatifs des aliments (aliment concentré, foin d'avoine, parcours naturel, *Medicago arborea*, grignons d'olive) ont été prélevés. Pour chaque aliment, trois prélèvements ont été effectués (au début, au milieu et 10 jours avant la fin de l'essai expérimental). Ces échantillons ont été séchés, broyés à une grille de 1mm de diamètre, puis conservés à 4°C jusqu'à la réalisation des analyses.

3.1. Composition chimique

Les analyses de la composition chimique des aliments utilisés ont été déterminées par la mesure des teneurs en matière sèche, en minéraux et en protéines selon la procédure AOAC (1995) et la teneur en matière grasse des aliments selon la méthode de Folch et *al.* (1957). Les échantillons ont été séchés à l'étuve à 55°C pendant 72 heures pour déterminer la teneur en matières sèche. La teneur en matière minérale a été déterminée par une incinération de l'échantillon dans un four à 550°C durant 6 heures. La teneur en protéines a été déterminée par la méthode de Kjeldahl. Les teneurs en cellulose brute et les constituants pariétaux (neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) et acid detergent lignin (ADL) au niveau des aliments et de fèces ont été déterminées respectivement par la méthode de Weende et Van Soest *et al.* (1991).

La teneur en lipides totaux des aliments utilisés est déterminée par une extraction des lipides totaux à froid de l'échantillon broyé finement, selon la méthode décrite par Folch et *al.* (1957) en utilisant comme solvant le mélange chloroforme/méthanol (2/1, V/V). Le méthanol est utilisé pour libérer les lipides qui sont liés aux protéines et à solubiliser les composés non lipidiques. Le chloroforme permet la solubilisation des lipides hydrophobes ou partiellement hydrophiles. La présence des composés non lipidiques peut causer une contamination des lipides. Pour cette raison, on doit ajouter de l'eau enrichie en sel à la solution du Folch (chloroforme / méthanol / eau enrichie en sel, 8/4/3, V/V/V) dans le but d'obtenir un mélange biphasique permettant la récupération des lipides : une phase supérieure formée par les composés non lipidiques et une phase inférieure qui contient les lipides. La phase inférieure contenant les lipides est soutirée, puis évaporée grâce à un évaporateur rotatif. La quantité des lipides est mesurée en pesant le poids de l'extrait sec obtenu suite à l'évaporation.

3.2. Composition en acides gras

La composition en acides gras des lipides des aliments utilisés est déterminée par chromatographie en phase gazeuse (CPG/FID) sur une colonne capillaire (OMEGAWAX 250), température de l'injecteur: 230°C, température du détecteur (FID): 250°C, température de la colonne: Programmation 160°C à 205°C. Après l'extraction des lipides totaux, les acides gras se trouvent sous forme de sels sodiques qui doivent subir une transméthylation au boron trifluoride (BF₃) dans le méthanol à 20°C selon la méthode décrite par Morrison et Smith (1964). Le principe de transméthylation est basé sur des lavages successifs à l'hexane suivis de centrifugation à 3000 tr/min pendant 10 min afin de récupérer les esters méthyliques. Après la préparation des esters méthyliques des acides gras, une séparation par chromatographie en phase gazeuse des différents acides gras contenus dans chaque échantillon est effectuée. L'identification des acides gras est faite suite à une analyse chromatographique.

3.3. Teneurs en composés secondaires

3.3.1. Teneurs en phénols totaux, tanins totaux et tanins condensés

Le dosage des composés secondaires dans les aliments a été effectué par spectrophotométrie. 200 mg de l'échantillon sec et broyé ont été mélangés avec 10 ml d'une solution d'acétone 70% et mis au réfrigérateur à 4°C pendant une nuit pour assurer l'extraction. Le lendemain, le mélange a été centrifugé à 3000 tr/min pendant 15 mn pour récupérer le surnageant. L'extrait phénolique obtenu a été utilisé pour déterminer les teneurs en phénols totaux, en tanins totaux et des tanins condensés.

Les teneurs en phénols totaux et les tanins totaux ont été déterminées par la technique de Folin Ciocalteu décrite par Makkar et *al.* (1993). Pour déterminer la quantité en phénols totaux, 50 µl de l'extrait phénolique ont été mélangés avec 450 µl d'eau distillée, 250 µl de réactif de Folin Ciocalteu (1N) et 1250 µl de Na₂CO₃ (20%). L'absorbance a été mesurée par un spectrophotomètre UV (Spectronic 601) à 725 nm après une incubation du mélange pendant 40 min dans l'obscurité à température ambiante. Les résultats de la teneur en phénols totaux sont exprimés en équivalent d'acide tannique (g/kg MS).

Pour déterminer la teneur en tanins totaux, 100 mg de poly vinyl polypyrrolidone (PVPP) ont été mélangés avec 1 ml d'eau distillée et 1 ml de l'extrait phénolique. Le mélange a été

maintenu dans l'obscurité à 4°C pendant 15 min, puis centrifugé à 3000 tr/min pendant 15 min pour complexer les tanins. Cinquante µl du surnageant obtenu a été utilisé pour déterminer la teneur en tanins totaux comme il a été décrit précédemment pour les phénols totaux. Les résultats de la teneur en tanins totaux sont exprimés en équivalent d'acide tannique (g/kg MS).

La teneur en tanins condensés a été déterminée par la méthode de Porter et *al.* (1986). Cinquante µl de l'extrait phénolique a été mélangé avec 3 ml de butanol-HCl (95/5: V/V) et 100 µl de sulfate ferrique d'ammonium (2%). Le mélange a été incubé dans un bain-marie à 100°C pendant 60 min et l'absorbance a été mesurée par un spectrophotomètre UV (Spectronic 601) à 550 nm. Les résultats de la teneur en tanins condensés sont exprimés en équivalent de leucocyanidine (g/kg MS).

3.3.2. Teneurs en saponines

La teneur en saponines a été déterminée par spectrophotométrie selon la méthode de Hiai et *al.* (1976). Environ 500 mg d'échantillon ont été dilués avec 10 ml de méthanol (80%). Le mélange a été mis en incubation à 4°C pendant une nuit, puis centrifugé à 3000 tr/min pendant 10 min. Le surnageant obtenu est récupéré et le résidu a été lavé 3 fois avec 5 ml de méthanol (80%) et centrifugé à chaque fois afin d'améliorer l'extraction. 250 µl de l'extrait obtenu est mélangé avec 0,5 ml de vanilline (8%) et 2,5 ml de H₂SO₄ (72%). Le mélange est incubé dans de l'eau glacée, puis dans un bain-marie à 60°C pendant 10 min. Ensuite, il est refroidi de nouveau dans l'eau glacée avant de mesurer l'absorbance à 544 nm. Les résultats de la teneur en saponines sont exprimés en équivalent de diosgénin (g/kg MS).

4. Performances zootechniques

4.1. Contrôle du poids vif des agneaux

Les agneaux ont été pesés à jeun et à la même heure tous les 21 jours. Le contrôle de croissance des animaux nous permet de calculer le gain moyen quotidien (GMQ). Le GMQ global a été calculé par régression.

4.2. Mesure de l'ingéré

Les quantités distribuées et refusées du foin, de l'aliment concentré et des GO ont été pesées chaque deux semaines afin de déterminer les quantités ingérées. Les quantités ingérées ont été calculées par différence entre les quantités distribuées et celles refusées. Le foin a été

distribué de façon à laisser au moins 10% de refus. Des échantillons des aliments distribués et refusés ont été prélevés pour faire les analyses chimiques ultérieures.

5. Qualité de la carcasse

5.1. Procédure d'abattage

Six agneaux mâles de chaque groupe d'un poids vif moyen de 32,5 kg ont été abattus. Un jour avant l'abattage, ces agneaux ont été transportés à la société «Générale des viandes» à Mahdia et mis à jeun pendant environ 16 à 18 heures avec un accès libre à l'eau. Le lendemain, les agneaux ont été pesés à jeun (poids vif à jeun), puis abattus. La procédure d'abattage a été mise en œuvre : saignée, égouttage, enlèvement de la tête et des pattes, dépouillement et éviscération. Ensuite, la peau, la tête, les pattes, le tube digestif plein et vide et les abats rouges (foie, cœur, poumons, rate) ont été pesés. Les proportions du tube digestif et des abats rouges ont été calculées par rapport au poids vif à jeun.

Une heure après l'abattage, les carcasses chaudes ont été pesées (PCC), puis mises dans une chambre froide à une température de 4°C pendant 24 heures. Le lendemain, les carcasses froides ont été repesées (PCF). Les rendements vrai et commercial sont calculés. Les rendements de carcasse sont calculés comme suit:

$$\text{Rendement vrai} = (\text{PCC} / \text{poids vif vide}) * 100$$

$$\text{Rendement commercial} = (\text{PCF} / \text{poids vif à jeun}) * 100$$

Avec : Poids vif vide = poids vif à l'abattage – contenu digestif

Contenu digestif = Poids tube digestif plein – Poids tube digestif vide

5.2. Appréciation de la conformation

La conformation de la carcasse a été évaluée par des mesures linéaires effectuées sur les carcasses froides, 24 heures après abattage, d'après la méthode de Fisher et De Boer (1994) et Laville et *al.* (2002). Les mesures effectuées sont illustrées dans la figure 21 :

- Périmètre du bassin (**PB**): le plus grand périmètre de la carcasse au bassin
- Rondeur de la cuisse (**RC**): le plus grand périmètre du gigot
- Longueur de la cuisse (**LC**): distance entre l'articulation tarso-métatarsienne et la symphyse pubienne
- Profondeur externe de la poitrine (**PP**): distance la plus large au niveau de la 6^{ème} côte dans le plan horizontal

- Longueur interne de la carcasse (**LIC**): distance verticale entre la première côte et la symphyse pubienne
- Longueur externe de la carcasse (**LEC**): distance verticale entre la première vertèbre cervicale et la dernière vertèbre sacrée (distance entre la base de la queue et la base du cou)

Ces mesures nous ont permis de calculer l'indice de compacité (IC) de la cuisse et de la carcasse selon les rapports suivants donnés par Alexandre et al (2008) :

$$IC_{\text{cuisse}} = (\text{poids cuisse}) / \text{longueur cuisse}$$

$$IC_{\text{carcasse}} = (\text{poids carcasse froide}) / \text{longueur interne de la carcasse}$$

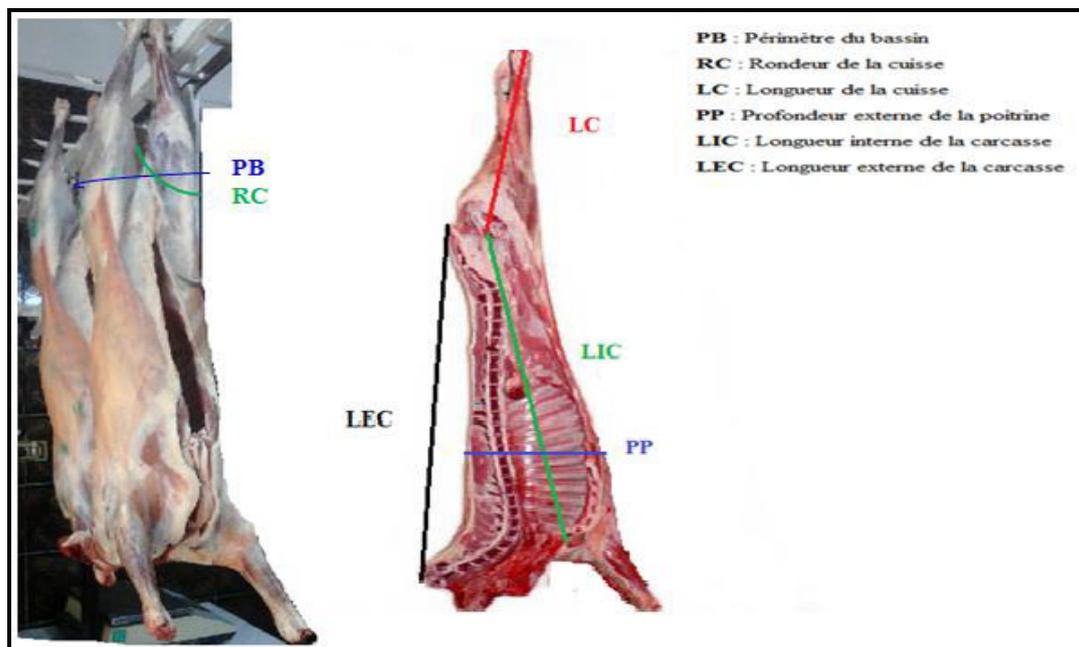


Figure 21: Mesures linéaires réalisées sur les carcasses froides selon la méthode de Fisher et De Boer (1994) et Laville et al. (2002)

5.3. Etat d'engraissement

L'état d'engraissement de la carcasse a été apprécié par la mesure de l'épaisseur du gras de couverture et la détermination du poids du gras péri-rénal et caudal. La mesure de l'épaisseur du gras de couverture est effectuée selon la procédure décrite par Fisher et De Boer (1994), suite à une incision entre la 10^{ème} et la 11^{ème} côte et à environ 4 cm à droite de la colonne vertébrale en utilisant un pied à coulisse. Les queues ont été séparées puis disséquées en séparant le gras caudal du reste (muscle+os) afin de déterminer la part du gras caudal.

5.4. Couleur du gras de couverture

La couleur du gras de couverture a été mesurée dans la région lombaire au niveau des zébrures avec un chromamètre (Minolta CR-410, Japon) selon les normes de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE, 1986). Les paramètres de la couleur sont la luminosité (L^* : de 0 à 100), l'indice de rouge (a^* : de +60 à -60) et l'indice de jaune (b^* : de +60 à -60). Les mesures ont été répétées 3 fois pour chaque échantillon.

5.5. Rendement à la découpe, rendement en viande et composition tissulaire

Le lendemain du jour de l'abattage, les carcasses (sans reins, testicules et queue) ont été divisées en deux demi-carcasses suite à une fente sagittale de la colonne vertébrale. En suite, les demi-carcasses gauches ont été pesées et découpées en sept morceaux selon la méthode de découpe normalisée de Fisher et De Boer (1994) comme il est représenté dans la figure 22 : le jarret arrière (A), la culotte (B), la longe (C), la région abdominale (D), le collier et le thorax (E), le membre thoracique proximal (F) et le jarret avant (G). Les morceaux ont été ensuite pesés afin de déterminer le rendement à la découpe de chaque morceau ($(\text{poids du morceau} / \text{poids demi-carcasse froide}) * 100$) par rapport au poids de la carcasse froide dépourvue de la queue. Aussi, les rendements de la cuisse (morceaux A et B), de l'épaule (morceaux F et G) et des morceaux nobles (cuisse, épaule et longe) ont été calculés. Par la suite, les morceaux ont été désossés et disséqués et le muscle, le gras, les os et les déchets (tendons, nerfs) ont été pesés pour déterminer le rendement en viande et la composition tissulaire des morceaux et de la carcasse. Le rendement en viande ou le rendement au désossage représente la part de la viande consommable dans la carcasse ($(\text{muscle} + \text{tissu adipeux}) / \text{poids de la carcasse}$).

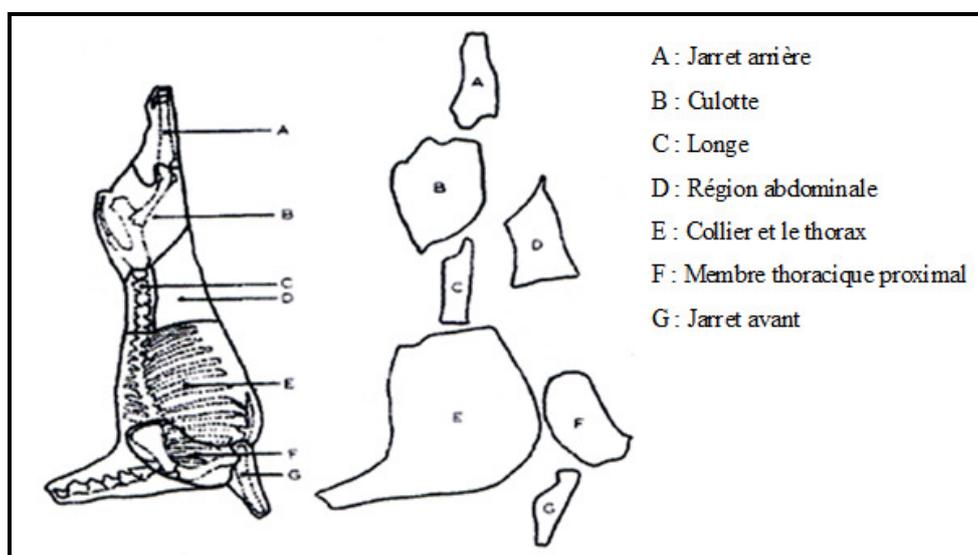


Figure 22 : Morceaux de découpe de la carcasse (Fisher et De Boer, 1994)

6. Caractéristiques musculaires et qualités de la viande

6.1. Prélèvement des muscles

Juste après l'abattage des agneaux (environ 10 min), on a prélevé environ 10 à 15 g au niveau du muscle *longissimus lumborum* (LL) directement sur la carcasse pour déterminer les caractéristiques métaboliques et contractiles. Les échantillons ont été coupés en petits morceaux, congelés dans l'azote liquide, mis dans des cryotubes stériles et conservés à -80°C jusqu'à la réalisation des analyses. Par la suite et juste avant de faire les analyses, ces échantillons sont broyés dans l'azote liquide afin d'obtenir une poudre plus fine et homogène. Vingt quatre heures après abattage et avant la découpe des carcasses, les deux muscles *longissimus thoracis* et *longissimus lumborum* (gauche et droit) ont été prélevés et identifiés. Les deux muscles *longissimus thoracis* ont été congelés à -20°C pour évaluer ultérieurement la qualité organoleptique de la viande. Toutes les autres mesures et analyses ont été effectuées sur le muscle *longissimus lumborum*.

6.2. Caractéristiques musculaires

6.2.1. Détermination de la teneur et la solubilité du collagène

6.2.1.1. Préparation des échantillons

Environ 50 g du muscle LL sont coupés en petits morceaux, aplatis et conservés à -20°C pour le dosage de la teneur et la solubilité du collagène. Les échantillons de viande congelés sont broyés avec un robot coupe tout en évitant la décongélation de l'échantillon afin d'éviter la dénaturation des myofibrilles. Les échantillons broyés ont été lyophilisés pendant 48 heures. En suite, ces échantillons sont broyés de nouveau au robot afin d'obtenir une poudre plus fine et homogène ensuite conservés à 4°C.

6.2.1.2. Dosage du collagène total et insoluble

La teneur en collagène total a été déterminée à partir de la teneur en hydroxyproline au niveau du muscle LL selon le protocole décrit par Dubost et *al.* (2013). L'extraction de l'hydroxyproline a été faite par hydrolyse de l'échantillon (50 mg) à chaud, une nuit à 105°C, en milieu acide (acide chlorhydrique: HCl 6N) et le dosage suite à une réaction colorimétrique, au spectrophotomètre à 557 nm. Les mesures ont été répétées 3 fois par échantillon. La quantité d'hydroxyproline par échantillon a été déterminée en multipliant la teneur d'hydroxyproline trouvée par un facteur 50 pour obtenir la quantité totale du collagène.

Les résultats sont exprimés en mg de hydroxyproline par g de matière sèche (mg OH-pro/g MS).

La teneur en collagène insoluble a été déterminée suite à un traitement thermique (1 heure à 75°C) en milieu aqueux de l'échantillon (100 mg) selon la méthode de Hill (1966). Ce traitement sert à libérer la fraction soluble qui sera éliminée puis la teneur en collagène insoluble est déterminée par le même protocole de détermination du collagène total. La solubilité du collagène a été calculée comme étant le rapport entre le collagène soluble et le collagène total.

6.2.2. Détermination des caractéristiques contractiles et métaboliques du muscle

6.2.2.1. Caractéristiques contractiles du muscle

Les différents types des fibres musculaires de la chaîne lourde de myosine (MyHC) ont été séparés par électrophorèse SDS-PAGE (Sodium Dodécyl Sulfate Poly Acrylamide Gel Electrophoresis) en mini-gels selon le protocole donné par Talmadge et Roy (1993) modifié par Picard et *al* (2011). La séparation de la MyHC est basée sur la migration des protéines myofibrillaires dénaturées, qui sont chargées négativement par l'ajout de sodium dodécyl sulfate (SDS), en fonction de leur masse moléculaire pendant 30 heures à 70V. Ensuite, après la coloration, les gels ont été analysés et les proportions des isoformes de myosines (MyHC I, Iia et Iix) ont été déterminées par densitométrie avec l'image Quant Software 5500 (Amersham Biosciences / GE Healthcare).

6.2.2.2. Caractéristiques métaboliques du muscle

Les activités des enzymes caractéristiques du métabolisme glycolytique (lactate déshydrogénase: LDH) et du métabolisme oxydatif (isocitrate déshydrogénase : ICDH et la citrate synthase : CS) ont été mesurées par spectrophotométrie. Un échantillon de 200 mg de muscle LL broyé a été homogénéisé dans 4 ml de solution tampon (10 mM de Trizma-Base (pH 8,0), 250 mM de saccharose et 2 mM d'EDTA) à l'aide d'un Polytron pendant 15 secondes. Ensuite, l'homogénat est centrifugé à 6000 g pendant 15 min à 4°C. Le surnageant obtenu est utilisé pour mesurer les activités des enzymes CS, LDH et ICDH.

❖ Activité de lactate déshydrogénase

La lactate déshydrogénase (LDH) est une enzyme qui catalyse la transformation réciproque du pyruvate et du lactate accompagnée de la conversion simultanée du NADH en NAD⁺ et inversement selon la réaction suivante :



Nous avons mesuré uniquement la transformation du pyruvate en lactate par spectrophotométrie à 340 nm selon la méthode décrite par Ansay (1974).

❖ Activité d'isocitrate déshydrogénase

La teneur en isocitrate déshydrogénase (ICDH) est mesurée par spectrophomètre à 340 nm selon le protocole décrit par Briand et *al.* (1981). L'ICDH est une enzyme de cycle de Krebs qui caractérise le métabolisme aérobie. Cet enzyme catalyse la réaction de formation de NADPH donnée par l'équation suivante:



❖ Activité de citrate synthase

La citrate synthase (CS) est une enzyme de cycle de Krebs qui catalyse la réaction suivante :



La teneur en CS est mesurée par spectrophomètre à 412 nm selon la méthode de Sheperd and Garland (1969). Le principe de ce dosage est basé sur la formation de l'ion mercaptide, de couleur jaune, suite à la présence des molécules de CoASH et le 5,5'- dithio-bis (DNTB). L'intensité de la couleur dépend de l'activité du citrate synthase.

6.3 Qualités technologiques

6.3.1. Mesure du pH et de la température

Les mesures de pH et de la température ont été effectuées en parallèle respectivement à l'aide d'un pH-mètre WTW-340 (WTW, Weilheim, Allemagne) muni d'une sonde de pénétration du type Sentix sp., étalonnée avec deux solutions tampons de pH 7 et 4 et un thermomètre. Les mesures ont été faites au niveau du muscle LL directement sur la carcasse. Le pH initial et le pH ultime ont été mesurés respectivement une heure et 24 heures après l'abattage des agneaux.

6.3.2. Mesure du pouvoir de rétention d'eau

Le pouvoir de rétention d'eau de la viande est mesuré en déterminant les pertes totales (pertes à l'écoulement et à la cuisson) en eau de cette viande (Honikel, 1998). Des morceaux de viande du muscle LL, environ 40 g, ont été pesés, mis dans des sacs en plastique, suspendus grâce à un fil métallique et conservés pendant 4 jours à 4°C. Au 5^{ème} jour, les morceaux ont été pesés et la perte d'eau à l'écoulement a été déterminée. Ces mêmes morceaux ont été aussi utilisés pour mesurer les pertes à la cuisson. Les morceaux ont été pesés, mis chacun dans un sachet plastique hermétique et cuit par immersion dans un bain-marie préalablement chauffé à 75°C pendant environ une heure. Ensuite, les sachets ont été retirés, mis dans l'eau froide, séchés en utilisant un papier absorbant et repesés afin de calculer les pertes à la cuisson. La perte totale en eau est égale à la somme des deux pertes (pertes à l'écoulement et à la cuisson).

$$\text{Pertes à l'écoulement (\%)} = ((\text{poids J1} - \text{poids J5}) / \text{poids J1}) * 100$$

$$\text{Pertes à la cuisson (\%)} = ((\text{poids avant cuisson} - \text{poids après cuisson}) / \text{poids avant cuisson}) * 100$$

6.4. Qualités sensorielles

6.4.1. Préparation des échantillons

Les qualités sensorielles de la viande ont été évaluées par une épreuve de dégustation. L'épreuve de dégustation a été effectuée selon la méthodologie d'évaluation sensorielle décrite par Depledt (1998). La veille de l'épreuve de dégustation, les deux muscles *longissimus thoracis* (cotés gauche et droit de la carcasse) ont été décongelés dans un réfrigérateur à 4°C. Le jour de l'épreuve, le muscle de chaque animal a été emballé dans un papier aluminium identifié et les échantillons de chaque traitement ont été mis séparément dans un four électrique préalablement chauffé à 240°C. Les échantillons sont cuits avec leur gras de couverture durant environ 50 à 60 minutes, jusqu'à atteindre une température interne de 70°C. Par la suite, les muscles ont été coupés en petits morceaux de taille et d'épaisseur homogènes (environ 1,5 cm sur 1,5 cm). Ces morceaux ont été gardés dans le même papier aluminium utilisé pour la cuisson avant de les servir et les réchauffer au cas où ils se sont refroidis.

6.4.2. Epreuve de dégustation

Pour l'épreuve de dégustation, on a utilisé le test de notation. Le principe de ce test consiste à présenter au dégustateur une assiette contenant quatre morceaux de viande correspondant aux

quatre traitements étudiés et de lui demander de déguster les différents morceaux présentés dans l'assiette et de les noter pour chaque caractéristique (couleur, tendreté, jutosité, flaveur, degré de gras et l'acceptabilité). Trente trois dégustateurs ont participé à cette épreuve de dégustation. Ce sont des personnes non entraînées mais qui ont passé par divers tests de validité ou ont participé auparavant à différentes épreuves de dégustations.

Chaque dégustateur avait à sa disposition des fiches de dégustation à remplir, une fiche pour chaque assiette. Il est demandé de marquer le code de chaque échantillon, composé de trois chiffres, en dessous de chaque note correspondante. Les morceaux présentés au dégustateur étaient chauds. Le dégustateur avait accès à un verre d'eau et un morceau de pain il lui été demandé de manger du pain et de boire de l'eau en passant d'un morceau à un autre pour éviter l'arrière goût de l'échantillon précédant. Au total, trois séances de dégustation ont été réalisées. Chaque dégustateur a reçu successivement trois assiettes à déguster. Deux assiettes identiques pour déterminer la répétabilité et une troisième assiette identique à celle présentée à un autre dégustateur pour étudier la reproductibilité.

6.5. Qualité nutritionnelle

6.5.1. Composition chimique

Les analyses de la composition chimique de la viande ont été déterminées par la mesure des teneurs en eau, en minéraux et en protéines selon la procédure AOAC (1995). Ces analyses chimiques ont été effectuées sur le muscle LL paré. Les teneurs en matières sèche ont été déterminées par le séchage d'un échantillon d'environ 70 g du muscle LL à l'étuve à 80 C° pendant 48 heures. La teneur en matière minérale a été déterminée par une incinération dans un four à 550°C durant 6 heures. La teneur en protéines a été déterminée par la méthode de Kjeldahl. La teneur en matière grasse a été déterminée selon la méthode de Folch et *al.* (1957) comme a été décrit précédemment pour les aliments.

6.5.2 Composition en acides gras

La composition en acides gras au niveau du muscle LL a été déterminée comme a été décrit précédemment pour la composition en acides gras pour les aliments. La valeur nutritionnelle des lipides a été évaluée par le calcul des rapports d'acides gras polyinsaturés/acides gras saturés (AGPI/AGS), n-6/n-3, AG hypocholestérolémiant/hypercholestérolémiant (Hypo/Hyper) et les index athérogénique (AI) et thrombogénique (TI). Les index AI et TI sont calculés selon les équations données par Ulbricht et Southgate (1991). L'activité de $\Delta 5$ plus

$\Delta 6$ désaturase et l'index de peroxydabilité (PI) ont été calculés par les équations de Dal Bosco *et al.* (2012) and Hu *et al.* (1989) respectivement.

- Acides gras hypocholestérolémiants (Hypo) = C18: 1+ C18: 2 + C18: 3+ C20: 5n-3 + C22: 5n-3 + C22: 6n-3
- Acides gras hypercholestérolémiants (Hyper) = C12: 0 + C14: 0+ C16: 0
- AI = (C12: 0 + C14: 0 * 4 + C16: 0) / (AGMI + AGPI n-6 + AGPI n-3)
- TI = (C14: 0 + C16: 0 + C18: 0) / (0,5 * AGMI + 0,5 * + AGPI n-6 + 3 * AGPI n-3 + (PUFA n-6 / n-3 PUFA))
- $\Delta 5 + \Delta 6$ désaturase = (C20: 2n-6 + C20: 4n-6 + EPA + C22: 5n-3 + DHA) / (LA + ALA + C20: 2n-6 + C20: 4n-6 + EPA + C22: 5n-3 + DHA) * 100

PI = (% diénoïque AG * 1) + (% triénoïque AG * 2) + (% tétraénoïque AG * 3) + (% pentaénoïque AG * 4) + (% hexaénoïque AG * 5)

7. Stabilité de la viande à l'oxydation

7.1. Préparation des échantillons

Environ 40 g du muscle LL, prélevé 24 heures (J1) après l'abattage des agneaux, ont été coupées en petits cubes de 1cm de côté, congelés dans l'azote liquide puis conservés à -80°C pour doser les activités des enzymes antioxydantes et les teneurs en vitamines A et E à J1. Egalement, 40 g du muscle LL a été coupée en tranche, enveloppée avec un film de PVC perméable à l'oxygène et conservée dans l'obscurité à 4°C pendant 4 jours de maturation. Ensuite, ces échantillons ont été aussi coupés en petits cubes de 1cm de côté, congelés dans l'azote liquide et conservés à -80°C afin de déterminer la teneur en MDA à J5. Par la suite, tous les échantillons de J1 et J5 ont été broyés dans l'azote liquide afin d'obtenir une poudre fine et homogène pour réaliser les différentes analyses.

7.2. Stabilité de la couleur

La stabilité de la couleur de la viande a été évaluée par la mesure des paramètres de la couleur ($L^*a^*b^*$) au jour J1 (après 24 h d'abattage) et le 5^{ème} jour de maturation de la viande (J5) sur les mêmes tranches du muscle LL utilisées pour le dosage de MDA. La couleur de la viande à J1 et à J5 a été mesurée sur ces tranches après une période d'exposition de 30 min à température ambiante. Pour chaque échantillon trois lectures des paramètres de la couleur ont été effectuées. Ces mesures nous ont permis de calculer la chroma (C^*) ou indice de

saturation et l'angle de teinte (H^*) par les relations données par Ripoll et al. (2011): $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$ et $H^* = \tan^{-1}(b^* / a^*) \times 57.29$.

L'effet du stockage sur la variation de la couleur de la viande entre J1 et J5 a été calculé par la différence (ΔE) donnée par Luciano et al. (2009), $\Delta E_{(1-5)} = ((\Delta L^*_{(1-5)})^2 + (\Delta a^*_{(1-5)})^2 + (\Delta b^*_{(1-5)})^2)^{0.5}$.

7.3. Stabilité des lipides

L'évaluation du niveau de peroxydation des lipides au niveau du muscle LL est basée sur la réalisation de différents dosages : la mesure des activités des enzymes antioxydantes (superoxyde dismutase, glutathion peroxydase et catalase) à J1 par spectrophotométrie et les dosages des vitamines A et E à J1 et de malondialdéhyde (MDA) à J5 par une méthode de chromatographie liquide haute performance (HPLC).

7.3.1. Mesure des activités des enzymes antioxydantes

7.3.1.1. Préparation de l'extrait

Un échantillon d'environ 250 mg de muscle LL est broyé dans 3 ml de tampon phosphate (50 mM et pH=7) au polytron pendant 15 secondes à 20000 tr/min. Puis l'homogénat est centrifugé à 2800 tr/min pendant 15 min à 4°C. Le surnageant obtenu est filtré sur des filtres N°00, puis aliquoté dans 4 cupules de 0,5 ml. Les échantillons sont conservés à -80°C pour déterminer les activités du superoxyde dismutase, de la glutathion peroxydase, et de la catalase ainsi que la teneur en protéines solubles.

7.3.1.2. Dosage de l'activité de la superoxyde dismutase

La mesure de l'activité de superoxyde dismutase (SOD) a été déterminée par la méthode décrite par Marklund et Marklund (1974). Le principe de dosage de l'activité de la SOD est basé sur la mesure de la capacité à inhiber l'autoxydation du pyrogallol, qui s'oxyde spontanément en milieu alcalin, par rapport à un échantillon blanc. L'activité de la SOD est mesurée par spectrophotométrie à 420 nm. Une unité de SOD a été exprimée comme étant l'activité qui inhibe l'auto-oxydation du pyrogallol de 50%.

7.3.1.3. Dosage de l'activité de la glutathion peroxydase

Le principe du dosage de l'activité de la glutathion peroxydase (GSH Px) consiste à déterminer la variation de la vitesse d'oxydation du NADPH par spectrophotométrie à 366 nm

selon la méthode d'Agergaard et Jensen (1982). L'activité de GSH Px est exprimée en $\mu\text{mol NADPH}/\text{min}/\text{mg}$ protéine.

7.3.1.4. Dosage de l'activité de la catalase

La mesure de l'activité de la catalase est réalisée selon la méthode décrite par Aebi (1974). Le principe du dosage de l'activité de la catalase est basé sur la détermination de la vitesse de décomposition de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) mesurée à 240 nm par spectrophotométrie. L'activité de catalase est exprimée en $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg}$ protéine.

7.3.2. Dosage de la vitamine E

La teneur en vitamine E a été déterminée par HPLC en mesurant la quantité de α -tocophérol selon la méthode de Scislawski et *al.* (2005) et Gladine et *al.* (2007a). La majorité des étapes de dosage de vitamine E est réalisée dans une pièce à lumière jaune afin d'éviter la dégradation de la vitamine E qui est sensible à la lumière. La vitamine E est extraite par l'hexane suite à un traitement de l'échantillon à la potasse alcoolique (11%). La phase d'hexane est éliminée par évaporation à sec à l'aide d'un évaporateur sous vide, chauffé à 60°C. Ensuite, l'extrait sec obtenu est solubilisé à l'aide de 240 μl de tétrahydrofurane (THF) et 240 μl de mélange méthanol/dichlorométhane (65V/35V). La solution obtenue est prélevée grâce à une seringue, filtrée à 0,2 μm avant d'être transférée dans un vial serti pour injection en HPLC. La séparation de la vitamine E et de l'étalon interne est réalisée par HPLC (Agilent série 1200) en phase inverse. Cette séparation est faite en utilisant une colonne de silice C18-Modulo-Cart QS Uptisphere 50 ODB de 250 mm de longueur et de 4,6 mm de diamètre pour une porosité de 120A et une phase mobile polaire (méthanol). L'acétonitrile est utilisé pour rincer la colonne entre chaque injection. La détection de vitamine E est assurée par un détecteur UV/visible avec des longueurs d'ondes de 292 nm. La quantification a été réalisée grâce à un étalonnage externe réalisé avec des concentrations différentes de rétinol et de α -tocophérol permettant ainsi d'établir une relation linéaire entre les réponses instrumentales (aires) et la quantité de vitamine E présente dans l'échantillon.

7.3.3. Dosage de malondialdéhyde

La teneur en malondialdéhyde (MDA) est mesurée par HPLC selon la méthode de Botsoglou et *al.* (1994) et Agarwal et Chase (2002). Le principe du dosage de MDA est basé sur la formation des fonctions aldéhydes libérées lors de la peroxydation des acides gras

polyinsaturés. Un pigment rose absorbant à 532 nm se forme suite à l'hydrolyse en milieu acide et à chaud à 70°C entre le MDA et deux molécules de l'acide thiobarbiturique. La séparation du MDA est réalisée par HPLC (Agilent série 1200) en phase inverse, équipé d'une colonne RP C18 (ODB 5 μ , 4,6 x 250 mm ; Interchim). La phase mobile utilisée est composée de 60% du phosphate de potassium (0,05 M, pH 6,8) et 40% du méthanol à un débit d'injection de 0,6 ml / min. Le volume de la gamme et de l'échantillon injecté est de 80 μ l.

Le MDA est détecté par fluorimétrie avec des longueurs d'ondes respectivement d'excitation à 515 nm et d'émission à 553 nm. L'identification de MDA est faite par comparaison du temps de rétention obtenu après injection d'une solution pure de tétraéthoxypropane (TEP) et celui obtenu dans les échantillons. La quantification de MDA a été déterminée par étalonnage externe en injectant différentes concentrations connues de TEP, ce qui nous a permis d'établir une relation linéaire entre les réponses instrumentales (aires) et la teneur en MDA présente dans l'échantillon.

8. Analyses statistiques

Toutes les données de performances zootechniques, caractéristiques de la carcasse et la qualité de la viande ont été analysées avec la procédure GLM (modèle linéaire général) en utilisant le système d'analyse statistique (STATISTICA, version 5.5, USA). Le modèle utilisé est à un modèle multifactoriel à deux facteurs de variation: mode de conduite (parcours et bergerie) et supplémentation en grignons d'olive (avec ou sans grignons d'olive).

$$Y = \mu + MC_i + S_j + MC*S_k + e_{ijk}$$

Avec Y: Paramètre mesuré

μ : Moyenne générale

MC : Effet mode de conduite $i = 1,2$

S : Effet supplémentation $j = 1,2$

MC*S: Effet de $k^{\text{ème}}$ interaction mode de conduite-supplémentation

e: Erreur résiduelle

Les différences entre les moyennes ont été comparées par le test de Duncan et considérées significatives lorsque $P \leq 0,05$ et les tendances ont été discutées lorsque $0,05 < P \leq 0,10$. Les résultats sont présentés sous forme de moyennes et d'ESM comme terme d'erreur.

La corrélation entre la teneur en vitamine E et la valeur de MDA a été déterminée par excel.

Résultats & discussion

1. Etude de la composition floristique du parcours

1.1. Caractéristiques de la strate arborescente du parcours

Les données concernant les espèces arborescentes inventoriées dans le parcours sont indiquées dans le tableau 16.

Tableau 16: Caractéristiques des espèces arborescentes du parcours naturel amélioré par le *Medicago arborea* de la ferme expérimentale Saouef, Zaghouan

Nom scientifique	Nom commun	Famille	Densité (pieds/ha)	Fréquence relative (%)
<i>Acacia cyanophylla</i>	Acacia bleu	Fabacées	7,5 ± 11,75	2,05
<i>Atriplex halimus</i>	Pourpier de mer	Chénopodiacées	7,5 ± 14,30	2,05
<i>Calycotome villosa</i>	Calicotome velu	Fabacées	17,5 ± 20	4,78
<i>Medicago arborea</i>	Luzerne arborescente	Fabacées	325,0 ± 107	88,74
<i>Olea europaea</i>	Olivier sauvage	Oléacées	2,5 ± 7,70	0,68
<i>Ziziphus groupeus</i>	Jujubier	Rhamnacées	6,25 ± 13,75	1,71
Total	-	4	366,25	100

La composition botanique de la strate arborescente du parcours est composée de 6 espèces ligneuses regroupées dans 4 familles. La famille des fabacées est la plus dominante avec 95,56%. Les autres familles sont les chénopodiacées (2,05%), les rhamnacées (1,71%) et les oléacées (0,68%). Le *Medicago arborea* est installé en 1990 avec une densité de 1000 pieds/ha (OEP, 2013), pour améliorer le parcours. A part cette espèce, on a noté la présence d'autres arbustes qui ont un intérêt alimentaire tels que le *Calycotome villosa*, l'*Acacia cyanophylla* et l'*Atriplex halimus* qui représentent, respectivement 4,78%, 2,05, et 2,05% du total des arbustes recensées. *Medicago arborea* est l'espèce ligneuse la plus fréquente et la plus abondante sur le parcours avec une fréquence relative de 88,74% et une densité moyenne de 325 pieds/ha avec un minimum de 200 pieds/ha et un maximum de 580 pieds/ha. Le coefficient de variation (CV= 33,01%) de la densité déterminée pour le *Medicago arborea* indique une répartition inégale de cette espèce sur le parcours. Bien que le *Medicago arborea* est caractérisé par une bonne résistance à la sécheresse même avec 250 mm de précipitations annuelles (De Koning et Duncan 2000) et la précipitation moyenne annuelle pour la région de Saouef est supérieure à ce seuil (Tableau 13), la densité déterminée est très faible et indique probablement une mauvaise exploitation de cette espèce.

1.2. Caractéristiques de la strate herbacée du parcours

1.2.1. Composition floristique

Les caractéristiques des espèces herbacées du parcours (nom scientifique, nom commun, famille, cycle de vie, type biologique, contribution, fréquence relative, coefficient d'abondance-dominance, indice spécifique et la valeur pastorale) sont présentées dans le tableau 17. Pour un total de 2300 points lus, on a noté la présence de végétation pour 1950 points lus contre 350 points pour le sol nu. Ceci se traduit par un taux de recouvrement global du sol de 84,78%. Ceci indique un recouvrement assez important et ce parcours est considéré comme peu ouvert (recouvrement entre 75-90% ; Daget et Gordon, 1995). La composition floristique de la strate herbacée du parcours est formée par 36 espèces. *Stipa parviflora* (48,36%) et *Cynodon dactylon* (24,05%) sont les deux principales espèces qui dominent la flore végétale du parcours, suivies par *Plantago albicans* (5,03%), *Asteriscus maritimus* (3,38%), *Atractylis cancellata* (2,92%), *Anthyllis tetraphylla* (1,95%), *Aegilops ovata* (1,69%), *Convolvulus althaeoides* (1,28%) et *Launaea nudicaulis* (1,08%). Les autres espèces présentent des contributions très faibles (<1%) dans la végétation du parcours. La composition floristique de ce parcours est bien différente de celle déterminée dans le cadre de l'étude de Hamdi et *al.* (2014) dans la région de Menzel Bouzaiane, Sidi Bouzid et dont la composition floristique de ce parcours est totalement herbacée et dominée par *Cynodon dactylon* (62,3%). Elle est aussi différente de celle étudiée par Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) dans la région de Sidi Bouzid et qui est caractérisée par la faible disponibilité des plantes herbacées et par la dominance des arbustes naturels dont principalement *Rhanterium suaveolens*, *Peganum harmala*, *Lygeum spartum*, *Echiochilon fruticosum*, *Salsola tetrandra* et *Stipagrostis pungens*.

En se basant sur le coefficient d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (Tableau 17), on remarque que la majorité des espèces recensées au niveau du parcours sont classées rares (coefficient +) et occasionnelles (coefficient 1) avec respectivement 30,55% et 61,11%. Seulement deux espèces (*Cynodon dactylon* et *Plantago albicans*) sont considérées peu abondante (coefficient 2) et une seule espèce (*Stipa parviflora*) est classée abondante (coefficient 3). Par contre, on note une absence totale des espèces classées dominante (coefficient 4) et largement dominante (coefficient 5).

1.2.2. Cycle biologique des espèces

La composition botanique de la strate herbacée du parcours est formée par 52,78% des espèces annuelles et 47,22% des espèces pluriannuelles (Tableau 17). Ceci indique qu'il n'y a pas une différence remarquable entre les deux groupes d'espèces. En effet, au printemps, la contribution des deux groupes augmente probablement grâce à l'effet des précipitations, puisque ces espèces profitent d'une période pluvieuse. En effet, les pluviométries mensuelles enregistrées dans la région de Saouef pour la période de Février, Mars et Avril 2013 est en moyenne de 95 mm (Tableau 13). Ainsi, cette quantité de pluviométrie est considérée suffisante pour favoriser la croissance et/ou la poussée des espèces pastorales. Par ailleurs, Hamdi et *al.* (2014) ont montré que 63,2% des espèces inventoriées dans la région de Menzel Bouzaiane, caractérisée par une précipitation moyenne annuelle de 250 mm/an, sont des espèces annuelles. Ceci indique que la part des espèces pérennes diminue avec l'aridité.

Tableau 17 : Caractéristiques des espèces herbacées du parcours naturel amélioré par le *Medicago arborea* de la ferme expérimentale Saouef, Zaghouan

Nom scientifique	Nom commun	Cycle de vie	Type biologique	FS	FSCi (%)	FR (%)	Coefficient abondance-dominance	IS	VP (FR*IS)
Famille graminées									
<i>Aegilops ovata</i>	Egilope ovale	a	Th	33	1,43	1,69	1	2	3,38
<i>Avena ludoviciana</i>	Avoine de Ludovic	a	Th	8	0,35	0,41	1	3	1,23
<i>Bromus diandrus</i>	Brome à deux étamines	a	Th	2	0,09	0,10	+	1	0,10
<i>Cynodon dactylon</i>	Chiendent pied de poule	p	Gé	469	20,39	24,05	2	4	96,20
<i>Lolium rigidum</i>	Ray grass	a	Th	2	0,09	0,10	+	4	0,40
<i>Stipa tenacissima</i>	Stipe tenace	a	Gé	19	0,83	0,97	1	1	0,97
<i>Stipa parviflora</i>	Stipes à petites fleurs	p	Hé	943	41,00	48,36	3	2	96,72
<i>Triticum ovatum</i>	Triticale ovale	a	Th	19	0,83	0,97	1	2	1,94
Famille astéracées									
<i>Asteriscus maritimus</i>	Astérisque maritime	p	Hé	66	2,87	3,38	1	1	3,38
<i>Atractylis cancellata</i>	Atractyle grillagé	a	Th	57	2,48	2,92	1	1	2,92
<i>Artemisia herba alba</i>	Armoise blanche	p	Ch	3	0,13	0,15	+	3	0,45
<i>Calendula arvensis</i>	Souci des champs	a	Th	5	0,22	0,26	1	2	0,52
<i>Carlina lanata</i>	Carline laineuse	a	Th	17	0,74	0,87	1	0	0
<i>Carduus pycnocephalus</i>	Chardon à têtes serrées	a	Th	7	0,30	0,36	1	0	0
<i>Carthamus lanatus</i>	Carthame laineux	a	Th	3	0,13	0,15	+	0	0
<i>Centaurea dimorpha</i>	Centaurée dimorphe	p	Gé	13	0,57	0,67	1	2	1,34
<i>Centaurea solstitialis</i>	Centaurée chardon doré	p	Ch	3	0,13	0,15	+	0	0
<i>Galactites tomentosa</i>	Chardon laiteux	p	Hé	15	0,65	0,77	1	0	0
<i>Launaea nudicaulis</i>	Launée à tiges nues	p	Gé	21	0,91	1,08	1	2	2,16
Famille fabacées									
<i>Anthyllis tetraphylla</i>	Anthyllis à quatre folioles	a	Th	38	1,65	1,95	1	2	3,90
<i>Ebenus pinnata</i>	Ebenette pennée	a	Th	5	0,22	0,26	1	1	0,26
<i>Groupeus edulis</i>	Groupeier comestible	a	Th	16	0,70	0,82	1	4	3,28
<i>Hedysarum spinosissimum</i>	Sainfoin épineux	a	Th	1	0,04	0,05	+	3	0,15

Famille plantaginacées									
<i>Plantago albicans</i>	Plantain blanchissant	p	Hé	98	4,26	5,03	2	4	20,12
<i>Plantago lanceolata</i>	plantain à feuilles lancéolées	p	Ch	4	0,17	0,21	+	2	0,42
Famille malvacées									
<i>Malva parviflora</i>	Mauve à petites fleurs	a	Th	10	0,43	0,51	1	3	1,53
Famille brassicacées									
<i>Dipgroupeaxis erucoïdes</i>	Dipotaxis roquette blanche	a	Th	8	0,35	0,41	1	1	0,41
Famille chénopodiacées									
<i>Beta vulgaris</i>	bette vulgaire	p	Hé	5	0,22	0,26	1	1	0,26
Famille apiacées									
<i>Ammi majus</i>	Grande Ammi	a	Th	7	0,30	0,36	1	1	0,36
Famille lamiacées									
<i>Marrubium vulgare</i>	Marrube vulgaire	p	Ch	1	0,04	0,05	+	2	0,10
Famille convolvulacées									
<i>Convolvulus althaeoides</i>	Liseron à feuilles de guimauve	p	Gé	25	1,09	1,28	1	2	2,56
Famille borraginacées									
<i>Echium horridum</i>	Vipérine à feuilles longues	p	Hé	14	0,61	0,72	1	2	1,44
Famille caryophyllacées									
<i>Silene gallica</i>	Silène de France	a	Th	5	0,22	0,26	1	1	0,26
Famille primulacées									
<i>Anagallis foemina</i>	Mouron bleu	a	Th	4	0,17	0,21	+	1	0,21
Famille liliacées									
<i>Ornithogalum umbellatum</i>	Dame d'onze heures	p	Gé	2	0,09	0,10	+	0	0,00
Famille dipsacacées									
<i>Scabiosa maritima</i>	Scabieuse maritime	p	Hé	2	0,09	0,10	+	1	0,10
Total	36	-	-	1950	84,78	100		-	247,07

a: Annuelle; p: Pluriannuelle; Ch: Chaméphyte; Gé: Géophyte; Hé: Hémicryptophyte; Th: Thérophyte; FS: Fréquence spécifique; FR: Fréquence relative; FSCi: Fréquence spécifique centésimale; IS: Indice spécifique; VP: valeur pastorale

1.2.3. Familles botaniques des espèces

L'inventaire floristique a révélé que les espèces herbacées recensées sont regroupées en 15 familles (Tableau 18). La famille des astéracées est la plus représentée avec 11 espèces soit 30,56%, suivie par les graminées (22,22%), les fabacées (11,11%) et les plantaginacées (5,56%). Les autres familles contribuent chacune avec 2,78% dans la flore végétale du parcours. Mais, il est à souligner que de point de vue taux de recouvrement, c'est la famille des graminées qui occupe la première place. Viennent ensuite les familles des astéracées, des plantaginacées puis les fabacées. Cependant, les conditions climatiques difficiles et le surpâturage ont provoqué une perturbation dans la composition floristique du parcours. Ainsi, on remarque le développement des espèces épineuses (famille des astéracées) à faible palatabilité pour les agneaux au déterminent d'autres espèces ayant une bonne valeur pastorale essentiellement de familles des graminées et des fabacées.

Tableau 18 : Familles botaniques de la strate herbacée du parcours

Familles	Nombre d'espèces	Contribution des familles (%)
Astéracées	11	30,56
Graminées	8	22,22
Fabacées	4	11,11
Plantaginacées	2	5,56
Apiacées	1	2,78
Borraginacées	1	2,78
Brassicacées	1	2,78
Caryophyllacées	1	2,78
Chénopodiacées	1	2,78
Convolvulacées	1	2,78
Lamiacées	1	2,78
Liliacées	1	2,78
Dipsacacées	1	2,78
Malvacées	1	2,78
Primulacées	1	2,78
Total	36	100,00

1.2.4. Type biologique des espèces

Les espèces herbacées sont classées selon leur type biologique de Raunkiaer qui exprime en partie leur adaptation aux conditions climatiques difficiles. Les principaux types biologiques recensés sont les thérophytes, les géophytes, les hémicryptophytes et les chaméphytes. Les thérophytes dominent largement dans le parcours (52,77%), suivis par les hémicryptophytes (19,44%) puis les chaméphytes et les géophytes avec 13,88% chacune. Cette dominance en thérophytes est expliquée par leur capacité de passer les périodes de sécheresse sous forme de graine et de reprendre leur cycle lorsque les conditions sont favorables. En effet, la dégradation des espaces pastoraux se traduit généralement par une diminution des vivaces au profit des thérophytes. Ceci est en accord avec les conditions climatiques semi-arides de la région de Zaghuan caractérisée par une pluviométrie annuelle de 350 à 550 mm/an. Ainsi, Floret et *al.* (1990) ont rapporté que la composition des types biologiques des espèces végétales dans les zones méditerranéennes et arides est caractérisée par l'abondance des thérophytes. Toutefois, les graminées vivaces (les hémicryptophytes) présentent une contribution relativement faible. Par ailleurs, la contribution des chaméphytes est considérée comme élevée (5 espèces) et indique que la pression du pâturage semble ainsi favoriser l'apparition des certaines espèces à faible appétibilité pour les agneaux tel que *Centaurea solstitialis* et *Marrubium vulgare*.

1.2.5. Contribution pondérale des espèces

La contribution pondérale des espèces herbacées dans la biomasse végétale du parcours est présentée dans le tableau 19.

Tableau 19 : Répartition des espèces herbacées du parcours naturel amélioré par le *Medicago arborea* selon la contribution pondérale

	Poids frais moyen (g/m ²)	Poids sec moyen (g/m ²)	Teneur en MS (%)	Contribution pondérale (%)
<i>Stipa parviflora</i> + <i>Cynodon dactylon</i>	220,31	121,21	55,02	86,47
<i>Galactites tomentosa</i>	13,16	4,75	36,10	3,39
<i>Echium horridum</i>	5,39	1,89	35,06	1,35
<i>Launaea nudicaulis</i>	6,67	1,88	28,19	1,34
<i>Calendula arvensis</i>	4,97	1,55	31,19	1,10
<i>Atractylis cancellata</i>	3,22	1,07	33,23	0,76
<i>Convolvulus althaeoides</i>	3,39	0,95	28,02	0,68
<i>Plantago lanceolata</i>	2,02	0,83	40,08	0,59
<i>Ebenus pinnata</i>	2,06	0,81	39,32	0,58
<i>Anthyllis tetraphylla</i>	3,05	0,81	26,56	0,58
<i>Asteriscus maritimus</i>	2,02	0,78	38,61	0,56
<i>Centaurea dimorpha</i>	1,90	0,70	36,84	0,50
Autres espèces	8,54	2,95	-	2,10
Total	276,69	140,17	-	100

La production moyenne de biomasse herbacée est estimée à 1,402 tonnes MS/ha. D'après le tableau 18, on remarque que *Stipa parviflora* et *Cynodon dactylon* contribuent à plus de 86% de la biomasse totale du parcours. Selon Daget et Poissonet (1971), ces espèces sont considérées très productrices (contribution pondérale supérieure à 5%). Viennent ensuite *Galactites tomentosa* (3,4%), *Echium horridum* (1,35%) *Launaea nudicaulis* (1,34%) *Calendula arvensis* (1,10%) qui sont classées comme des espèces productrices (contribution pondérale entre 1 et 5%). Alors que, les autres espèces présentent des contributions faibles (<1%) dans la biomasse végétale du parcours.

1.2.6. Richesse spécifique

La figure 23 montre que la richesse spécifique de la strate herbacée du parcours varie entre 5 et 15 espèces par quadrat avec une moyenne de $8,50 \pm 2,49$ espèces/ quadrat. Le coefficient de variation de la richesse spécifique (CV= 29,25%) est relativement élevé. Le nombre moyen d'espèces par quadrat est relativement faible et ceci est expliqué par l'abondance-dominance

élevée de deux espèces (*Stipa parviflora* et *Cynodon dactylon*) et d'un nombre important en espèces ayant des contributions très faibles dans la flore du parcours. Ceci est probablement lié aux variations pluviométriques qui affectent la croissance des plantes et par conséquent la composition et la richesse floristique du parcours. En effet, Tarhouni et al. (2007) ont rapporté que la pluviométrie est le principal facteur qui affecte la richesse floristique d'une communauté végétale dans les zones arides.

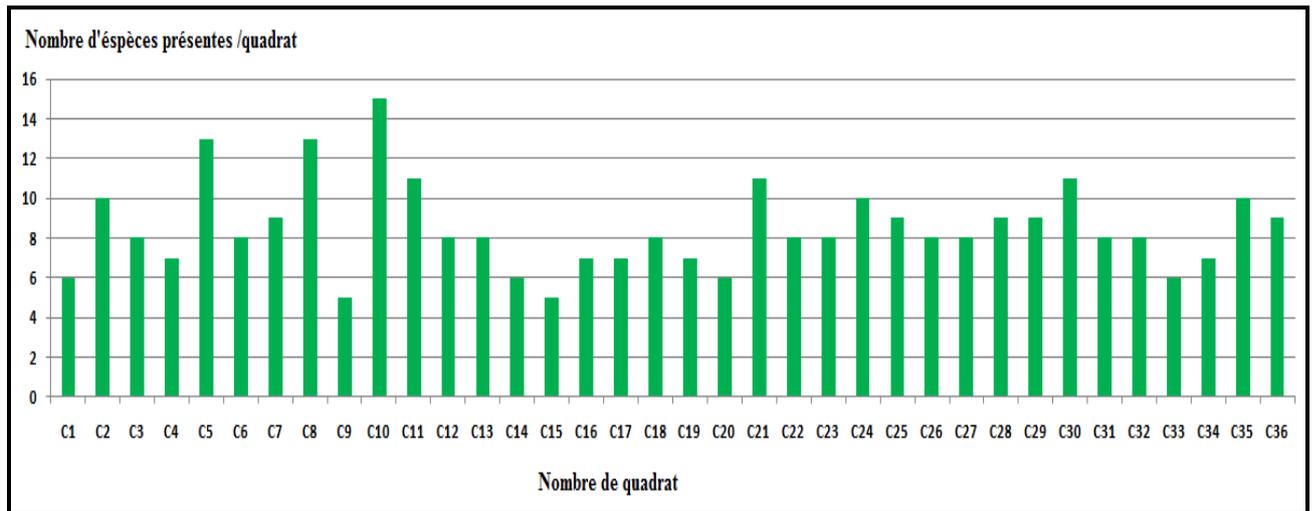


Figure 23 : Evolution de la richesse spécifique de la strate herbacée du parcours par quadrat

1.2.7. Diversité spécifique

Les valeurs calculées de l'indice de diversité de Shannon et de l'équitabilité de Piélou sont respectivement de $3,12 \pm 0,13$ et 0,60. La valeur de l'indice de Shannon indique une diversité biologique moyenne du parcours et que les conditions du milieu sont relativement favorables à la présence d'un nombre assez élevé des espèces. La valeur de l'équitabilité de Piélou montre que les individus des différentes espèces ayant une équi-répartition relativement faible en raison de présence d'un nombre important d'espèces rares et de deux espèces dominantes.

1.2.8. Valeur pastorale

La valeur pastorale calculée du parcours est de 49,41. Cette valeur indique que les espèces pastorales du parcours présentent une valeur fourragère moyenne. Ce résultat pourrait être expliqué d'une part par la qualité fourragère d'un parcours qui dépend essentiellement de la proportion des graminées et des légumineuses constituant les espèces les plus productives et les plus consommées par les animaux. D'autre part, *Stipa parviflora* qui est l'espèce la plus abondante présente une valeur pastorale moyenne (indice spécifique de qualité, IS= 2).

Quant à la valeur pastorale des espèces, on remarque que quatre espèces (*Cynodon dactylon*, *Plantago albicans*, *Lolium rigidum* et *Groupeus edulis*) ont présenté une valeur pastorale bonne (IS=4). Tandis que, *Avena ludoviciana*, *Artemisia alba*, *Hedysarum spinosissimum* et *Malva parviflora* sont des espèces d'assez bonne valeur pastorale (IS=3). Alors que les espèces de moyenne (IS=2), médiocre (IS=1) et sans (IS=0) valeur pastorale représentent respectivement 27,77, 30,55 et 16,66 du total des espèces. Ceci indique que la proportion des espèces sans valeur et à valeur faible est assez élevée ce qui entraîne par conséquent une diminution de la valeur pastorale du parcours.

2. Caractéristiques nutritionnelles des aliments

2.1. Composition chimique

L'analyse de la composition chimique montre que l'aliment concentré contient une teneur relativement faible en matières azotées totales (MAT, 110 g/kg MS ; Tableau 20). Le *Medicago arborea* est caractérisé par une teneur relativement élevée en MAT (146,6 g/kg MS) par rapport à celle du parcours naturel (64,4 g/kg MS) et du foin d'avoine (54 g/kg MS), donc elle peut être considérée comme un aliment de bonne qualité. La teneur en MAT du *Medicago arborea* est inférieure à celle rapportée (162 g/kg MS) par Selmi et *al.* (2013), par contre la teneur en matières grasses (3,83%) est comparable aux 3% rapportés par ces auteurs. Le foin d'avoine utilisé est considéré un fourrage de faible qualité en raison de sa faible teneur en MAT (moins de 9% de MS) et sa teneur élevée en NDF. Les grignons d'olive (GO) avaient une faible teneur en MAT (65,8g/kg MS) et des teneurs élevées en MG (78 g/kg MS) et en lignine (ADL ; 345,9 g/kg MS). La composition chimique des GO utilisés dans notre essai est similaire à celle donnée par Chaabane et *al.* (1997) avec une différence dans les teneurs en MAT et ADL. La teneur de GO en MG (7,80%) est légèrement inférieure à celle (9,17%) rapportée par Mioč et *al.* (2007). Toutefois, cette différence dans la composition des GO pourrait être expliquée selon Molina-Alcaide et Yáñez-Ruiz (2008) par les méthodes d'extraction d'huile et la variété d'olive qui sont différentes. Aussi, Abo Omar et *al.* (2012) ont montré que la composition des GO varie selon le type de GO.

2.2. Teneurs en composés secondaires

Concernant les composés secondaires, le parcours naturel est caractérisé par des teneurs plus élevées en phénols et tannins totaux (10,57 et 8,36 g équivalent acide tannique/kg MS, respectivement) comparé au *Medicago arborea* et au foin d'avoine (Tableau 20). Les GO

contiennent, et contrairement à ce qui est attendu (Molina-Alcaide et Yáñez-Ruiz, 2008), des teneurs très faibles en phénols et tannins totaux. Les teneurs en tannins condensés pour tous les aliments utilisés sont très faibles voire même non détectées. Le *Medicago arborea*, le parcours naturel et les GO ont montré des teneurs en saponines comparables et supérieures à celle déterminée pour le foin d'avoine. Aussi, l'analyse des composés secondaires a montré que les GO avaient des faibles teneurs en phénols et tannins totaux (1,97 et 1,04 g équivalent acide tannique/kg MS, respectivement) et en saponines (6,16 g équivalent diosgenin/kg MS).

2.3. Composition en acides gras

Quand à la composition en acide gras des aliments, on remarque que l'aliment concentré utilisé est caractérisé par une part élevée en acide linoléique (LA ; 18: 2 n-6) par rapport aux autres aliments (Tableau 20) et ceci est expliqué par la présence de céréales (Morand-Fehr et Tran, 2001). *Medicago arborea* et le parcours naturel contiennent des proportions plus élevées (+200%) en AGPI n-3, en particulier en α -linoléique (ALA ; C18: 3n-3) aux dépens de ceux de type AGPI n-6 notamment l'acide LA que le foin d'avoine. Ces constatations sont en accord avec celles de Lourenço et al. (2008) et Vasta et al. (2008) qui ont rapporté que les fourrages verts et l'herbe sont souvent riches en acide α -linoléique par rapport aux aliments à base de céréales. Par ailleurs, le foin d'avoine est très riche (+300%) en en acide oléique (C18 :1) que le *Medicago arborea* et le parcours naturel. Néanmoins, le parcours naturel et le foin d'avoine présentent des proportions comparables en acide palmitique (C16 :0 ; 17,45%). Les GO sont principalement riches en AGMI (59,81%) notamment en acide oléique (58,26%) et contiennent une faible proportion en AGPI n-3 (0,55%).

Tableau 20: Composition chimique, teneurs en composés secondaires et composition en acides gras des aliments utilisés

	Concentré	Foin d'avoine	Parcours naturel	<i>Medicago arborea</i>	Grignons d'olive
Composition chimique (% MS)					
Matière sèche (%)	94,30	92,51	50,65	43,66	71,05
Matière grasse	2,72	1,33	1,33	3,83	7,80
Matières azotées totales	10,93	5,40	6,44	14,66	6,58
Matière minérale	8,68	6,57	9,27	10,47	3,02
NDF	30,88	70,17	68,92	36,82	79,69
ADF	9,06	40,61	43,29	24,32	63,44
ADL	1,91	5,85	5,84	8,43	34,59
Composés secondaires					
Phénols totaux ¹	2,21	1,54	10,57	3,88	1,97
Tanins totaux ¹	0,87	0,20	8,36	2,48	1,04
Tanins condensés ²	0,04	nd	nd	0,17	nd
Saponines ³	1,59	1,55	4,34	5,45	6,16
Composition en acide gras (% acides gras identifiés)					
C10:0	0	0.21	0.34	0	0
C12:0	0.02	0.81	0.71	0.79	0
C14: 0	0.11	1.09	1.37	1.23	0
C16: 0	14.5	16.3	18.6	12.6	14.2
C17: 0	0	0.11	0.54	0	0.12
C18: 0	1.49	2.95	4.41	4.76	6.42
C20: 0	0.32	3.03	6.25	4.00	0.60
C22: 0	0.27	0.60	3.53	2.45	0
C24: 0	0.15	0.41	2.41	0.97	0
C16: 1n-7	0.16	0.1	0	0.17	1.16
C17: 1n-7	0	0.2	0.45	0	0.1
C18: 1	22.84	30.76	9.10	8.77	58.26
C20:1n-9	0.52	1.29	3.05	3.09	0.29
C18: 2	0	0	1.26	0	0
C18: 2n-6	53.3	28.2	21.4	23.3	15.2
C18: 3n-3	3.12	3.46	11.2	21.7	0.55
C20: 5n-3	0	1.26	0.67	0.83	0
C22:5n-6	0	0.65	0	0	0
AGS	16.86	25.79	38.16	26.8	21.34
AGMI	23.52	32.48	12.6	12.03	59.81
AGPI	56.42	33.57	34.53	45.83	15.75
AGPI n-3	3.12	4.72	11.87	22.53	0.55
AGPI n-6	53.3	28.85	21.4	23.3	15.2
AGPI n-6/ AGPI n-3	17.08	6.11	1.8	1.03	27.63

MS: Matière sèche; ADF: Acid detergent fiber; ADL: Acid detergent lignin; NDF: neutral detergent fiber

¹: Phénols totaux exprimés en équivalent acide tannique (g/kg MS)

¹: Tanins totaux exprimés en équivalent acide tannique (g/kg MS)

²: Tanins condensés exprimés en équivalent leucocyanidine (g/kg MS)

³: Saponines : exprimées en équivalent diosgenin (g/kg MS)

3. Performances de croissance

Le tableau 21 représente l'évolution du poids vif moyen des agneaux selon le mode de conduite et la supplémentation en GO.

Tableau 21: Evolution du poids vif moyen et du gain moyen quotidien global des agneaux selon le mode de conduite et la supplémentation en GO

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Poids vif 1 (kg)	24,14	24,38	24,03	24,49	0,216	0,740	0,316	0,544
Poids vif 2 (kg)	25,21	26,15	25,73	25,63	0,240	0,054	0,834	0,486
Poids vif 3 (kg)	26,7	29,38	27,71	28,36	0,333	<0 0001	0,265	0,885
Poids vif 4 (kg)	29,13	29,28	29,00	29,41	0,303	0,809	0,504	0,935
Poids vif 5 (kg)	29,78	32,36	30,93	31,21	0,372	0,0003	0,679	0,864
Gain de poids (kg)	5,98	8,42	7,02	7,39	0,284	<0,0001	0,441	0,679
GMQ (g/j)	83,52	104,72	90,68	97,56	3,45	0,0017	0,289	0,964

ESM : Erreur standard de la moyenne ; MC : mode de conduite ; S : Supplémentation en grignons d'olive ; GMQ : gain moyen quotidien

Au début de l'essai, les poids vifs initiaux des agneaux sont similaires ($P > 0,05$) et ils sont en moyenne de $24,26 \pm 1,06$. L'analyse statistique a révélé un effet significatif du mode de conduite sur l'évolution du poids vif des agneaux. Ainsi, on remarque que les agneaux du groupe parcours ont des poids vifs plus élevés ($P < 0,05$) que ceux conduits en bergerie pour la 2^{ème} (P2), la 3^{ème} (P3) et la 5^{ème} (P5) pesée. Alors qu'il n'y a pas de différence significative au niveau du poids pour la 4^{ème} pesée (P4) entre les deux groupes ($P > 0,05$). Par contre, les poids vifs finaux des animaux sont de l'ordre de $32,40 \pm 2,89$ kg et $29,80 \pm 2,28$ kg respectivement pour les groupes parcours et bergerie. Ceci se traduit par un gain de poids vif plus élevé ($P < 0,001$) pour les agneaux élevés sur le parcours (8,40 kg) par rapport à celui des agneaux du groupe bergerie (6,00 kg). Les résultats obtenus montrent que le mode de conduite a eu un effet significatif sur le gain moyen quotidien (GMQ) des agneaux ($P = 0,002$). Les agneaux conduits sur parcours naturel présentent un GMQ plus élevé (105 g/j) que celui des agneaux du groupe bergerie (84 g/j). Ceci indique que la consommation du *Medicago arborea* améliore significativement l'apport azoté et en conséquence l'efficacité de l'utilisation de l'énergie pour la croissance.

Les valeurs de GMQ obtenues dans notre étude sont supérieures au GMQ de 65 g/j trouvé par Majdoub-Mathlouthi *et al.* (2015) pour des agneaux de race Barbarine élevés sur parcours ou en bergerie et ayant reçu un supplément de 100 g et 300 g d'aliment concentré respectivement ou ceux rapportés par Hamdi (2011) pour des agneaux de race Barbarine élevés sur différents types de parcours dans la région de Sidi Bouzid. Toutefois, ils restent inférieurs à ceux trouvés par Atti et Abdouli (2001). Ainsi, ces auteurs ont montré des performances de croissance de 179 g/j et 120 g/j pour des agneaux de race Barbarine conduits respectivement sur parcours et en bergerie et ayant reçu une complémentation de 400 g d'aliment concentré. Aussi, Atti et Mahouachi (2009) ont rapporté un GMQ de 134 g/j pour les agneaux de race Barbarine conduits sur parcours naturel ou en bergerie. Atti *et al.* (2013) ont trouvé une vitesse de croissance plus élevée pour les agneaux de race Barbarine conduits au pâturage de vesce (184 g/j) en comparaison à ceux élevés en bergerie (130 g/j). Cependant, cette différence semble être liée à différents facteurs notamment l'année, le type et la composition floristique du parcours et la quantité de l'aliment concentré distribuée. En effet, Atti et Abdouli (1997) ont montré que le facteur année a une influence sur la croissance des agneaux. Ces auteurs ont rapporté que pendant une année favorable, la vitesse de croissance des agneaux de race Barbarine conduits sur parcours est plus élevée (144 g/j) que celle des agneaux conduits en bergerie (95 g/j). En effet, lorsque les conditions climatiques sont bonnes, les parcours naturels sont caractérisés par une augmentation de la quantité de biomasse disponible et sa qualité nutritive. De même, Atti et Mahouachi (2011) affirment que lorsque les conditions climatiques sont favorables, la vitesse de croissance des agneaux de race Barbarine conduits sur un parcours de la région nord et recevant 400 g/j d'aliment concentré est plus élevée que celle des agneaux de bergerie qui doivent recevoir 600 g/j d'aliment concentré pour obtenir la même vitesse de croissance. Aussi, cette différence de la vitesse de croissance entre les études pourrait être associée aussi au niveau d'apport de l'aliment concentré qui est différent entre les études mais qui reste modéré et ne dépasse pas les 400 g/j. Ainsi, Majdoub-Mathlouthi *et al.* (2013) ont rapporté une augmentation de la vitesse de croissance de +45 g/j lorsque le niveau d'aliment concentré passe de 200-300 g/j à 400-600 g/j pour des agneaux de race Barbarine élevés en bergerie.

Quant à l'effet de la supplémentation en grignons d'olive (GO), on remarque que les poids vifs des agneaux ont augmenté et d'une façon linéaire sans aucune différence entre les deux lots (sans et avec supplémentation en GO). Ceci est confirmé par l'analyse statistique qui n'a pas montré un effet significatif de la supplémentation en GO sur le poids vif des agneaux pour

toutes pesées effectuées durant la période de l'essai. Ainsi, les agneaux supplémentés ou non en GO ont montré des poids comparables ainsi que des GMQ et des gains du poids similaires (7,02 et 7,39 kg respectivement pour les groupes sans et avec supplémentation en GO). Dans cet essai, les agneaux ont reçu 280 g de GO ce qui représente environ 20% de l'apport de MS totale de la ration sans aucun effet négatif sur le GMQ global des agneaux (94 g/j). Alors, on peut dire que la supplémentation en GO avait probablement remplacé partiellement l'apport du foin d'avoine et du parcours sans aucune modification substantielle dans l'apport en énergie ou d'azote de la ration. En effet, pour les deux lots élevés en bergerie, l'ingestion moyenne du foin d'avoine était de 436 et 584 g MB/j soit 403,4 et 540,3 g MS/j respectivement pour lots bergerie + GO et bergerie (Tableau 22). Ceci indique une différence d'ingestion de foin d'avoine de 136,9 g MS/j entre les deux lots. En supposant que la quantité moyenne de concentré distribuée pour le lot bergerie + GO est bien ingérée (377,5 g/j), alors la quantité moyenne de GO ingérée est de l'ordre de 157,9 g MS/j soit 17,21% MS de la ration. Cette valeur est donc proche de la valeur estimée (20% MS ration).

Ainsi, Mioč et al. (2007) et Molina-Alcaide et Yáñez-Ruiz, (2008) affirment qu'avec un taux d'incorporation de GO de l'ordre de 20 à 25% dans la ration n'a aucun effet sur les performances des agneaux. Ceci est en accord avec les résultats trouvés par Al-Jassim et al. (1997) qui ont montré que la substitution de l'orge par 0, 10, 20 et 30% de GO traitées à l'urée n'a pas eu d'effet sur les performances de croissance des agneaux de race Awassi. Aussi, Shdaifat et al. (2013) ont trouvé que le gain de poids et la production laitière des chèvres de race Awassi n'ont pas été affectés avec l'incorporation de 20% de GO dans la ration. Ainsi, Mioč et al. (2007) ont montré que la substitution du maïs par 15% de GO dans l'aliment concentré n'a pas eu d'effet sur le GMQ des agneaux de race Pramenka. Par contre, ces auteurs ont trouvé que la vitesse de croissance a diminué avec un taux de substitution de 30% de GO. Des taux de substitution supérieurs à 25%, augmentent surtout le niveau d'ADL dans la ration, et semblent ainsi affecter négativement l'ingestion et la digestibilité des rations. En effet, Al-Jassim et al. (1997) ont rapporté une diminution de la digestibilité de la matière organique de la ration contenant des GO en comparaison à celle sans GO. Aussi, ces auteurs ont montré que l'incorporation de GO à 10 ou 20% n'a pas eu d'effet sur la digestibilité de la matière organique qui diminue avec un taux d'incorporation de 30%.

Les performances de croissance des agneaux supplémentés ou non en GO n'ont pas été affectées. Ceci indique que les GO peuvent être utilisés, avec des taux d'incorporation bien étudiés, dans les rations des agneaux en croissance élevés sur parcours ou en bergerie sans

affecter le niveau de production. L'incorporation des grignons en alimentation animale présente un double intérêt, la réduction des coûts de production et la diminution de la pollution.

Tableau 22: Effets de la supplémentation en grignons d'olive sur l'ingestion des agneaux conduits en bergerie ou sur parcours (g MB/j)

	Bergerie	Bergerie +GO	Parcours	Parcours + GO
Ingestion (g MB/j)				
Foin	584	436	-	-
Aliment concentré + GO	377,5*	599,7	377,5*	610,5
Total	964	1035,7	-	-

* : Aliment concentré distribué seul

4. Qualité de la carcasse

4.1. Poids et rendements de la carcasse et pourcentages des abats

Les agneaux des différents groupes avaient le même poids vif final (32,55 kg en moyenne). Toutefois, et après mise à jeun, le poids vif d'abattage est affecté ($P < 0,01$) par le mode de conduite (Tableau 23). Les agneaux du groupe parcours ont montré un poids vif à l'abattage supérieur de +1,62 kg ($P < 0,01$) par rapport à ceux du groupe bergerie. Le mode de conduite n'a pas eu d'effet ($P > 0,05$) sur les poids de la carcasse chaude (PCC; 13,72 kg) et froide (PCF; 13,25 kg). Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Díaz et al. (2002) et Majdoub-Mathlouthi et al. (2015) qui ont montré que les poids des carcasses n'ont pas changé avec le mode de conduite. Par contre, nos résultats sont différents à ceux rapportés par Priolo et al. (2002b), Carrasco et al. (2009), Joy et al. (2008) et Jacques et al. (2011) qui ont montré que les carcasses des agneaux élevés en bergerie sont plus lourdes que celles des agneaux conduits sur parcours. Cette différence des résultats entre les études semble être liée aux poids à l'abattage différents. Ainsi, Abdullah et Qudsieh (2008) et Alexandre et al. (2008) affirment que plus le poids à l'abattage augmente, plus le poids et le rendement de la carcasse sont importants.

Tableau 23: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur les poids, les rendements de la carcasse et les pourcentages des abats des agneaux (n=6)

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Poids vif initial (kg)	24,14	24,38	24,03	24,49	0,216	0,594	0,316	0,544
Poids d'abattage (kg)	29,54	31,16	30,04	30,66	0,290	0,003	0,212	0,672
PCC (kg)	13,78	13,65	13,51	13,91	0,117	0,557	0,088	0,194
PCF (kg)	13,33	13,18	13,03	13,48	0,127	0,532	0,071	0,120
Poids CTD (kg)	4,100	5,855	4,733	5,233	0,238	<0,0001	0,097	0,0915
Rdt vrai (%)	54,19	54,12	53,38	54,88	0,627	0,956	0,284	0,870
Rdt commercial (%)	45,14	42,35	43,43	44,06	0,522	0,0053	0,482	0,258
Total des abats (%)	13,19	12,55	12,78	12,96	0,357	0,222	0,732	<0,0001
TDV	9,08	8,02	8,57	8,53	0,202	0,0023	0,901	0,0074
Cœur	0,42	0,50	0,46	0,46	0,021	0,016	1	0,0008
Rate	0,29	0,33	0,31	0,31	0,030	0,522	0,965	0,106
Poumons	1,41	1,48	1,39	1,50	0,079	0,577	0,426	0,0028
Foie	1,34	1,44	1,34	1,42	0,085	0,408	0,605	<0,0001
Rein	0,23	0,26	0,25	0,25	0,01	0,067	0,867	<0,0001
Testicules	0,41	0,50	0,44	0,48	0,034	0,137	0,452	0,0032

ESM : Erreur standard de la moyenne ; MC : mode de conduite ; S : Supplémentation en grignons d'olive; DE: durée d'engraissement ; GMQ : gain moyen quotidien ; PCC : Poids carcasse chaude ; PCF : Poids carcasse froide ; Rdt : Rendement ; CTD : contenu du tube digestif ; TDV : tube digestif vide ; Abats= poids (Tube digestif vide + cœur + rate + poumons + foie + reins + testicules) ; TDV : Tube digestif vide

Le rendement commercial a varié avec le mode de conduite ($P < 0,01$) alors qu'aucune différence significative n'apparaît entre les deux groupes concernant le rendement vrai de la carcasse (54,16%). Les agneaux élevés en bergerie ont montré un rendement commercial plus élevé (45,14%) que ceux élevés sur parcours (42,35%) et comparable aux résultats obtenus par Jacques et al. (2011) et Majdoub-Mathlouthi et al. (2015). Cette différence du rendement commercial pourrait s'expliquer par la différence du poids d'abattage et la différence du poids du contenu digestif. En effet, le poids du contenu digestif est plus élevé ($P < 0,0001$) dans le cas des agneaux élevés sur parcours. Egalement, Carrasco et al. (2009), Joy et al. (2008) et Jacques et al. (2011) ont rapporté un rendement commercial plus élevé pour les agneaux élevés en bergerie en comparaison à ceux élevés au pâturage.

Il apparaît du tableau 23 que le mode de conduite n'a pas eu un effet ($P > 0,05$) sur la part du total des abats (12,87%). Par contre, le mode de conduite a affecté le pourcentage du tube

digestif ($P < 0,01$). Ainsi, la part du tube digestif est plus élevée de 1,06% avec la conduite des agneaux en bergerie. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Díaz et al. (2002), Priolo et al. (2002b) et Majdoub-Mathlouthi et al. (2015). Alors qu'aucune différence n'a été observée pour la part des abats rouges avec le mode de conduite, à l'exception de celles du cœur qui est plus élevée ($P = 0,004$) de 0,08% et celle des reins qui tend ($P = 0,067$) à être supérieure chez les agneaux conduits sur parcours. Karim et al. (2007) et Majdoub-Mathlouthi et al. (2015) ont montré que l'alimentation des agneaux sur le parcours n'a pas eu d'effets sur les parts des abats à l'exception de celles du foie, du cœur et des reins qui ont été plus élevées. Ces parts élevées pourraient s'expliquer par l'activité physique et métabolique plus élevée chez les agneaux sur parcours. En effet, le foie et les reins des agneaux élevés sur parcours pourraient être plus sollicités à l'élimination des composés toxiques.

Les agneaux supplémentés avec GO avaient une tendance ($P < 0,10$) d'avoir des PCC et PCF supérieurs respectivement de 0,40 kg et 0,50 kg à celles des agneaux non supplémentés en GO. Par contre, aucune différence ($P > 0,05$) n'est observée pour les rendements vrai et commercial (54,35% et 43,75%, respectivement). De même, Mioč et al. (2007) ont souligné que la substitution du maïs par 15% de GO dans l'aliment concentré n'a pas eu un effet sur les caractéristiques des carcasses d'agneaux. Par contre, ces auteurs ont également constaté une diminution du poids final des agneaux ainsi que le poids et le rendement commercial des carcasses suite à un taux de substitution de 30% de GO. Nos résultats sont différents de ceux de Vera et al. (2013). Ainsi, ces auteurs ont montré une augmentation du rendement vrai de la carcasse (52 vs. 51%) pour les agneaux nourris avec un aliment concentré contenant 32% de grignons d'olive. Aussi, les poids du tube digestif plein et son contenu (CTD) tendent ($P < 0,10$) à être plus élevés pour les agneaux supplémentés en GO en raison probablement à la teneur élevée en ADL (34,59%) déterminée au niveau des GO (Tableau 20). Par ailleurs, les proportions des abats n'ont pas été affectées par la supplémentation en GO, ce qui est en accord avec les résultats de Momani Shaker et al. (2003) pour des agneaux recevant une ration contenant 25% de GO et d'Abo Omar et al. (2012) pour des agneaux nourris avec différentes formes de GO.

Les résultats présentés dans le tableau 23 montrent des interactions significatives ($P < 0,05$) entre le mode de conduite et la supplémentation en GO pour les part du total des abats, du tube digestif vide et les abats rouges à l'exception de celle de la rate. Ainsi, les agneaux conduits sur parcours et supplémentés en GO présentent les parts élevées pour le total des abats (13,87 vs. 12,02%), le cœur (0,57 vs. 0,36%), les poumons (1,76 vs. 1,23%), le foie

(1,78 vs.1,06%), les reins (0,29 vs.0,29%) et les testicules (0,62 vs. 0,34%) par rapport ceux élevés en bergerie et supplémentés en GO.

4.2. Conformation des carcasses

Les effets du mode de conduite et de la supplémentation en GO sur les critères utilisés pour l'évaluation de l'état de la conformation des carcasses sont présentés dans le tableau 24.

Tableau 24: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur les mesures linéaires de conformation de la carcasse des agneaux

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Périmètre bassin (cm)	54,64	56,58	55,37	55,85	0,418	0,013	0,514	0,072
Rondeur cuisse (cm)	34,75	36,00	35,04	35,70	0,397	0,119	0,396	0,291
Longueur cuisse (cm)	37,16	38,66	37,33	38,50	0,374	0,018	0,059	0,169
Profondeur poitrine (cm)	26,79	27,45	26,54	27,70	0,262	0,174	0,022	0,603
LIC (cm)	57,45	58,58	58,58	57,45	0,39	0,101	0,101	0,016
LEC (cm)	77,75	79,2	78,5	78,45	0,751	0,282	1	0,0081
IC cuisse (g/cm)	53,50	53,68	54,2	52,98	1,029	0,909	0,460	0,0006
IC carcasse (g/cm)	232,09	225,65	222,81	234,92	3,089	0,217	0,026	0,015

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive; LIC: Longueur interne de la carcasse; LEC: Longueur externe de la carcasse; IC: Indice de la compacité

Les résultats obtenus montrent que le mode de conduite n'a pas eu d'effets sur la conformation des carcasses, à l'exception du périmètre du bassin ($P < 0,05$) et de la longueur de la cuisse ($p < 0,05$). Ceci pourrait s'expliquer par l'activité physique importante associée au pâturage ce qui a entraîné, dans notre étude, une ossature plus développée des membres postérieurs des agneaux du groupe parcours. Sañudo et al. (1998) ont souligné que le facteur alimentation d'une façon générale a peu d'effet sur la conformation de la carcasse des agneaux. La race reste le premier facteur déterminant de ces variations de la conformation des carcasses. Aussi, Prache et al. (2009), en comparant deux modes de conduite ont montré qu'il n'y a pas de différence significative de la conformation entre les agneaux d'herbe et les agneaux de bergerie. De même, Blanco et al. (2010) ont montré que la conduite des taureaux au pâturage à base de luzerne ou en bergerie avec régime à base d'aliment concentré n'a pas affecté la conformation de la carcasse. Par contre, Carrasco et al. (2009) ont montré que les

carcasses des agneaux de bergerie présentent une meilleure conformation que celles des agneaux de pâturage.

Quant aux indices de compacité, Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) n'ont pas montré d'effet significatif du mode de conduite sur les indexes de compacité de la carcasse et de la cuisse. Les valeurs obtenues dans notre étude pour les indexes de compacité de la carcasse (228,87 g/cm) et de la cuisse (53,75 g/cm) sont plus faibles que celles rapportées par ces auteurs pour la même race des agneaux élevés soit en bergerie soit sur un parcours naturel de la région de Sidi Bouzid et abattus à 38 kg de poids vifs. Ceci est probablement dû à la différence au niveau du poids d'abattage. En effet, la conformation est plus importante pour les agneaux lourds. En outre, Laville et *al.* (2002) ont constaté que l'amélioration de la conformation de la carcasse est liée essentiellement à une augmentation du rendement de carcasse et du rendement musculaire.

La supplémentation en GO a eu un effet significatif seulement sur la profondeur de la poitrine et l'indice de compacité de la carcasse ($P < 0,05$). En effet, les carcasses des agneaux supplémentés en GO montrent une profondeur de poitrine plus grande (+1,16 cm) et un indice de compacité de la carcasse plus élevé (+12,11 g/cm) par rapport à celles des agneaux non supplémentés en GO. Par contre, ces derniers tendent ($P = 0,059$) à avoir une cuisse plus courte (37,33 vs. 38,50 cm). De même, Momani Shaker et *al.* (2003) ont trouvé que l'utilisation des GO dans les blocs alimentaires pour l'alimentation des agneaux n'a pas eu une influence sur la conformation de la carcasse. Des interactions significatives ($P < 0,05$) entre le mode de conduite et la supplémentation en GO ont été déterminées pour la longueur interne et externe de la carcasse et les indices de la compacité de la cuisse et la carcasse. Ainsi, les agneaux du groupe parcours et ayant reçu la supplémentation en GO ont des carcasses plus courtes (57,16 vs. 57,75 cm et 77,25 vs. 79,66 cm respectivement pour la longueur interne et la longueur externe de la carcasse) et des indices de compacité (56,36 vs. 49,60 g/cm et 238,39 vs. 231,45 g/cm respectivement pour les indices de compacité de la cuisse et de la carcasse) plus élevés en comparaison à ceux du groupe bergerie et recevant des GO.

4.3. Etat d'engraissement

Les effets du mode de conduite et de la supplémentation en GO sur les paramètres utilisés pour évaluer l'état d'engraissement des agneaux sont indiqués dans le tableau 25.

Tableau 25: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur l'état d'engraissement de la carcasse des agneaux

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Epaisseur du gras (mm)	2,84	1,73	2,29	2,28	0,162	0,0001	0,958	0,392
Poids gras péri-rénal (g)	88,08	65,85	72,80	85,12	5,67	0,056	0,186	0,003
Poids gras caudal (g)	919,27	679,43	814,27	784,43	40,19	0,0004	0,611	0,015

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive

Le mode de conduite a eu une influence sur les paramètres mesurés pour l'évaluation de l'état d'engraissement des agneaux (Tableau 25). Ainsi, les carcasses des agneaux élevés en bergerie présentent un gras de couverture plus épais de +0,90 mm ($P < 0,001$) que celles des agneaux élevés sur parcours. Aussi, la conduite des agneaux en bergerie a permis d'avoir un poids du gras caudal ($P < 0,001$) plus élevé de 35,30% par rapport à la conduite des agneaux sur parcours. Le poids du gras péri-rénal tend ($P = 0,056$) à augmenter avec la conduite des agneaux en bergerie. Toutefois, l'état d'engraissement des carcasses des agneaux élevés en bergerie reste acceptable.

Priolo *et al.* (2002b), Jacques *et al.* (2011) et Majdoub-Mathlouthi *et al.* (2015) ont rapporté que les agneaux conduits au pâturage avaient une faible adiposité par rapport à ceux élevés en bergerie. Ainsi, Borton *et al.* (2005) et Karim *et al.* (2007) affirment que la faible adiposité des carcasses des agneaux d'herbe semble être liée au faible apport d'énergie et à l'activité physique importants associés au pâturage. Dans notre étude, bien que les GMQ obtenus pour les agneaux du groupe parcours soient plus élevés à ceux de bergerie, leurs carcasses étaient moins grasses. Ceci pourrait être expliqué par l'activité physique plus élevée exercée par les animaux lors du pâturage (Priolo *et al.*, 2002b). Aussi, ce résultat laisse supposer que la présence de *Medicago arborea* a augmenté l'apport azoté pour le groupe du parcours, vu que les agneaux des deux groupes recevaient la même quantité de concentré, ce qui semble améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'énergie pour la synthèse protéique au niveau du muscle au lieu du dépôt du gras.

Les valeurs moyennes pour l'épaisseur du gras sont comparables à celles (1,90 et 2,26 mm) trouvées par Hamdi (2011) pour des agneaux de race Barbarine élevés sur deux types de parcours, recevant 400 g d'aliment concentré et abattus à un poids vif moyen de 35 kg. Majdoub-Mathlouthi *et al.* (2013) ont montré que le poids du gras péri-rénal varie de 102,9 g

à 167,5g et celui du gras caudal varie de 1,200 kg à 1,700 kg, ainsi ces valeurs sont supérieures à nos valeurs. Toutefois, cette différence pourrait s'expliquer par les poids d'abattage qui sont différents entre ces travaux. En effet, selon Abdullah et Qudsieh (2008) et Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2013) le pourcentage de la queue augmente avec le poids d'abattage. Globalement, pour tous les traitements alimentaires, la valeur moyenne de l'épaisseur du gras de couverture (2,29 mm) indique que les agneaux sont maigres. Toutefois, les agneaux ne sont pas encore bien finis vu que le parcours est devenu relativement pauvre. Toutefois, il est à souligner que dans notre étude, les agneaux ont été abattus au début de la saison estivale (début juillet) à un poids vif de 33 kg en raison de l'apport limité du parcours pour cela il n'était pas possible de les finir sur ce parcours. Ceci montre bien une des contraintes de la durabilité du système pastoral en Tunisie. En effet, l'utilisation du couvert végétal naturel est limitée dans le temps à cause des conditions climatiques difficiles. L'alimentation des ovins durant la période estivale est basée essentiellement sur les chaumes et les jachères avec une utilisation relative des résidus de récolte et certains sous-produits agro-industriels. Cette situation «oblige» l'éleveur à engraisser et/ou finir les agneaux en bergerie avec un apport élevé d'aliment concentré en raison de la mauvaise qualité des foin ce qui pourrait conduire à la disparition progressive d'un produit de qualité «viande d'agneau de race Barbarine élevé sur parcours». Dans ce contexte, le recours à certaines stratégies alimentaires (blocs alimentaires, ensilage des sous-produits agro-industriels,...) est recommandé (Ben Salem, 2011). Aussi, Atti et Ben Salem (2008) affirment que l'application d'une restriction alimentaire pendant la période estivale suivie d'une réalimentation, lorsque les conditions sont favorables, constitue une alternative pour produire une viande d'agneau de qualité. Ainsi, ces auteurs ont rapporté que l'application d'une restriction d'aliment concentré a eu un impact sur la qualité de la carcasse. En effet, les agneaux pour lesquels ils ont réalisé la restriction, ont montré des carcasses plus maigres.

Quant à l'effet de la supplémentation en GO, aucune différence ($P > 0,05$) n'est observée pour les paramètres de l'état d'engraissement qui semble être identique entre les deux groupes (sans et avec supplémentation). Ces résultats sont similaires à ceux de Momani Shaker et *al.* (2003) et Vera et *al.* (2013) qui n'ont rapporté aucun effet de l'utilisation des grignons d'olive dans l'alimentation des agneaux sur l'épaisseur du gras de couverture. Alors, on peut conclure que dans cet essai, la supplémentation en GO avait probablement remplacé partiellement l'apport du foin d'avoine et du parcours sans aucune modification substantielle dans l'apport en énergie ou en azote.

4.4. Couleur du gras de couverture

La couleur du gras de couverture est un critère important puisqu'il intervient dans la détermination de la valeur commerciale de la carcasse et dans la décision d'achat du consommateur. D'une façon générale, un gras de qualité est un gras ferme et de couleur claire. Les effets du mode de conduite et de la supplémentation en GO sur les composantes de la couleur du gras de couverture sont présentés dans le tableau 26.

Tableau 26: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la couleur du gras de couverture des agneaux

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Luminance (L*)	73,69	73,62	74,75	72,56	0,556	0,947	0,056	0,644
Indice de rouge (a*)	2,54	2,66	2,08	3,11	0,376	0,873	0,189	0,454
Indice de jaune (b*)	8,85	9,92	8,90	9,87	0,508	0,259	0,304	0,027

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive

Le mode de conduite n'a pas eu d'effet sur toutes les composantes de la couleur du gras de couverture ($P > 0,05$). Ces résultats sont en accord avec les résultats présentés par Majdoub-Mathlouthi *et al.* (2015), mais différents de ceux de Díaz *et al.* (2002) qui ont trouvé une luminosité (L*) supérieure et un indice de jaune plus élevé du gras de couverture pour les agneaux élevés au pâturage par rapport à celui des agneaux élevés en bergerie. Aussi, Priolo *et al.* (2002b) et Joy *et al.* (2008) ont également rapporté un gras de couverture plus jaune pour les agneaux élevés avec des régimes alimentaires à base de fourrages. Ainsi, la couleur jaune du gras déterminée pour les agneaux d'herbe est principalement liée à la présence des pigments de caroténoïdes déposés dans la graisse suite à la consommation des animaux d'herbe ou des fourrages verts (Yang *et al.*, 1992; Prache *et al.*, 2003; Carrasco *et al.*, 2009). Ces auteurs ont montré que la quantité de caroténoïdes stockée dans la graisse augmente avec le pâturage et les fourrages verts qu'avec les régimes à base de céréales ou du concentré. Dans cet essai, l'absence d'effet de la conduite sur parcours sur la couleur du gras de couverture semble être liée au type d'herbe. En effet, la composition botanique du parcours est caractérisée par une faible contribution des espèces à fleurs reconnues par leur teneur élevée en caroténoïdes.

La supplémentation en GO a eu un effet significatif ($P < 0,05$) seulement sur la luminance (L^*), alors qu'aucune différence n'est observée pour les autres composantes de la couleur. Les agneaux non supplémentés en GO avaient un gras de couverture plus clair ($L^* = 74,75$) que ceux supplémentés en GO ($72,56$). Ceci semble être lié surtout à la présence d'une teneur élevée en chlorophylle et en caroténoïdes dans les huiles des grignons d'olive (Rodrigues et al., 2015). En outre, Molina-Alcaide et Yáñez-Ruiz (2008) rapportent que les grignons d'olive contiennent environ 7,80% d'huile résiduelle. Aussi, Ghanbari et al. (2012) ont rapporté que les GO sont riches en bêta-caroténoïdes (lutéine et caroténoïdes), qui peuvent être responsables de l'augmentation de la coloration du gras pour les agneaux de bergerie mais pas pour les agneaux élevés sur parcours. Une interaction significative ($P = 0,027$) entre le mode de conduite et la supplémentation en GO pour la composante b^* indique que la supplémentation en GO a augmenté la coloration jaune du gras pour les agneaux élevés en bergerie par rapport à ceux élevés sur parcours ($b^* = 10,43$ vs. $9,31$).

4.5. Rendement à la découpe

Les effets du mode de conduite et de la supplémentation en GO sur le rendement des morceaux de découpe sont indiqués dans le tableau 27.

Tableau 27: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur le rendement à la découpe des carcasses dépourvues de queue des agneaux (%)

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Cuisse	32,57	33,68	33,32	32,93	0,353	0,110	0,57	0,107
Jarret arrière	8,11	7,77	8,05	7,83	0,185	0,302	0,500	0,006
Culotte	24,46	25,90	25,26	25,10	0,448	0,076	0,833	0,0135
Longe	8,45	7,94	8,31	8,07	0,182	0,164	0,506	0,220
Région abdominale	6,34	6,04	6,11	6,26	0,185	0,434	0,693	0,485
Collier et thorax	34,04	33,17	33,46	33,75	0,336	0,214	0,673	0,378
Épaule	18,58	19,16	18,78	18,96	0,219	0,152	0,651	0,018
Membre thoracique	15,33	15,58	15,38	15,54	0,186	0,492	0,660	0,054
Jarret avant	3,24	3,57	3,4	3,42	0,056	0,0002	0,795	0,0014
Morceaux nobles	59,61	60,78	60,42	59,97	0,321	0,074	0,484	0,596
Queue	7,46	5,75	6,77	6,44	0,289	0,0006	0,452	0,023

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive; morceaux nobles (cuisse + longe + épaule)

D'après le tableau 27, on remarque que le mode de conduite a peu d'effets sur le rendement des morceaux de découpe. En effet, la part des morceaux nobles (cuisse + longe + épaule) tend ($P=0,074$) à augmenter avec la conduite des agneaux sur parcours (60,78 vs. 59,61%). En effet, aucune différence n'a été observée ($P>0,05$) pour les parts des différents morceaux de découpe ($P>0,05$), à l'exception de la proportion du jarret avant qui a été plus élevée pour les agneaux du groupe parcours (3,57 vs. 3,24%) et la part de la culotte qui tend ($P=0,076$) à augmenter avec la conduite des agneaux sur parcours (25,90 vs. 24,46%). Ces résultats sont en accord avec ceux de Díaz et al. (2002) et Karim et al. (2007) qui ont rapporté que les parts des morceaux de découpe ont été légèrement affectées par différents modes de conduite des agneaux. Globalement, les parts des différents morceaux de découpe sont comparables à celles trouvées par Said (2009) et Majdoub-Mathlouthi et al. (2015) pour des agneaux de race Barbarine élevés en bergerie et sur un parcours naturel de la région de Sidi Bouzid. Aussi, ces résultats sont comparables à ceux de Hamdi (2011) pour des agneaux de même race élevés sur deux types de parcours dans la région de Sidi Bouzid et abattus à un poids moyen de 35 kg. En ce qui concerne les morceaux nobles de la carcasse, les proportions moyennes de la cuisse, l'épaule et la longe étaient respectivement de 33,12%, 18,87% et 8,19% du poids de la carcasse totale. Ces valeurs sont similaires à celles rapportées par Karim et al. (2007) et

Alexandre et *al.* (2008). Ainsi, la part des morceaux nobles est en moyenne de 60,20% de la carcasse ce qui représente une part importante et elle est comparable à 59 % et 60,37% trouvées par Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2013 et 2015) pour des agneaux de race Barbarine élevés selon différentes conduites alimentaires. Pour la race Barbarine, Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2013) ont rapporté une baisse de la part de la cuisse et une augmentation de celle de la longe ce qui fait que la part des morceaux nobles n'a pas été modifiée.

Par contre, la part de la queue a augmenté ($P < 0,001$) de 1,71% avec la conduite des agneaux en bergerie. Elle représente 5,75% et 7,46% respectivement pour les agneaux de parcours et de bergerie. Ces pourcentages montre bien l'importance du poids de la queue de la race Barbarine qui représente une forme de réserves lipidiques notamment pour les agneaux conduits sur parcours. En outre, la race Barbarine présente une particularité de la queue grasse qui lui permet la possibilité de déposer et de mobiliser les réserves lipidiques lorsque les conditions sont défavorables (Atti et Mahouachi, 2011). Les valeurs obtenues pour la part de la queue sont dans la fourchette (de 6 à 15% du poids de la carcasse totale) donnée par Khaldi (1989).

La supplémentation en GO n'a montré aucun effet sur les proportions de différents morceaux de découpe de la carcasse ($P > 0,05$) ce qui est en accord avec les résultats trouvés par Momani Shaker et *al.* (2003). Alors, ces résultats pourraient s'expliquer par la vitesse de croissance similaire déterminée pour les agneaux supplémentés ou non en GO.

4.6. Rendement au désossage

Les résultats des rendements au désossage ou rendement en viande ((muscle + tissu adipeux) / poids de la carcasse) des morceaux de découpe et de la carcasse sont présentés dans le tableau 28. Ce rendement représente un critère déterminant de la valeur commerciale des morceaux et de la carcasse essentiellement pour le boucher.

Tableau 28: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur le rendement de viande dans les morceaux de découpe et la carcasse des agneaux (%)

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Cuisse	80,46	80,08	80,86	80,69	0,240	0,0032	0,680	1
Jarret arrière	72,52	67,81	70,59	69,75	0,767	0,0007	0,487	0,136
Culotte	84,29	83,65	84,05	83,89	0,216	0,159	0,716	0,807
Longe	79,29	77,59	77,87	79,01	0,391	0,021	0,115	0,317
Collier et thorax	76,17	75,48	75,79	75,86	0,547	0,559	0,953	1
Épaule	80,01	78,63	79,17	79,47	0,282	0,013	0,560	0,389
Membre thoracique	84,47	83,11	83,68	83,9	0,267	0,0107	0,653	0,760
Jarret avant	58,91	59,10	58,65	59,36	0,377	0,807	0,355	0,154
Morceaux nobles	80,70	79,30	79,91	80,09	0,229	0,0013	0,652	0,823
Carcasse	80,32	79,29	79,74	79,87	0,296	0,096	0,81	1

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive

Les carcasses des agneaux du groupe bergerie avaient une tendance ($P < 0,10$) à avoir un rendement en viande supérieur (80,32%) à celles des agneaux du groupe parcours (79,29%). Aussi, Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) ont montré que la part de la viande de la carcasse est en moyenne de 81,55% et elle est similaire entre les deux modes de conduite des agneaux de race Barbarine. Les résultats obtenus montrent que le mode de conduite a eu un effet sur le rendement en viande pour la majorité des morceaux de découpe de la carcasse ($P < 0,05$). Ainsi, les carcasses des agneaux de bergerie ont montré des rendements en viande plus élevés de 0,38% ; 1,70% et 1,38% respectivement pour la cuisse, le jarret arrière, la longe et l'épaule. Aussi, la part de la viande dans les morceaux nobles est plus élevée ($P = 0,0013$) avec la conduite des agneaux en bergerie (80,70 vs. 79,30%) par rapport à celle des agneaux sur parcours. Les rendements en viande pour la culotte (83,97%), le collier et thorax (75,83%) et le jarret avant (59%) n'ont pas été modifiés avec le mode de conduite.

A un même poids d'abattage, cette différence déterminée dans la part de la viande entre les deux groupes semble être liée au faible état d'engraissement observé chez les agneaux du parcours en raison de l'activité physique importante ce qui réduit le dépôt du gras pour ces agneaux. Cependant, la supplémentation en OG n'a pas eu une influence ($P > 0,05$) sur la part de la viande des morceaux de découpe et de la carcasse.

4.7. Composition tissulaire des morceaux de découpe et de la carcasse

Les effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la composition tissulaire des morceaux de découpe sont présentés dans le tableau 29. La race Barbarine est caractérisée par une grosse queue par rapport aux autres races ovines à viande en Tunisie (Queue Fine de l'Ouest et Noire de Thibar). Alors, il nous apparaît intéressant de déterminer la composition tissulaire des carcasses avec et sans gras caudal (Tableau 30).

Tableau 29: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la composition tissulaire des morceaux de découpe de la carcasse des agneaux (%)

Morceaux		Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
		Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Cuisse	Muscle	63,91	67,00	65,22	65,69	0,442	<0,0001	0,450	0,203
	Gras	17,54	13,07	15,63	14,99	0,567	<0,0001	0,334	0,224
	Os	17,57	18,99	18,22	18,35	0,228	0,001	0,724	0,842
Jarret arrière	Muscle	60,03	59,28	59,17	60,14	0,519	0,481	0,362	0,212
	Gras	12,49	8,53	11,41	9,61	0,524	<0,0001	0,0038	0,379
	Os	25,55	29,91	27,20	28,26	0,728	0,0009	0,358	0,133
Région abdominale	Muscle	69,21	73,55	71,35	71,41	0,889	0,015	0,974	0,758
	Gras	29,54	25,44	27,45	27,53	0,810	0,011	0,959	0,936
Collier et thorax	Muscle	53,68	54,43	54,73	53,38	0,635	0,572	0,314	0,967
	Gras	22,49	21,04	21,05	22,48	0,528	0,177	0,184	0,961
	Os	21,57	22,36	22,07	21,87	0,533	0,492	0,861	1
Epaule	Muscle	64,56	66,10	65,65	65,02	0,365	0,036	0,374	0,745
	Gras	15,44	12,52	13,52	14,44	0,461	0,0005	0,208	0,760
	Os	18,45	19,62	19,25	18,82	0,261	0,023	0,382	0,308
Morceaux nobles	Muscle	63,59	66,33	64,92	65,00	0,358	<0,0001	0,864	0,419
	Gras	17,11	12,97	14,99	15,09	0,500	<0,0001	0,862	0,396
	Os	18,20	19,52	18,99	18,72	0,213	0,001	0,455	0,725

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive

La part de déchets (100 - (% muscle + % gras + % os)) n'est pas indiquée dans le tableau.

Les résultats obtenus de la dissection manuelle des morceaux de la carcasse montrent que le mode de conduite a affecté la composition tissulaire des différents morceaux de découpe ($P < 0,05$). Ainsi, les carcasses des agneaux du groupe parcours présentent des parts plus élevées en muscle de 3,09% ; 4,11% ; 4,34% ; 1,54% et 2,74% respectivement pour la cuisse,

la longe, la région abdominale, l'épaule et les morceaux nobles par rapport à celles des agneaux du groupe bergerie. Pour ces mêmes morceaux, les carcasses des agneaux élevés sur parcours montrent une proportion plus faible en tissu adipeux et une part plus élevée en os par rapport à celles des agneaux du groupe bergerie. Alors qu'aucune différence significative n'apparaît entre les deux modes de conduite pour la composition tissulaire du collier et thorax ($P > 0,05$). Ceci s'est traduit par des pourcentages de muscle plus élevés pour les carcasses avec queue (55,85 vs. 52,02%) et les carcasses sans queue (62,97 et 60,61%) pour les agneaux élevés sur parcours en comparaison à ceux du groupe bergerie qui ont montré des carcasses plus grasses ($P < 0,0001$; Tableau 30). Ces résultats semblent être liés à l'activité physique importante associée au pâturage qui pourrait être à l'origine de la diminution du dépôt du gras et le développement du squelette. En effet, Hocquette et *al.* (1992) affirment que les animaux de pâturage ont des dépenses énergétiques plus élevées pour le déplacement et/ou la thermorégulation ce qui contribue à un dépôt du gras plus faible. Aussi, McClure et *al.* (1994), Cañeque et *al.* (2003) Borton et *al.* (2005), Karim et *al.* (2007) et Atti et Mahouachi (2009) ont rapporté que les carcasses des agneaux de pâturage sont plus maigres que celles des agneaux de bergerie.

Nos résultats montrent que, bien que les agneaux du groupe parcours aient une vitesse de croissance plus élevée que ceux du groupe bergerie, les morceaux de la carcasse de ces derniers étaient plus grasses. Ainsi, avec un apport moyen en aliment concentré (400 g/j) pour les deux systèmes alimentaires, la conduite des agneaux sur parcours favorise probablement la synthèse musculaire au lieu du dépôt du gras. Par contre, la conduite en bergerie favorise le développement du tissu adipeux. Cette différence semble être liée aux apports protéiques différents des deux rations de base (parcours vs. foin d'avoine). Les deux groupes ayant reçu la même quantité de concentré. En effet, Lebret et *al.* (2015) affirment qu'une alimentation pauvre en azote par rapport à son apport en énergie réduit la vitesse de croissance des agneaux et favorise le stockage d'énergie sous forme de lipides.

Quelque soit le mode de conduite, les parts du gras représentent 27,30% et 18,01% respectivement pour les carcasses avec et sans queue. Cependant, cette différence de la part du gras (9,29%) montre bien l'importance de la queue pour la race Barbarine. Ainsi, selon Atti et *al.* (2004) et Abdullah et Qudsieh (2008), les races ovines à grosse queue semblent déposer la graisse surtout dans la queue, puis sur la carcasse (gras de couverture et gras intermusculaire).

Quant à l'effet de la supplémentation en GO sur la composition tissulaire, on remarque que les proportions de différents tissus des morceaux de découpe n'ont pas été affectées par la supplémentation ($P>0,05$). Seulement, la part du gras dans le jarret arrière ($P<0,01$) et le pourcentage d'os dans la longe ($P= 0,053$) qui ont diminué avec la supplémentation en GO. Et comme conséquent, la composition tissulaire des carcasses avec et sans queue n'a pas changé avec la supplémentation en GO ($P>0,05$). Cependant, Abo Omar et *al.* (2012) ont trouvé que l'utilisation des grignons sous différentes formes (entier, traités aux alcalis, ensilage) n'a pas montré d'effet sur les pourcentages du muscle et d'os des carcasses des agneaux de race Awassi. Mais, ces auteurs ont montré seulement un effet significatif du type de grignons sur la composition des carcasses en gras.

Tableau 30 : Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la composition tissulaire des carcasses des agneaux (%)

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Carcasse avec queue								
Muscle	52,02	55,85	54,00	53,87	0,563	0,0001	0,869	0,149
Gras	30,01	24,58	27,25	27,33	0,720	<0,0001	0,932	0,115
Os	15,61	17,05	16,40	16,26	0,278	0,0086	0,784	0,557
Carcasse sans queue								
Muscle	60,61	62,97	62,01	61,57	0,402	0,0021	0,524	0,551
Gras	19,71	16,31	17,72	18,30	0,450	<0,0001	0,334	0,540
Os	18,18	19,23	18,82	18,59	0,282	0,073	0,687	0,970

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive

La part de déchets (100 - (% muscle+ % gras+ % os)) n'est pas indiquée dans le tableau.

5. Caractéristiques musculaires de la viande

Les caractéristiques musculaires (types de fibres musculaires, activités métaboliques des fibres et teneur et solubilité du collagène) présentent une importance majeure dans la détermination de la qualité de la viande. Les résultats obtenus concernant les propriétés contractiles et métaboliques et les caractéristiques du collagène du muscle *longissimus lumborum* sont présentés dans le tableau 31.

Tableau 31: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la proportion des fibres musculaires au niveau du muscle *longissimus lumborum*, sur les activités des enzymes ICDH, LDH et CS

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Types de fibres (%)								
Fibres I	11,50	6,94	10,34	8,10	0,960	0,012	0,192	0,256
Fibres IIa	20,95	22,79	21,44	22,3	0,683	0,201	0,544	0,849
Fibres IIx	67,54	70,26	68,21	69,59	1,058	0,217	0,523	0,441
Activités des enzymes								
ICDH¹	1,868	2,104	2,142	1,83	0,088	0,157	0,065	0,157
LDH¹	769,15	760,99	726,82	803,32	20,60	0,838	0,067	0,299
CS¹	13,37	14,40	14,27	13,50	0,541	0,327	0,461	0,057
Collagène total²	3,73	4,09	4,19	4,63	0,231	0,181	0,352	0,412
Collagène insoluble²	3,08	2,79	3,15	2,72	0,240	0,557	0,392	0,347
Solubilité (%)	33,22	30,75	24,32	39,66	5,40	0,825	0,178	0,509

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive; ICDH: isocitrate déshydrogénase; LDH: lactate déshydrogénase; CS: citrate synthase

¹ : Exprimé en $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$ de muscle

² : Exprimé en mg OH-proline/g MS

Selon le tableau 31, seulement la part des fibres oxydatives (fibre de type I) a été affectée ($P < 0,05$) par le mode de conduite. La part des fibres type I a été plus élevée de 65,70% dans le muscle des agneaux élevés en bergerie (11,50%) par rapport à celle des agneaux élevés sur parcours (6,94%). Par contre, le mode de conduite n'a pas eu d'effets sur les autres types de fibres oxydo-glycolytiques et glycolytique (fibre IIa et fibre IIx). Ce résultat est inattendu puisqu'on sait dans la littérature que les muscles des animaux conduits au pâturage se caractérisent souvent par un métabolisme plus oxydatif que ceux provenant des animaux de bergerie en raison de l'activité physique élevée exercée par les animaux qui favorise plutôt le métabolisme oxydatif dans le muscle. La différence observée peut être due à une différence dans le niveau alimentaire entre les deux modes de conduite. En effet, Greenwood et al. (2006) ont rapporté que la réduction du niveau alimentaire et donc du GMQ augmente la part de la fibre de type I et réduit celle de type IIa. En moyenne, le muscle LL est composé de 7 % de fibres type I, 22,80% de fibre type IIa et 70,20% de fibre de type IIx pour les agneaux du

groupe parcours et de 11,50% de fibres type I, 20,90% de fibre type IIa et 67,60% de fibre de type IIx pour les agneaux du groupe bergerie. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Greenwood et *al.* (2006) pour le muscle LL des agneaux. Pour tous les groupes, la part des fibres de type IIx est supérieure à 40%. Le muscle est ainsi classé comme étant un muscle blanc (Kirchofer et *al.*, 2002). Quant aux GO, ils n'ont eu aucun effet sur les types de fibres.

Concernant les caractéristiques métaboliques du muscle LL (Tableau 31), le mode de conduite n'a pas eu d'effet sur les activités des enzymes métaboliques ($P > 0,05$). De même, Serrano et *al.* (2007) ont rapporté que les propriétés métaboliques du muscle n'ont pas été affectées par le système alimentaire (foin *vs.* herbe). Cependant nos résultats sont différents de ceux de Vestergaard et *al.* (2000), Jurie et *al.* (2006) et Cassar-Malek et *al.* (2009) qui ont observé une augmentation de l'activité du citrate synthase (CS, caractéristique du catabolisme oxydatif) et une diminution de l'activité du lactate déshydrogénase (LDH, caractéristique du catabolisme glycolytique) pour les animaux élevés au pâturage par rapport à ceux élevés en bergerie. Aussi, Jurie et *al.* (2006) ont rapporté une activité élevée en isocitrate déshydrogénase (ICDH), caractéristique du catabolisme oxydatif, pour les bovins élevés au pâturage par rapport à ceux recevant de l'ensilage de maïs. Cette différence est liée à la fois à une activité physique plus élevée et à la nature de l'alimentation. Toutefois, ces auteurs ont montré que la différence dans les propriétés métaboliques est plus marquée pour les muscles rouges oxydatifs que les muscles blancs glycolytiques. Alors, dans cet essai, le choix du type de muscle pourrait expliquer l'absence des effets du mode de conduite sur les activités des enzymes métaboliques. Par ailleurs, le muscle des agneaux supplémentés en GO avait une tendance à avoir une activité élevée en LDH ($P = 0,067$) et plus faible en ICDH ($P = 0,065$).

Les teneurs en collagène total et insoluble ainsi que la solubilité n'ont pas été affectés par le mode de conduite et la supplémentation en GO ($P > 0,05$), ce qui est en accord avec les résultats de Listrat et *al.* (1999), Díaz et *al.* (2002) et Serrano et *al.* (2007). Ce résultat pourrait probablement être lié au fait que les agneaux avait presque le même âge d'abattage. La différence du GMQ observée entre les deux modes de conduite ne semble pas avoir eu un effet sur la teneur ou la solubilité du collagène. French et *al.* (2001) ont rapporté que l'effet de l'alimentation sur les caractéristiques du collagène a été associé principalement à la différence du niveau d'alimentation. Par contre, Archile-Contreras et *al.* (2010) ont trouvé des teneurs élevées en collagène total et insoluble pour la viande bovine produite au pâturage par rapport à celle produite avec des régimes à base de concentré. Cependant, Silva et *al.* (2010) ont rapporté que l'augmentation du niveau d'énergie a permis d'augmenter la solubilité du

collagène sans aucun effet sur la teneur en collagène total. D'autre part, Listrat et al. (2016) ont montré une corrélation positive entre la teneur en collagène total et l'activité de CS qui n'a pas changé avec le mode de conduite et la supplémentation en GO. En moyenne, la teneur en collagène total obtenue (4,42 mg / g) est supérieure à 2,57 mg/g rapportée par Díaz et al. (2002) et 2,60 mg/g par Tschirhart-Hoelscher et al. (2006) pour les agneaux. La valeur moyenne de la solubilité du collagène (31,9%) est comparable à 29% rapportée par Díaz et al. (2002).

6. Qualités de la viande

La qualité de la viande est définie comme étant un ensemble de propriétés et des caractéristiques qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins du consommateur. Elle a été évaluée à partir de certains paramètres physiques (mesure de la couleur de la viande, détermination de la capacité de rétention d'eau, mesure du pH), chimiques (détermination de la composition chimique de la viande et de la qualité des lipides) et une analyse sensorielle (évaluation de la qualité organoleptique de la viande).

6.1. Qualités technologiques de la viande

6.1.1. pH de la viande

Les résultats obtenus concernant les effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur le pH initial et pH ultime du muscle *longissimus lumborum* sont présentés dans le tableau 32.

Tableau 32 : Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur le pH initial, le pH ultime et les pertes en eau du muscle *longissimus lumborum* des agneaux

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
pH initial	6,33	6,24	6,35	6,26	0,058	0,642	0,487	0,385
pH ultime	5,67	5,66	5,69	5,64	0,011	0,570	0,022	0,230
Pertes à l'écoulement (%)	5,25	3,31	4,75	3,82	0,497	0,051	0,333	0,436
Pertes à la cuisson (%)	31,67	33,51	32,67	32,5	0,829	0,247	0,913	0,035
Pertes totales (%)	36,92	36,82	37,42	36,32	0,796	0,949	0,493	0,097

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive

Le mode de conduite n'a eu aucun effet ($P > 0,05$) sur le pH initial et le pH ultime du muscle LL (Tableau 32). Par contre, la supplémentation en GO a affecté ($P = 0,022$) le pH ultime qui a été légèrement plus faible pour la viande des agneaux supplémentés en GO par rapport à celui de la viande des agneaux non supplémentés. Alors qu'aucune différence significative n'était observée pour le pH initial ($P > 0,05$).

La valeur moyenne du pH initial (6,30) montre une baisse rapide du pH après l'abattage des agneaux. Ceci indique que les animaux n'ont pas été stressés juste avant l'abattage. Les valeurs obtenues du pH initial sont acceptables ($< 6,40$; Dragomir, 2005). De même, les valeurs moyennes du pH ultime sont dans la fourchette normale acceptée pour les viandes commerciales (5,4 - 5,7; Maltin et al., 2003). Le pH ultime similaire observé entre les deux modes de conduite laisse supposer que les muscles ont probablement un potentiel glycolytique similaire. Ces résultats sont en accord avec les résultats de Díaz et al. (2002), Priolo et al. (2002b), Rippol et al. (2008) et Majdoub-Mathlouthi et al. (2015) qui ont rapporté des valeurs similaires du pH ultime pour les agneaux élevés au pâturage ou en bergerie. Aussi, plusieurs études menées par Lowe et al. (2002), Realini et al. (2004), Joy et al. (2008), Nuernberg et al. (2008) et Blanco et al. (2010) ont montré que le pH ultime a été peu affecté par les traitements alimentaires.

En ce qui concerne l'effet de la supplémentation en GO, les agneaux supplémentés en GO avaient une valeur de pH ultime supérieure à celle des agneaux non supplémentés (5,69 vs. 5,64 respectivement). Néanmoins et de point de vue biologique, cette différence est très faible pour expliquer des différences dans la qualité de la viande. Une étude réalisée par Priolo et al. (2002a) a montré que l'utilisation des blocs alimentaires à base de GO pour l'alimentation des agneaux de race Barbarine n'a pas affecté le pH ultime de la viande.

6.1.2. Capacité de rétention d'eau de la viande

La capacité de rétention d'eau de la viande est un paramètre physique très important puisqu'il intervient à la fois dans la qualité sensorielle, l'aptitude à la transformation et la valeur commerciale de la viande. Elle est déterminée par la mesure de la quantité du jus perdu par écoulement lors de la conservation et au cours de la cuisson. Les effets du mode de conduite et la supplémentation en grignons d'olive sur les pertes en eau à l'écoulement, à la cuisson et les pertes totales sont indiqués dans le tableau 32. Globalement, la perte en eau totale n'a pas été modifiée avec la mode de conduite ($P > 0,05$). Les valeurs moyennes trouvées pour les pertes à l'écoulement et les pertes totales sont comparables aux résultats de Hamdi et al. (2012) pour des agneaux de race Barbarine élevés en mode biologique sur deux types de

parcours. Huff-Lonergan et Lonergan (2005) ont rapporté que la capacité de rétention d'eau de la viande varie principalement avec le pH ultime et le processus de protéolyse des protéines musculaires. Dans cet essai, le pH ultime n'a pas changé avec le mode de conduite ce qui pourrait probablement expliquer la similarité déterminée pour la capacité de rétention d'eau de la viande entre les deux modes de conduite.

Par ailleurs, la perte à l'écoulement a été plus élevée ($P=0,05$) pour la viande des agneaux élevés en bergerie (5,25%) par rapport à celle des agneaux élevés sur parcours (3,31%). La conduite des animaux sur parcours a permis de réduire de 37% les pertes à l'écoulement de la viande par rapport à celle des agneaux de bergerie probablement grâce à sa teneur élevée en vitamine E. Ainsi, Macit et *al.* (2003a) et Ripoll et *al.* (2011) ont rapporté que l'ajout de vitamine E, qui joue le rôle d'un anti-oxydant, dans l'alimentation des agneaux a permis de réduire les pertes à l'écoulement d'eau pour une durée de conservation de 4 et 7 jours. En effet, lors de la conservation de la viande, les AG insaturés et plus précisément les AGPI sont instables à cause de l'insaturation et sont très sensibles à la peroxydation. Lefèvre et *al.* (1998) affirment que l'oxydation des lipides, et en particulier les phospholipides de la membrane cellulaire, induit sa rupture et augmente sa perméabilité ce qui augmente par conséquent la perte d'eau de la viande. La viande des agneaux de bergerie est caractérisée par des pertes du poids plus importantes lors du stockage et par conséquent des pertes au niveau du poids final des morceaux à la vente d'une part. D'autre part, ces pertes importantes en eau réduisent la durée de conservation de cette viande et induisent une diminution de sa valeur nutritive.

Quant à l'effet de la supplémentation en GO, aucune différence n'est observée ($P>0,05$). Priolo et *al.* (2002a) ont trouvé que l'utilisation des blocs alimentaires à base de GO n'ont pas un effet sur les pertes en eau à la cuisson pour des agneaux de race Barbarine.

Une interaction significative ($P<0,05$) a été observée entre le mode de conduite et la supplémentation en GO pour les pertes à la cuisson. Ainsi, la supplémentation en GO a augmenté les pertes à la cuisson pour les agneaux de bergerie (33,33%) en comparaison à ceux élevés sur parcours et supplémentés en GO (31,68%).

6.2. Qualités sensorielles de la viande

Les résultats des critères d'évaluation de la qualité sensorielle du muscle *longissimus thoracis* sont présentés dans le tableau 33.

Tableau 33: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur les critères d'évaluation de la qualité sensorielle du muscle *longissimus thoracis* des agneaux de race Barbarine

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Couleur	4,55	4,46	4,55	4,46	0,093	0,566	0,573	0,011
Tendreté	5,34	5,79	5,50	5,64	0,093	0,014	0,442	0,567
Jutosité	5,17	5,81	5,31	5,68	0,086	0,0001	0,024	0,298
Degré de gras	4,45	4,80	4,53	4,72	0,082	0,033	0,242	0,410
Flaveur	5,10	5,50	5,23	5,38	0,085	0,019	0,372	0,499
Acceptabilité	4,99	5,07	5,10	4,96	0,091	0,633	0,472	0,869

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive

Il apparait du tableau 33 que le mode de conduite a eu une influence significative ($P < 0,05$) sur la tendreté, la jutosité, le degré du gras et la flaveur de la viande. Alors qu'aucune différence n'a été observée pour les autres paramètres. Ainsi, les résultats obtenus montrent que le jury de dégustation a jugé que la viande des agneaux élevés sur parcours est plus tendre (5,79 vs. 5,34 ; $P < 0,05$), plus juteuse (5,81 vs. 5,17 ; $P < 0,001$), plus grasse (4,80 vs. 4,45 ; $P < 0,05$) et a une flaveur plus intense (5,50 vs. 5,10 ; $P < 0,05$) que celle des agneaux élevés en bergerie. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par French et *al.* (2001) et Realini et *al.* (2004) pour la viande bovine. Mais, ils sont différents des résultats de Priolo et *al.* (2002b) qui ont rapporté que la viande des agneaux élevés en bergerie avec des rations à base d'aliment concentré est plus tendre et plus juteuse que celle des agneaux produite au pâturage. Par ailleurs, Prache et *al.* (2009) ont rapporté qu'avec une vitesse de croissance similaire, la conduite des agneaux sur une pairie à base de trèfle blanc ou en bergerie n'a aucun effet sur la qualité sensorielle de la viande. L'effet est probablement associé en partie au niveau alimentaire et au niveau de croissance des agneaux.

La conduite des agneaux sur parcours a permis d'avoir une viande plus tendre que celle produite en bergerie. Ce résultat est probablement lié à la part élevée en fibres de type I déterminée dans le muscle des agneaux élevés en bergerie. En effet, Renand et *al.* (2001) et Hocquette et *al.* (2005) affirment que la tendreté de la viande dépend essentiellement des caractéristiques conjonctives du muscle en particulier la teneur et la solubilité du collagène ainsi que ses propriétés métaboliques et contractiles. Ceci a été confirmé par Fonseca et *al.*

(2003) et Sazili et al. (2005) qui ont montré une corrélation positive entre la dureté de la viande et la proportion des fibres de type I. De même, Chriki et al. (2013) ont rapporté que les caractéristiques musculaires y compris le type de fibres, le collagène, les lipides intramusculaires peuvent expliquer jusqu'à 30% de la variabilité de la tendreté de la viande. Quant à la jutosité de la viande, elle est liée essentiellement à la capacité de rétention d'eau. Par ailleurs, dans notre étude, la viande produite par les agneaux élevés en bergerie est moins juteuse ce qui pourrait être expliqué par les pertes à l'écoulement plus importante.

Cependant, l'intensité de la flaveur a été plus prononcée dans la viande des agneaux élevés sur parcours. Ceci pourrait s'expliquer par la composition floristique diversifiée dans notre parcours et aussi à la présence de la luzerne arborescente (*Medicago arborea*). Ainsi, Schreurs et al. (2007), Prache et al. (2011) et Devincenzi et al. (2014) ont constaté que la flaveur de la viande est plus élevée et plus intense quand les animaux sont nourris avec une alimentation riche en légumineuses par rapport à celle riche en graminées. Ces auteurs ont montré que la consommation des légumineuses favorise le dépôt d'une concentration plus élevée en indole et en scatole dans les tissus adipeux des animaux. D'autre part, selon Priolo et al. (2001) et Micol et al. (2010), ce résultat semble être lié aussi à la part élevée déterminée en AGPI notamment à l'acide ALA. Ainsi, lors de la cuisson, les produits d'oxydation de cet acide sont associés à une augmentation de l'intensité de la flaveur suite à la formation des composés volatils ayant une odeur désagréable. Dans notre étude, malheureusement nous n'avons pu qualifier cette flaveur: acceptable, désagréable, pastorale, flaveur rance, flaveur foie,...

Quant à l'effet de la supplémentation en GO sur les caractéristiques sensorielles de la viande, seulement la jutosité a été affectée par la supplémentation ($P < 0,05$). La viande des agneaux supplémentés avec les GO est plus juteuse (5,68 vs. 5,31) que celle des agneaux non supplémentés en GO. Ceci est associé probablement à l'effet de la graisse sur la sécrétion de salive (Geay et al., 2001). Ces résultats sont similaires à celles rapportées par Priolo et al. (2002a) qui ont constaté que l'utilisation des GO dans les blocs alimentaires pour l'alimentation des agneaux n'a pas eu d'effet sur la qualité sensorielle de la viande à l'exception de la tendreté qui a été plus faible pour les agneaux nourris avec les blocs alimentaires.

6.3. Qualité nutritionnelle de la viande

6.3.1. Composition chimique de la viande

Les résultats des effets du mode de conduite et la supplémentation en GO sur la composition chimique de la viande dans le muscle *longissimus lumborum* sont rapportés dans le tableau 34.

Tableau 34: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la composition chimique (% MS) du muscle *longissimus lumborum* des agneaux

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Matière sèche (%)	24,66	24,06	24,46	24,26	0,178	0,106	0,572	0,709
Matière minérale	4,37	4,43	4,34	4,46	0,059	0,602	0,335	0,961
Protéines	86,22	86,88	86,47	86,64	0,202	0,075	0,764	0,647
Matière grasse	9,41	8,69	9,19	8,90	0,118	0,338	0,702	0,259

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive

Les résultats du tableau 34 montrent que le mode de conduite et la supplémentation en GO n'ont pas eu une influence ($P > 0,05$) sur la composition chimique de la viande. Seulement, la viande des agneaux élevés sur parcours avait une tendance ($P = 0,075$) d'avoir une teneur plus élevée en protéines (86,88%) que celle des agneaux élevés en bergerie (86,22%). Pour tous les traitements, le muscle *longissimus lumborum* contient en moyenne 75,64% d'eau, 9,05% de matière grasse, 86,56% de protéines et 4,40% de cendres. Cette composition est similaire à celle rapportée par Lefaucheur (2010) pour la viande rouge. Les teneurs en protéines de la viande étaient dans la fourchette attendue (17-22 g/100 g, Geay et al., 2001).

Pour tous les traitements alimentaires, qui est en accord avec les préférences des consommateurs demandant une viande à faible teneur en matière grasse. En plus, pour tous les groupes, la part en matière grasse brute a varié entre 8,69% et 9,41% et montre une viande maigre (Normand et al., 2005), qui est en accord avec les préférences des consommateurs demandant une viande à faible teneur en matière grasse. Aussi, ces valeurs sont dans la valeur inférieure de la fourchette normale pour la part des lipides totaux dans la viande d'agneau (9-25%; Normand et al., 2005). D'autre part, ces résultats indiquent que 100 g de viande d'agneaux élevés que ce soit en bergerie ou sur parcours apporte en moyenne 9 g de lipides ce

qui représente 10% de l'apport moyen recommandé en lipides totaux (90 et 89 g/j/habitant). En effet, EFSA (2010) recommande, pour un apport total de 2500 kcal et pour une alimentation équilibrée, un apport des lipides totaux entre 30 et 35 %. Ce qui fait que les apports nutritionnels conseillés en lipides sont compris entre 83 et 97 g/j.

La composition chimique de la viande n'a pas changé avec le mode de conduite, ceci est en accord avec les résultats obtenus par Diaz et *al.* (2002), Joy et *al.* (2008) et Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015). Mais, ces résultats sont différents de ceux de Priolo et *al.* (2002b) et Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2010) qui ont rapporté une teneur élevée en lipides intramusculaires pour les agneaux conduits en bergerie par rapport à ceux élevés au pâturage. Ceci pourrait être associé à un niveau alimentaire très différent. Dans notre essai, les agneaux de bergerie et du parcours ne sont pas encore bien finis et c'est pour cette raison les teneurs en gras intramusculaires sont similaires entre les deux modes de conduite. En effet, Atti et *al.*, (2004) et Abdullah et Qudsieh (2008) affirment que les races ovines à grosse queue semblent déposer la graisse surtout dans la queue, puis sur la carcasse (gras de couverture et gras intermusculaire), ensuite dans la viande (gras intramusculaire). Aussi, Soltner (1987) a montré que les différents types de gras se développent simultanément mais avec des vitesses de croissance très différentes. Le gras interne se développe en premier lieu, puis le gras intermusculaire et le gras de couverture. Ensuite, le gras intramusculaire se développe en dernier lieu.

Quant à l'effet de la supplémentation en GO, Luciano et *al.* (2013) ont aussi rapporté que l'utilisation des GO dans les régimes des agneaux de race Appenninica n'a pas eu d'effet sur la teneur en gras intramusculaire par rapport aux agneaux du groupe témoin. Cependant, Mioč et *al.* (2007) ont trouvé que la substitution du maïs par 30% de GO dans l'aliment concentré des régimes d'agneaux de race Pramenka a diminué les teneurs en lipides intramusculaires, de protéines et de matières sèches par rapport aux agneaux nourris sans GO.

6.3.2. Composition en acides gras

La composition en acides gras et la qualité des lipides de la viande sont des éléments déterminants de sa valeur santé pour la nutrition humaine. Les effets du mode de conduite et de la supplémentation en GO sur la composition en acide gras et la qualité des lipides de la viande sont indiqués dans les tableaux 35 et 36.

D'après le tableau 35, le mode de conduite a un effet significatif sur la composition en AG de la viande. Ceci est bien en accord avec les travaux de Díaz et *al.* (2002), Priolo et *al.* (2002b), Arousseau et *al.* (2004) et Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) qui ont montré que la

composition en AG de la viande d'agneau a été affectée par le mode de conduite des animaux. Ainsi, ces auteurs ont rapporté une différence remarquable au niveau de la composition en AG de la viande des animaux élevés au pâturage et/ou avec de l'herbe et celle provenant des agneaux élevés en bergerie avec des régimes à base de concentré. Les résultats obtenus montrent que la teneur en AGS totaux n'a pas changé avec le mode de conduite et représente en moyenne 50,22% du total d'AG identifiés, ce qui fait que 100 g de muscle frais apporte en moyenne 1,11 g d'AGS (Tableau 36). Par ailleurs, cette valeur est comparable à celle de Díaz et *al.* (2002), McAfee et *al.* (2010) et Nasri et *al.* (2011) pour des agneaux recevant différents régimes. Mais, elle est différente de 44 et 46% rapportées par Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2013, 2015) pour des agneaux de race Barbarine élevés selon différents régimes alimentaires. Cette différence pourrait être liée selon Chilliard et *al.* (2007) aux composantes de la ration (nature du fourrage, rapport fourrage/ concentré, teneur en amidon de la ration) qui sont les principaux facteurs capables de modifier le métabolisme ruminal des AG et par conséquent la composition en AG de la viande.

Tableau 35: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la composition en acide gras du muscle *longissimus lumborum* des agneaux (% des acides gras identifiés)

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
AG saturés								
C10 :0	0,21	0,15	0,18	0,17	0,432	0,055	0,672	0,461
C12 :0	0,24	0,29	0,24	0,30	0,032	0,448	0,393	0,780
C14 :0	2,88	2,62	2,78	2,72	0,158	0,433	0,843	0,657
C15: 0	0,39	0,47	0,42	0,44	0,019	0,029	0,517	0,576
C16: 0	23,45	20,70	22,20	21,94	0,385	<0,0001	0,633	0,629
C17: 0	1,02	1,2	1,12	1,10	0,029	0,001	0,722	0,878
C18: 0	20,79	22,29	21,57	21,51	0,414	0,08	0,949	0,661
C20: 0	0,19	0,26	0,23	0,22	0,017	0,028	0,728	0,241
C22: 0	0,03	0,11	0,08	0,07	0,016	0,010	0,888	0,558
C24: 0	0,02	0,05	0,04	0,03	0,011	0,172	0,759	0,519
Anté iso C15	0,11	0,12	0,11	0,12	0,007	0,604	0,526	0,158
Iso C15	0,16	0,18	0,17	0,17	0,008	0,224	0,963	0,298
Anté iso C17	0,11	0,12	0,11	0,12	0,007	0,604	0,526	0,158
Iso C17	0,47	0,47	0,47	0,47	0,016	0,898	0,979	0,119
AG insaturés								
C14:1n-5	0,08	0,07	0,08	0,07	0,011	0,536	0,450	1
C16:1n-7	1,26	1,22	1,26	1,23	0,038	0,605	0,665	0,202
C17:1n-7	0,56	0,50	0,56	0,49	0,029	0,353	0,265	0,934
C18:1n-9	34,40	32,49	33,11	33,78	0,485	0,052	0,479	0,535
C18:1n-7	0,24	0,26	0,18	0,31	0,036	0,777	0,095	0,597
C20:1n-9	0,13	0,15	0,14	0,14	0,012	0,585	0,872	0,356
C18: 2	0,02	0,11	0,01	0,12	0,030	0,125	0,054	0,288
C18: 2 conj	0,38	0,48	0,42	0,44	0,029	0,102	0,752	0,259
C18: 2n-4	0,25	0,36	0,33	0,28	0,032	0,115	0,427	0,606
C18: 3n-4	0,08	0,10	0,09	0,09	0,009	0,331	0,928	0,253
C18: 2n-6	6,57	7,89	7,32	7,14	0,374	0,083	0,807	0,317
C18: 3n-6	0,06	0,14	0,10	0,10	0,015	0,010	0,880	0,185
C20: 2n-6	0,28	0,35	0,33	0,29	0,029	0,231	0,457	0,103
C20: 3n-6	0,17	0,24	0,23	0,18	0,019	0,038	0,092	0,046
C20: 4n-6	1,39	1,61	1,64	1,36	0,128	0,365	0,253	0,063
C22:5n-6	0,14	0,11	0,17	0,08	0,014	0,200	0,004	0,793
C18: 3n-3	0,56	0,94	0,83	0,67	0,06	0,0005	0,099	0,422
C20: 5n-3	0,10	0,29	0,23	0,16	0,033	0,0028	0,246	0,246
C21: 5n-3	0,01	0,01	0,01	0,009	0,003	0,835	0,677	0,220
C22:5n-3	0,32	0,42	0,38	0,36	0,030	0,105	0,774	0,596
C22:6n-3	0,04	0,07	0,07	0,04	0,013	0,153	0,153	0,319

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive; AG: acides gras

Tableau 36: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur les groupes des acides gras (% des acides gras identifiés) et la qualité des lipides du muscle *longissimus lumborum* des agneaux

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Groupes d'AG								
AGS	50,72	49,73	50,37	50,07	0,574	0,415	0,805	0,436
AGMI	36,67	34,69	35,33	36,02	0,496	0,052	0,460	0,498
AGPI	10,39	13,06	12,21	11,25	0,619	0,026	0,399	0,182
AGI	47,12	47,89	47,59	47,42	0,496	0,470	0,872	0,494
AG n- 6	8,63	10,35	9,81	8,11	0,527	0,099	0,530	0,170
AG n-3	1,04	1,75	1,54	1,25	0,111	0,0002	0,09	0,248
AGPI n-3 LC	0,46	0,79	0,69	0,57	0,058	0,0022	0,210	0,198
DFA	66,62	68,84	67,88	67,58	0,444	0,011	0,711	0,521
Hypo	43,07	43,60	43,13	43,54	0,409	0,547	0,634	0,801
Hyer	26,58	23,61	25,23	24,96	0,485	0,0013	0,735	0,587
Rapports								
AGI/AGS	0,93	0,97	0,95	0,94	0,020	0,394	0,951	0,415
AGPI/AGS	0,20	0,26	0,24	0,22	0,015	0,04	0,476	0,189
n-6/n- 3	8,75	6,05	6,69	8,11	0,525	0,0058	0,122	0,316
LA/ALA	12,87	8,60	9,34	12,14	0,946	0,016	0,102	0,315
C16:0/C18:0	1,13	0,93	1,04	1,02	0,029	0,0002	0,774	0,914
Hypo/Hyper	1,62	1,86	1,73	1,75	0,045	0,0081	0,753	0,592
AI	0,78	0,69	0,74	0,73	0,023	0,073	0,867	0,482
TI	1,39	1,38	1,40	1,37	0,032	0,822	0,630	0,190
Δ5 plus Δ6	22,62	23,23	24,22	21,63	0,803	0,684	0,097	0,068
IP	16,04	20,75	19,55	17,23	1,103	0,024	0,244	0,132

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive; AG: acides gras; AGS: acides gras saturés; AGI: acides gras insaturés; AGMI: acides gras mon-insaturés; AGPI: acides gras polyinsaturés; AGPI n-3 LC: acides gras polyinsaturés à long chaîne de type n-3; LA: acide linoléique; ALA: acide α-linolénique; Hypocholesterolemique: Somme (C18:1; C18:2 ; C18:3; C20:5; C22:5; C22:6)

Hypercholesterolemique: Somme (C12:0; C14:0; C16:0)

Δ5 plus Δ6: Δ5 plus Δ6 desaturase: $(C20:2n-6 + C20:4n-6 + EPA + C22:5n-3 + DHA) / (LA + ALA + C20:2n-6 + C20:4n-6 + EPA + C22:5n-3 + DHA) * 100$

IP : Index de peroxydabilité : $IP = (\% \text{ diénoïque}) + (\% \text{ Triénoïque} * 2) + (\% \text{ tétraénoïque} * 3) + (\% \text{ pentaénoïque} * 4) + (\% \text{ hexaénoïque} * 5)$

Par ailleurs, la conduite des agneaux sur parcours a permis de réduire la part des AGS indésirables pour la santé humaine notamment l'acide palmitique (C16:0) qui présente une propriété pro-athérogénique. Ainsi, bien que les agneaux des deux groupes aient reçu la même quantité d'aliment concentré et aient montré des teneurs en gras intramusculaire similaires, la part en C16:0 a été plus faible ($P < 0,0001$) de 2,75% dans la viande des agneaux élevés sur parcours (20,70%) par rapport à celle des agneaux élevés en bergerie (23,45%). Ceci s'est

traduit par une part des acides hypercholestérolémiques (C12:0 + C14:0 + C16:0) plus faible de 2,97 point ($P < 0,01$) pour la viande des agneaux du groupe parcours. En outre, la viande des agneaux élevés sur parcours avait une tendance ($P \leq 0,10$) d'avoir une part plus élevée (22,29%) en acide stéarique (C18:0) que celle des agneaux élevés en bergerie (20,79%). Cet acide a un effet neutre voir bénéfique sur les maladies cardiovasculaires chez l'Homme. Ces variations de C16:0 et C18:0 ont révélé une diminution ($P < 0,001$) de 0,20 point du rapport C16:0/C18:0 (Tableau 36). Ce dernier était de 0,93 pour les agneaux de parcours contre 1,13 pour les agneaux de bergerie. Ces valeurs sont relativement faibles et favorables pour la santé humaine et inférieure à la valeur de 1,20 rapportée par Prache et *al.* (2011) pour des agneaux élevés au pâturage en mode conventionnel ou biologique. Aussi, la conduite des agneaux sur parcours a permis d'augmenter les proportions des acides pentadécanoïque (C15:0; $P = 0,029$), heptadécanoïque (C17:0; $P = 0,001$), arachidonique (C20:0; $P = 0,028$) et hénéicosanoïque (C22:0; $P = 0,010$) et de réduire celle d'acide caprique (C10:0; $P = 0,055$) par rapport à la conduite des agneaux en bergerie. Aussi, Falchero et *al.* (2010) ont rapporté que l'alimentation des vaches dans les pâturages dominés par les légumineuses a augmenté le pourcentage des AGS impairs dans le lait et le fromage. Par ailleurs, les proportions des autres AGS identifiés n'ont pas été affectées par le mode de conduite ($P > 0,05$).

Quant aux acides gras insaturés, le mode de conduite n'a pas eu un effet sur la part en AGI totaux qui représente en moyenne 47,51%. Néanmoins, la conduite des agneaux sur parcours a permis d'augmenter ($P < 0,05$) la part des AGPI de 2,67% et de réduire ($P = 0,052$) celle des AGMI de 1,98% par rapport à la conduite des agneaux en bergerie, ce qui pourrait s'expliquer par une diminution de la biohydrogénation ruminale des acides gras pour les agneaux du groupe parcours. Alors, ces variations ont permis d'augmenter la proportion des AG désirables (DFA = AGPI + AGMI + C18:0) de 2,22% pour la viande du groupe parcours. Ces résultats sont bien en accord avec ceux d'Arousseau et *al.* (2007) et Wood et *al.* (2003). De même, ils confirment les résultats de la méta-analyse réalisée par Popova et *al.* (2015) qui ont montré que la viande des agneaux conduits au pâturage est plus riche en AGPI que celle des agneaux élevés en bergerie. Alors que des études réalisées par Díaz et *al.* (2002) et Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) ont montré des proportions similaires en AGMI et en AGPI entre les agneaux conduits sur parcours ou en bergerie. Toutefois, Popova et *al.* (2015) affirment que ces différences dans les résultats peuvent être associées soit à une différence dans les conditions de pâturage, soit à la période de conduite des animaux sur pâturage. Le mode de conduite a eu une influence ($P = 0,052$) sur la part en acide oléique (C18:1n-9) qui a

augmenté de 1,91% avec la conduite des agneaux en bergerie par rapport à celle sur parcours. Ceci est probablement expliqué par la conversion de l'acide C18: 0 en C18: 1n-9 par l'activité de $\Delta 9$ désaturase (Daley et al., 2010). Pour tous les groupes, cet acide est l'acide majeur des AG et représente en moyenne 33,45%. Cette valeur est comparable à celle rapportée par Wood et al. (2008) pour la viande ovine.

Pour les AGPI recherchés pour leurs effets bénéfiques sur la santé humaine, on remarque que la part en acide linoléique conjugué (CLA, C18:2 conj.) reconnu par ses propriétés anticancéreuses et antiathérogènes, n'a pas été modifiée par le mode de conduite ($P > 0,05$). La valeur moyenne en CLA (4,3 mg / 100 g muscle) est une valeur limite par rapport aux teneurs trouvées pour la viande d'agneau (4,32 à 19,0 mg / 100 g de matières grasses; Schmidt et al., 2006). Concernant, les AGPI de type n-6, la conduite des agneaux sur parcours tend ($P \leq 0,10$) à augmenter les parts des AGPI n-6 et de l'acide linoléique (LA; C18: 2n-6) en comparaison à celle en bergerie. Par ailleurs, la proportion d'acide γ -linoléique (C18:3n-6) est plus élevée de 0,08% ($P = 0,01$) avec la conduite des agneaux sur parcours, ce qui s'est traduit par une augmentation de la proportion de l'acide dihomogamma-linoléique (C20:3n-6; $P < 0,05$).

Quant aux AGPI de type n-3, la conduite des agneaux sur parcours a augmenté la proportion d'acide α -linoléique (ALA; C18: 3n-3, $P < 0,001$) par rapport à celle en bergerie. Ces résultats indiquent que la conduite des agneaux sur parcours naturel amélioré par le *Medicago arborea*, qui apportent une quantité de C18 :3n-3 plus élevée (21,7 et 11,2% respectivement pour le *Medicago arborea* et le parcours) que celle apportée par le foin d'avoine (3,46%; Tableau 20), a favorisé l'augmentation de la part de cet AG dans la viande. En effet, plusieurs études (Aurousseau et al., 2007; Lourenço et al., 2008; Prache et al., 2011) ont montré que l'herbe est naturellement riche en AGPI n-3 notamment en C18:3n-3 qui a des effets positifs sur la valeur santé de la viande pour l'Homme. En moyenne, la quantité d'ALA varie de 56 à 94 mg / 100 g de viande avec une moyenne de 75 mg / 100 g de viande, ce qui représente 3,75% de l'apport recommandé de l'ALA (2 g/j) dans l'alimentation humaine (EFSSA, 2010). Ceci s'est traduit par une augmentation de la proportion des AG longs polyinsaturés de type n-3 (AGPI n-3 LC) dans la viande des agneaux du groupe parcours (0,79 vs. 0,46%; $P < 0,01$) par rapport à celle du groupe bergerie.

En étudiant plus en détail ces acides gras, on remarque que la viande du groupe parcours contient trois fois la proportion d'acide eicosapentaénoïque (EPA; C20: 5n-3, $P < 0,01$) que celle produite en bergerie, en raison de la proportion plus élevée en ALA, qui est le précurseur

des AGPI n-3 et des AGPI n-3 LC (McAfee et *al.*, 2010). Par contre, les parts en acides docosapentaénoïque (DPA; C22: 5n-3) et docosahéxaénoïque (DHA; C22: 6n-3) n'ont pas été affectées par le mode de conduite et représentent respectivement 0,37% et 0,06% en moyenne. La quantité de EPA plus DHA est plus élevée dans la viande du groupe parcours (36 vs. 14 mg / 100 g de viande) par rapport à celle du groupe bergerie. Toutefois, la moyenne de EPA plus DHA (25 mg/100 g de viande) est comprise dans l'intervalle (20 à 40 mg/100 g de viande) donné par Ponnampalam et *al.* (2014) pour la viande d'agneau et inférieure à 40 mg / 100 g de viande recommandées par EFSSA (2010).

Les résultats obtenus montrent que le rapport LA/ALA est plus faible pour les agneaux élevés sur parcours (8,60 vs. 12,87; $P < 0,05$). Ce qui s'est traduit par un rapport n-6 / n-3 plus faible pour la viande produite sur parcours (6,05 vs. 8,75; $P < 0,01$) par rapport à celle produite en bergerie. Les rapports obtenus sont similaires aux résultats de Nasri et *al.* (2011) et Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2013) et supérieure à ceux rapportés par Diaz et *al.* (2002), Aurousseau et *al.* (2004) et Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) et à la valeur recommandée (4) pour la santé humaine (Wood et *al.*, 2008). Aussi, le rapport AGPI /AGS a été améliorée ($P < 0,05$) de 33% par la conduite des agneaux sur parcours par rapport à celle en bergerie. La valeur moyenne du rapport AGPI/AGS (0,23) est comparable aux résultats de Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2013) pour des agneaux recevant du foin et d'aliment concentré, mais plus faible que celle obtenue pour des agneaux élevés sur parcours (Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015), supérieure à 0,15 rapportée par Wood et *al.* (2008) pour la viande d'agneau et inférieure à 0,40 recommandée pour la santé humaine (Wood et *al.*, 2008). Toutefois, cette différence entre les études semble être liée à la présence des composés secondaires surtout les tannins condensés dans certaines plantes pastorales qui réduisent l'hydrogénation ruminale des AGPI. Aussi, cette différence pourrait être expliquée selon une méta-analyse récente effectuée par Popova et *al.* (2015) à la variabilité des conditions d'élevage (composition de la ration, quantité d'aliment concentré distribuée,...), de la durée d'engraissement et la maturité des animaux. Ainsi, ces auteurs ont montré que les agneaux conduits au pâturage tendent à avoir plus d'AGPI et plus particulièrement AGPI n-3 dans leur viande lorsqu'ils sont élevés en pâturage pendant une longue durée.

Les index athérogénique (AI) et thrombogénique (TI), qui permettent d'évaluer l'incidence des AG dangereux pour les artères, sont similaires entre les deux modes de conduite. Egalement, Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) ont rapporté que le mode de conduite n'a pas eu d'effets sur les index AI et TI. La valeur moyenne de TI (1,39) est similaire aux valeurs

rapportées par Ulbricht et Southgate (1991) pour la viande d'agneau et supérieure aux résultats de Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015). La valeur moyenne de l'IA (0,73) est comparable aux valeurs rapportées par Sinanoglou et *al.* (2013) pour différentes races d'agneaux et inférieure à la valeur seuil limite recommandée pour la santé humaine (inférieure à 1) rapportée par Ulbricht et Southgate (1991). Cette valeur indique une diminution des triglycérides plasmatiques et du taux de cholestérol.

En ce qui concerne le niveau d'oxydation des lipides, la composition en AG nous permet d'avoir une idée sur la susceptibilité d'une viande à se peroxyder. L'indice de peroxydabilité (PI) a montré que la viande produite sur parcours a une sensibilité relativement élevée (+29,40%; $P=0,024$) à la peroxydation des lipides par rapport à celle produite en bergerie. Ceci est lié essentiellement à sa teneur élevée en AGPI notamment en AGPI n-3 qui sont très sensibles à la peroxydation en raison de leurs insaturations qui sont instables (Durand et *al.*, 2005).

Concernant les effets de la supplémentation en GO, nos résultats ont montré que la supplémentation en GO n'a pas eu des effets importants sur la composition en AG de la viande et la qualité des lipides. Seulement, des petites différences significatives dans la composition en AG sont révélées, la proportion de C18: 2 a augmenté ($P= 0,054$) et celle de C22: 5n-6 a diminué ($P <0,01$) avec la supplémentation en GO. La viande des agneaux non supplémentés en GO avait une tendance ($P \leq 0,10$) d'avoir les proportions élevées en ALA et C20: 3n-6 que celle des agneaux supplémentés en GO. Par contre, cette dernière a une tendance ($P \leq 0,10$) d'apporter plus de C18:1n-7. Globalement, la supplémentation en GO a eu des effets mineurs voir négligeables sur la composition et la qualité des lipides sans aucun effet favorable ou néfaste ce qui est en accord avec les conclusions de Luciano et *al.* (2013) et Mele et *al.* (2014). Ces auteurs ont aussi rapporté des effets limités de l'utilisation de GO sur le profil des AG des agneaux nourris avec d'aliment concentré contenant 35% de GO/kg MS. Alors que, Vasta et *al.* (2008) ont constaté que l'utilisation de l'ensilage contenant des GO dans les rations des agneaux et des brebis a amélioré les parts d'acides linoléique et oléique dans la viande et le lait. Aussi, Vargas-Bello-Pérez et *al.* (2013) ont rapporté que l'utilisation des GO dans l'alimentation des brebis a permis d'améliorer la composition en AG du lait ainsi que la qualité des lipides. Toutefois, cette différence pourrait s'expliquer par une différence au niveau de la qualité des GO qui est aux dépens de la méthode d'extraction d'huile d'olive et de la variété (Molina-Alcaide et Yáñez-Ruiz, 2008) et du type de GO (Abo Omar et *al.*, 2012).

7. Statut oxydatif du muscle

7.1. Niveau d'oxydation des lipides

L'oxydation des lipides est un élément d'importance majeure puisqu'elle influence à la fois les qualités technologiques et organoleptiques de la viande ainsi que sa valeur santé pour l'Homme. Les résultats des niveaux en antioxydants et de l'intensité de la peroxydation lipidique (malonedialdéhyde : MDA) sont présentés dans le tableau 37.

Tableau 37: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur les activités des enzymes anti-oxydantes et en vitamine E et la teneur en MDA à J5 dans le muscle *longissimus lumborum* des agneaux

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
SOD ¹	2,24	2,51	2,66	2,10	0,695	0,294	0,033	0,18
GSH Px ²	0,046	0,053	0,049	0,049	0,012	0,215	0,992	0,795
Catalase ³	0,54	0,91	0,63	0,83	0,02	0,0033	0,081	0,172
Vitamine E ⁴	1,53	4,76	3,01	3,28	0,368	<0,0001	0,386	0,875
MDA ⁵	1,25	0,29	0,77	0,76	0,124	<0,0001	0,912	0,989

ESM: Erreur standard de la moyenne; MC: mode de conduite; S: Supplémentation en grignons d'olive; MDA: malondialdéhyde

¹: Superoxyde dismutase exprimée en UI

²: Glutathion peroxydase exprimée en $\mu\text{mol NADPH}/\text{min}/\text{mg}$ protéine

³: Catalase exprimée en $\text{mmol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg}$ protéine

⁴: Vitamine E exprimée en $\mu\text{g}/\text{g}$ de muscle frais

⁵: MDA exprimée en $\mu\text{g}/\text{g}$ muscle frais

Il apparait des résultats présentés dans le tableau 37 que malgré sa richesse en AGPI, qui sont plus sensibles à la peroxydation et la valeur élevée en IP, la viande des agneaux conduits sur parcours présente une faible teneur en MDA ($0,29 \mu\text{g}/\text{g}$ muscle; $P < 0,001$) par rapport à celle produite en bergerie ($1,25 \mu\text{g}/\text{g}$ muscle). Ceci indique que la conduite des agneaux sur parcours naturel amélioré par le *Medicago arborea* a permis de retarder le développement des réactions d'oxydation des lipides ce qui s'est traduit par une meilleure stabilité de cette viande lors de la conservation. Cela semble être le résultat des teneurs élevées en antioxydants déterminées dans la viande produite sur parcours. Ainsi, l'activité de la catalase a augmenté ($P < 0,01$) de 68,52% avec la conduite sur parcours par rapport à celle en bergerie. Aussi, la viande des agneaux du groupe parcours présente une teneur plus élevée ($P < 0,001$) en vitamine

E (Vit E; 4,76 µg/g de muscle) que celle des agneaux élevés en bergerie (1,53 µg/g de muscle). Cette oxydation plus faible est particulièrement associée à la richesse du muscle en vitamine E (Figure 24). Aussi, Santé-Lhoutellier et *al.* (2008) et Luciano et *al.* (2009b) ont montré que la viande des agneaux produite au pâturage présente moins de risque d'oxydation en comparaison à celle produite avec des régimes à base de concentré. Selon Ripoll et *al.* (2011), le seuil de détection de mauvaise flaveur est de 1 µg MDA/g de viande. Ainsi, dans notre étude la viande des agneaux du groupe parcours reste acceptable pendant les 5 j de conservation, alors que pour celle des agneaux élevés en bergerie, la peroxydation est élevée et les mauvaises flaveurs apparaissent même avant le 5^{ème} jour de conservation. Toutefois, les valeurs de MDA pour les deux groupes restent inférieures aux valeurs de TBARS obtenus après 4 j de stockage par Santé-Lhoutellier et *al.* (2008) pour des agneaux élevés au pâturage ou en bergerie.

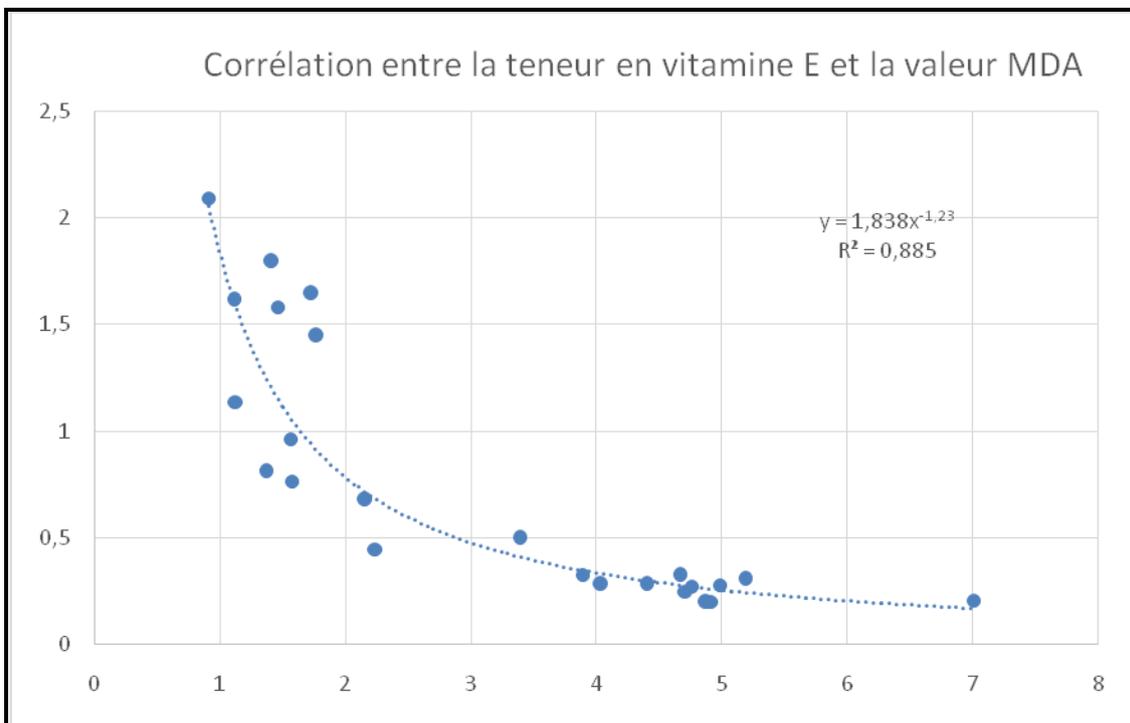


Figure 24: Corrélation entre la teneur en vitamine E et la valeur de MDA

La conduite des agneaux sur parcours amélioré par *Medicago arborea* a permis d'augmenter considérablement la teneur en Vit E (+211%) dans la viande en comparaison à celle produite en bergerie ce qui suppose une ingestion assez importante de Vit E apportée par le parcours. Toutefois, la valeur obtenue de la Vit E pour les agneaux de parcours reste supérieure au seuil minimal (3,1 µg/g de muscle) nécessaire pour prévenir la peroxydation des lipides pour la viande d'agneau (Ponnampalam et *al.*, 2012). Les moyens obtenus de Vit E sont comparables aux valeurs rapportées par Santé-Lhoutellier et *al.* (2008) et sont dans la fourchette des

résultats trouvés par Daley et *al.* (2010). Ces auteurs ont rapporté que le niveau Vit E varie de 0,75 à 2,92 $\mu\text{g} / \text{g}$ de muscle pour les bovins nourris avec des régimes à base de céréales et de 2,1 à 7,73 $\mu\text{g}/\text{g}$ de muscle pour les bovins élevés au pâturage. Les valeurs sont plus élevées que celles trouvées par Turner et *al.* (2002) pour des agneaux nourris avec des aliments concentrés ou sur des pâturages à base de luzerne ou de ray-grass.

Quant aux antioxydants endogènes, les activités des enzymes antioxydantes ont été légèrement affectées par le mode de conduite, seulement l'activité de catalase a été plus élevée dans la viande produite sur parcours. Alors qu'aucune différence significative n'est observée ($P>0,05$) pour les activités de superoxyde dismutase (SOD) et de glutathion peroxydase (GSH Px). Aussi, une étude réalisée par Santé-Lhotellier et *al.* (2008) a montré que le mode de conduite des agneaux n'a pas eu d'effet sur les activités des enzymes antioxydantes. Par contre, Gatellier et *al.* (2004) et Descalzo et *al.* (2007) ont rapporté une augmentation de l'activité de SOD avec la conduite des bovins au pâturage par rapport à ceux nourris avec régimes à base d'aliment concentré. Tandis que, Mercier et *al.* (2004) ont montré que le mode de conduite des vaches sur parcours a permis d'augmenter l'activité de SOD et de réduire celle du GSH Px par rapport à la conduite en bergerie. Cependant, cette différence dans les résultats pourrait être expliquée par le fait qu'après l'abattage des animaux, l'activation des systèmes de défense contre les processus d'oxydation est différente. Ainsi, le système de défense non enzymatique (les vitamines C et E, les caroténoïdes, les polyphénols et les oligo-éléments) est la première ligne de défense qui réagit rapidement contre l'oxydation en piégeant les espèces réactives oxygénées par rapport au système de défense enzymatique (Wood et Enser, 1997).

Concernant les effets de la supplémentation en GO sur le niveau d'oxydation et le statut antioxydant, on remarque que la supplémentation en GO a seulement réduit ($P<0,05$) l'activité de SOD de 21,5%. Alors que les activités de catalase et GSH-Px ainsi que les teneurs en Vit E et en MDA n'ont pas été affectées par la supplémentation en GO ($P>0,05$). La viande des agneaux supplémentés en GO tend à ($P=0,081$) avoir une activité plus élevée en catalase (0,83 $\text{mmol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg}$ protéine) que celle des agneaux non supplémentés en GO (0,63 $\text{mmol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{mg}$ protéine). Bien que SOD et catalase soient deux enzymes couplées (Descalzo et *al.*, 2007), dans notre essai elles ont montré des activités différentes. En effet, SOD sert à transformer l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène et le rôle de catalase consiste à transformer ce dernier en H_2O et O_2 . Cependant, la supplémentation en GO n'a pas montré un effet important sur l'oxydation des lipides en raison probablement des faibles teneurs en

composés secondaires déterminés dans les GO (Tableau 20), qui ne sont pas suffisantes pour empêcher l'oxydation des lipides. En effet, Dal Bosco et *al.* (2012) ont rapporté que l'effet des GO sur la stabilité oxydative de la viande dépend essentiellement de la teneur en polyphénols. Néanmoins, des recherches récentes ont rapporté des effets positifs de l'utilisation des grignons sur la stabilité oxydative de la viande pour les agneaux (Luciano et *al.*, 2013) ainsi que pour les lapins (Dal Bosco et *al.*, 2012). Ceci semble être lié aux différences dans la qualité des GO utilisés dans ces études qui dépend de la variété d'olive et la méthode d'extraction d'huile (Molina-Alcaide et Yáñez-Ruiz, 2008). De même, Dal Bosco et *al.* (2012) ont rapporté des teneurs différentes en polyphénols pour trois types de grignons d'olive. La valeur moyenne de MDA (0,76 µg/g muscle) pour les deux groupes supplémentés et non complémentés en GO est inférieure au seuil d'acceptabilité donné par Ripoll et *al.* (2011) et leur viande reste acceptable au 5^{ème} jour de stockage.

7.2. Stabilité de la couleur de la viande

La couleur de la viande représente un critère très important qui détermine l'acceptabilité et la décision d'achat de cette viande par le consommateur. Les effets du mode de conduite et de la supplémentation en GO sur les composantes de la couleur (L* a* b*) de la viande du muscle *longissimus lumborum* sont présentés dans le tableau 38.

Tableau 38: Effets du mode de conduite et de la supplémentation en grignons d'olive sur la couleur de la viande à J1 et sa stabilité J5 du muscle *longissimus lumborum* des agneaux

	Mode de conduite		Supplémentation		ESM	Valeurs de probabilité		
	Bergerie	Parcours	Sans	Avec		MC	S	MC*S
Couleur à J1								
Luminance (L*)	37,52	36,34	37,01	36,85	0,378	0,135	0,834	0,431
Indice de rouge (a*)	16,47	15,95	16,31	16,11	0,210	0,235	0,646	0,451
Indice de jaune (b*)	3,09	3,05	3,08	3,07	0,112	0,87	0,972	0,886
Saturation (C*)	16,77	16,25	16,61	16,41	0,258	0,27	0,67	0,49
Angle de teinte (H*)	10,57	10,80	10,62	10,75	0,449	0,69	0,84	0,57
Couleur à J5								
Luminance (L*)	36,60	35,38	36,33	35,65	0,444	0,184	0,450	0,401
Indice de rouge (a*)	17,92	17,72	16,85	16,99	0,491	0,048	0,089	0,590
Indice de jaune (b*)	6,64	6,57	6,07	6,10	0,218	0,011	0,930	0,673
Saturation (C*)	19,11	16,87	17,92	18,06	1,270	0,043	0,89	0,60
Angle de teinte (H*)	20,31	19,13	19,72	19,72	0,270	0,025	0,99	0,94
Différence de couleur (ΔE)	4,33	3,45	3,82	3,96	0,246	0,06	0,76	0,75

ESM : Erreur standard de la moyenne ; MC : mode de conduite ; S : Supplémentation en grignons d'olive

L'analyse statistique n'a pas révélé de différences significatives ($P > 0,05$) pour l'ensemble des composantes de la couleur (L*, a* et b*) de la viande mesurée à J1 au niveau du muscle LL pour tous les traitements alimentaires (Tableau 38). La couleur de la viande n'a pas changé avec le mode de conduite et la supplémentation en GO en raison probablement de la similarité observée entre tous les groupes au niveau du pH ultime et la teneur en matière grasse totale. En effet, Mancini et Hunt (2005) ont montré que la différence au niveau de pH est l'un des facteurs qui interviennent dans la variation de la couleur de la viande. Aussi, Priolo et al. (2001) ont rapporté que la luminosité de la viande est fortement influencée par le pH ultime. Ces auteurs ont également montré que la teneur en lipides intramusculaires peut aussi influencer la couleur de la viande. En effet, une teneur élevée en lipides intramusculaire dans le muscle peut conduire à une faible concentration de myoglobine déposée dans la viande ce qui augmente la luminosité de la viande.

Aussi, ces résultats montrent que l'activité physique plus importante exercée par les agneaux élevés sur parcours n'a pas eu un effet sur le contenu de myoglobine dans le muscle LL. En

effet, Mancini et Hunt (2005) affirment que la différence de couleur est en relation avec l'augmentation des teneurs en pigment. Des études menées par Priolo et Vasta (2007) et Vasta et *al.* (2008) ont montré que la viande provenant des animaux nourris avec des plantes riches en composés secondaires, particulièrement en tannins est plus claire. En fait, les tannins présents dans certains légumineuses fourragères et sous-produits agro-industriels, sont responsables en partie de la diminution de la biosynthèse ruminale de la vitamine B12 qui est le précurseur des pigments héminiques.

De même, Santé-Lhoutellier et *al.* (2008), Luciano et *al.* (2009b) et Majdoub-Mathlouthi et *al.* (2015) ont également trouvé que le mode de conduite n'a eu aucun effet sur toutes les composantes de la couleur de viande. Par contre, Díaz et *al.* (2002) et Priolo et *al.* (2002b) ont rapporté une viande plus claire (luminance L* supérieure) pour les agneaux conduits en bergerie par rapport à ceux nourris avec de l'herbe. Aussi, Ripoll et *al.* (2012) ont rapporté que les agneaux élevés sur pâturage ont une viande plus rouge (indice de rouge a* supérieur) que ceux finis en bergerie. Cette différence semble être principalement expliquée par l'activité physique plus élevée exercée par les animaux conduits sur des pâturages par rapport à ceux conduits en bergerie (Priolo et *al.*, 2001; Geay et *al.*, 2002).

Toutefois, pour tous les traitements alimentaires, les valeurs moyennes des composantes L* (36,93) et a* (16,21) sont supérieures aux valeurs limites d'acceptabilité rapportées pour la viande ovine ($a^* < 19$, Hopkins, 1996; $L^* \geq 34$ et $a^* \geq 9,5$; Khliji et *al.*, 2010). Ces constatations indiquent que, pour tous les groupes, la couleur de la viande fraîche est 'normale' et acceptable par le consommateur.

Au 5^{ème} jour de stockage, l'indice de rouge (a*), l'indice de jaune (b*), l'indice de saturation (C*) et l'angle de teinte (H*) ont été affectés seulement par le mode de conduite ($P < 0,05$) dont les valeurs élevées ont été enregistrées pour les agneaux de bergerie. Alors que la luminance (L*) n'a pas changé avec le mode de conduite et la supplémentation ($P > 0,05$). Ceci se traduit par une viande plus rouge ($a^* = 17,29$ vs. 15,93), plus jaune ($b^* = 6,64$ vs. 5,54), une teinte rose et une saturation plus intense pour les agneaux élevés en bergerie par rapport à ceux élevés sur parcours.

Aussi, on remarque que la valeur de l'indice de rouge (a*) entre J1 et J5 n'a pas changé pour les agneaux du groupe parcours par contre cet indice a augmenté avec la durée de conservation. Ceci indique des changements indésirables dans la couleur de la viande du groupe bergerie causés probablement par l'oxydation des lipides. En effet, l'oxydation des

lipides induite par la production des espèces réactives oxygénées, qui sont responsables de l'oxydation de la myoglobine et sa transformation en metmyoglobine qui a provoqué à son tour le changement de couleur de la viande (Petron et *al.*, 2007; Ripoll et *al.*, 2011). Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par Luciano et *al.* (2009b, 2011) qui ont rapporté que la conduite des agneaux au pâturage améliore la stabilité de la couleur de la viande lors de la conservation en comparaison à celle produite en bergerie. Ainsi, ces auteurs ont constaté que la stabilité de la couleur est liée particulièrement au niveau des antioxydants dans la viande qui la protège contre l'oxydation de la myoglobine. Cependant, la stabilité de la couleur de la viande produite sur parcours après une durée de stockage de 5 jours est associée probablement à la teneur élevée en Vit E déterminée pour les agneaux élevés sur parcours.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail était de caractériser la qualité bouchère, les caractéristiques musculaires et de la qualité de la viande des agneaux élevés sur un parcours naturel amélioré avec une légumineuse arbustive en l'occurrence *Medicago arborea* et de le comparer à celui produit en bergerie et ayant la même quantité d'aliment concentré. Le deuxième objectif était d'étudier les effets de la supplémentation en grignons d'olive pour les deux modes de conduite.

Le parcours utilisé dans cette étude est composé par deux types de végétation : des espèces arbustives et une strate herbacée. Le couvert végétal de la strate herbacée est caractérisé par la dominance de *Stipa parviflora* et *Cynodon dactylon* ce qui s'est traduit par une faible richesse spécifique de ce parcours. La composition floristique du parcours montre une contribution assez élevée des espèces à faible palatabilité pour les agneaux notamment la famille des astéracées qui indique probablement une perturbation de la flore pastorale de ce parcours. Aussi, la répartition des espèces selon leur cycle biologique, qui exprime en partie leur adaptation à l'environnement, montre que plus que la moitié des espèces herbacées sont de type thérophytes, caractérisées par des rythmes saisonniers généralement courts en raison du climat semi-aride qui caractérise la région de Saouef.

La conduite sur parcours naturel amélioré par *Medicago arborea* a permis aux agneaux d'avoir une meilleure croissance pondérale que ceux élevés en bergerie avec du foin d'avoine. Néanmoins, le rendement commercial était plus élevé pour ces derniers avec une carcasse plus grasse représentée par un poids du gras caudal et péri rénal plus important, une épaisseur de gras de couverture et une part de gras dans la carcasse plus élevées. Ceci indique que la conduite sur parcours semble être le mode le plus adapté pour produire une carcasse maigre. Toutefois, il est à souligner que dans notre étude, les agneaux ont été abattus au début de la saison estivale à un poids de 33 kg en raison de l'apport limité du parcours. Les agneaux auraient pu être mieux finis s'il était encore possible d'exploiter le parcours. Alors devant cette situation, les éleveurs se trouvent obligés à engraisser et/ou finir les agneaux en bergerie avec un apport élevé d'aliment concentré en raison de la mauvaise qualité de foin ce qui pourrait conduire à la disparition progressive d'un produit de qualité « viande d'agneau de race Barbarine élevé sur parcours ». Dans ce contexte, le recours à certaines stratégies alimentaires (blocs alimentaires, ensilage des sous-produits agro-industriels,...) est

recommandé. Aussi, des études ont montré que l'application d'une restriction alimentaire pendant la période estivale suivie d'une réalimentation constitue une alternative pour produire une viande d'agneau de qualité.

Le mode de conduite a eu peu d'effets sur la qualité technologique de la viande (pH de la viande et sur la perte totale en eau). Toutefois, la perte en eau à l'écoulement a été plus faible pour la viande des agneaux sur parcours. Les caractéristiques musculaires affectent d'une manière significative les qualités sensorielles de la viande. Dans cette étude, le mode de conduite a très peu modifié les caractéristiques musculaires, à l'exception de la part des fibres de type 1 qui était et contrairement à ce qui est attendu plus faible pour les agneaux élevés sur parcours. Par ailleurs, la viande des agneaux de parcours a été jugée plus tendre et plus juteuse, avec une flaveur plus intense que celle produite en bergerie qui a montré une flaveur moins intense. Malgré l'activité physique plus élevée des agneaux sur parcours, la part des fibres à métabolisme oxydatif était plus faible. Deux explications sont possibles. Le muscle choisi est un muscle glycolytique. Nous aurions probablement pu voir un effet de l'activité physique sur les proportions des fibres si nous avions choisi un muscle oxydatif. La deuxième explication est le niveau de croissance plus élevé des agneaux sur parcours.

Quant à la qualité nutritionnelle, les valeurs du gras intramusculaire indiquent une viande maigre pour les deux modes de conduite, plus intéressante pour la nutrition humaine. Par ailleurs, la viande d'agneaux produite sur un parcours naturel amélioré par *Medicago arborea* présente des particularités très intéressantes pour la santé humaine. En effet, la conduite des agneaux sur parcours a permis de diminuer la proportion des acides gras indésirables notamment l'acide palmitique (C16:0) et d'augmenter celle des acides gras polyinsaturés au détriment des acides gras monoinsaturés. Aussi, la viande produite sur parcours contient plus d'acides gras polyinsaturés de type oméga 3, en particulier l'acide α -linoléique (C18:3n-3) et l'acide eicosapentaénoïque (C20: 5n-3) par rapport à celle produite en bergerie. Ceci se traduit, pour cette viande, par un rapport AGPI/AGS plus élevé et un rapport AGPI n-6/AGPI n-3 plus faible, qui rapprochent des rapports recommandés en nutrition humaine.

L'étude de la stabilité des lipides a montré que bien que la viande produite sur parcours contienne plus d'acides gras polyinsaturés, cette viande a montré une meilleure stabilité et moins de risque d'oxydation des lipides, avec une teneur en malondialdéhyde après une durée de stockage de 5 jours, plus faible que celle des agneaux en bergerie. Cette stabilité est probablement liée aux teneurs élevées en antioxydants endogènes (activité de catalase) et

exogènes (vitamine E) déterminées au niveau de la viande produite sur parcours. Aussi, cette même viande a montré une meilleure stabilité de la couleur après une durée de stockage de 5 jours.

La deuxième question posée dans ce travail concerne les effets de l'incorporation des grignons d'olive dans les rations des agneaux sur parcours et des agneaux élevés en bergerie sur les performances zootechniques et bouchères et sur la qualité de la viande. Les résultats obtenus montrent que la supplémentation des rations d'agneaux, élevés sur parcours ou en bergerie, avec 280 g MB/j/tête de GO n'a pas eu d'effet sur les performances de croissance des agneaux. Aussi, les effets de la supplémentation des GO sur la qualité des carcasses semblent être très limités. Ainsi, l'état d'engraissement et les rendements à la découpe, en viande et la composition tissulaire des différents morceaux et des carcasses ne sont pas modifiés par la supplémentation. Egalement, la supplémentation en GO a eu peu d'effets, voir même négligeable, sur la qualité de la viande, la composition et la stabilité des lipides. Ces résultats pourraient être expliqués en partie à la faible teneur en composés secondaires apportée par les grignons qu'on a utilisé dans cet essai. Actuellement, les travaux réalisés pour évaluer les effets de l'utilisation des GO dans la ration des animaux sur la qualité de la viande sont limités et ne sont pas encore très bien définis. Alors, il est envisagé d'étudier d'autres types de grignons ainsi que l'effet de la variété des olives sur la qualité et la composition chimique et en composés secondaires.

Globalement, les résultats obtenus montrent bien que l'engraissement des agneaux sur parcours amélioré par *Medicago arborea* et avec un apport modéré d'aliment concentré présente l'avantage de produire une viande maigre avec une bonne qualité nutritionnelle, favorable à la valeur santé des acides gras pour l'homme, et une meilleure stabilité aux processus de peroxydation lors de la conservation. De point de vue sensoriel, cette viande semble être plus appréciée. Quant à la supplémentation en grignons d'olive, elle a eu peu d'effets sur les performances de croissance, la qualité de la carcasse et de la viande, ainsi que sur la stabilité des lipides et de la couleur de la viande. Globalement, les résultats obtenus montrent bien que l'introduction de grignons d'olive avec 280 g MB/j/tête de la ration des agneaux sur parcours ou en bergerie, n'affecte pas négativement les performances zootechniques et bouchères. Quant à la qualité des lipides et leur stabilité, les grignons d'olive dans cet essai et contrairement à ce qui est attendu n'ont eu aucun effet probablement à cause de leur teneur relativement faible en composés secondaires.

Ce travail de thèse a permis de confirmer que la valeur "santé" des lipides de la viande des agneaux élevés sur parcours est bien meilleure. En plus, cette viande est bien plus stable lors de sa conservation, avec moins de phénomène de peroxydation. De même, cette viande a de meilleures qualités sensorielles. Cette viande de qualité a été obtenue, avec un apport modéré d'aliment concentré et en ayant des performances zootechniques et bouchères acceptables pour la race. Néanmoins, le système présente la limite de ne pas pouvoir finir les agneaux à des poids vifs qui dépassent les 33-35 kg, vu le manque de ressources pastorales en été.

L'agneau de race Barbarine conduit sur parcours pourrait ainsi avoir sa place en tant que produit de qualité moyennant une meilleure gestion des parcours et l'amélioration de la qualité des parcours de la région semi-aride par la plantation des arbustes fourragers à valeur nutritive élevée telle que *Medicago arborea* et/ou par la mise en défens, l'encadrement des éleveurs pour diffuser la bonne gestion des techniques alimentaires en élevage ainsi que l'encouragement des engraisseurs par un paiement de leurs agneaux à la qualité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abbeddou, S., Rischkowsky, B., Richter, E.K., Hess, H.D., Kreuzer, M., 2011.** Modification of milk fatty acid composition by feeding forages and agro-industrial byproducts from dry areas to Awassi sheep. *Journal of Dairy Science*, 94, 4657–4668.
- **Abdullah, Y.A., Qudsieh, R.I., 2008.** Carcass characteristics of Awassi ram lambs slaughtered at different weights. *Livestock Science*, 117, 165–175.
- **Abete, I., Romaguera, D., Vieira, A.R., Lopez de Munain, A., Norat, T., 2014.** Association between total, processed, red and white meat consumption and all-cause, CVD and IHD mortality: a meta-analysis of cohort studies. *British Journal of Nutrition*, 112, 762–775.
- **Abo Omar, J.M., Daya, R., Ghale, A., 2012.** Effects of different forms of olive cake on the performance and carcass quality of Awassi lambs. *Animal Feed Science Technology*, 171, 167–172.
- **Ådnøy, T., Haug, A., Sørheim, O., Thomassen, M.S., Varszegi, Z., Eik, L.O., 2005.** Grazing on mountain pastures - does it affect meat quality in lambs? *Livestock Production Science*, 94, 25-31.
- **Aebi, H., 1974.** Catalase. In: Bergmeyer, H.U. (Ed.), *Methods of Enzymatic Analysis*. Academic Press, New York, pp. 673-677.
- **AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments, 2010.** Avis de l'AFSSA du 1er mars 2010 relatif à l'actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. N°saisine n°2006-SA-0359, p. 1-10
- **Agarwal, R., Chase, S.D., 2002.** Rapid, fluorimetric-liquid chromatographic determination of malondialdehyde in biological samples. *Journal of Chromatography, B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 775, 121–126.
- **Agergaard, N., Jensen, P.T., 1982.** Procedure for blood glutathione peroxidase determination in cattle and swine. *Acta Veterinaria Scandinavia*, 23, 515–527.
- **Alexandre, G., Bocage, B., Coppry, O., Weisbecker, J.L., Mahieu, M., Archimède, H., 2008.** Paramètres de découpe et de mensurations des carcasses d'agneaux Martinik élevés en conditions intensives. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire. Pays tropicaux*, 61 (2) : 121-126.
- **Al Jassim, R.A.M., Awadeh, F.T., Abodabos, A., 1997.** Supplementary feeding value of urea-treated olive cake when fed to growing Awassi lambs. *Animal Feed Science Technology*, 64, 287-292.
- **Álvarez, I., De la Fuente, J., Díaz, M.T., Lauzurica, S., Pérez, C., Cañeque, V., 2008.** Estimation of a-tocopherol concentration necessary to optimise lamb meat quality stability during storage in high-oxygen modified atmosphere using broken-line regression analysis. *Animal*, 2, 1405–1411.
- **Amar, C., 2010.** Stress oxydatif, calcium et thermalisme. *La Presse thermale et climatique Journal*, 147, 121-138.
- **Ansary, M., 1974.** Individualité musculaire chez le bovin: étude de l'équipement enzymatique de quelques muscles. *Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys. Annales de Biologie Animale, Biochimie, Biophysique*, 14, 471–486.

- **AOAC: Association Official Agricultural Chemists, 1997.** Official Method of Analysis, 15th ed. AOAC, Washington, DC, USA.
- **Aouadi, D., Luciano, G., Vasta, V., Nasri, S., Brogna, D.M.R., Abidi, S., Priolo, A., Ben Salem, H., 2014.** The antioxidant status and oxidative stability of muscle from lambs receiving oral administration of *Artemisia herba alba* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Meat Science*, 97, 237–243.
- **Archile-Contreras, A.C., Mandell, I.B., Purslow, P.P., 2010.** Disparity of dietary effects on collagen characteristics and toughness between two beef muscles. *Meat Science*, 86, 491–497.
- **Archimède, H., Pellonde, Despois, P., Etienne, T., Alexandre, G., 2008.** Growth performances and carcass traits of Ovin Martinik lambs fed various ratios of tropical forage to concentrate under intensive conditions. *Small Ruminant Research*, 75, 162–170.
- **Atti, N., 2011.** Système optimum de conduite des ovins: Cas des conditions alimentaires améliorées du sud de la Méditerranée. *Options Méditerranéennes : Série A*. 97, p 51-60.
- **Atti, N., Abdouli, H., 1997.** Effets du niveau alimentaire et de la race sur la croissance et la qualité de carcasses des agneaux. *Options Méditerranéennes, série A*, 195-198.
- **Atti, N., Abdouli, H., 2001.** Effets du niveau du concentré sur les performances bouchères des agneaux de race Barbarine conduits au pâturage ou en bergerie. *Annales de l'INRAT*, 75, 239-250.
- **Atti, N., Ben Salem, H., 2008.** Compensatory growth and carcass composition of Barbarine lambs receiving different levels of feeding with partial replacement of the concentrate with feed blocks. *Animal Feed Science and Technology*, 147, 265–277.
- **Atti, N., Bocquier, F., Khaldi, G., 2004.** Performance of the fat-tailed Barbarine sheep in its environment: adaptive capacity to alternation of underfeeding and re-feeding periods. A review. *Animal Research*, 53, 165–176.
- **Atti, N., Labidi, J., Mahouachi, M., 2013.** Effects of feeding system and Acacia-condensed tannins on lamb growth and meat characteristics. *Options Méditerranéennes, série A*, 107, 177-181.
- **Atti, N., Mahouachi, M., 2009.** Effects of feeding system and nitrogen source on lamb growth, meat characteristics and fatty acid composition. *Meat Science*, 81, 344–348.
- **Atti, N., Mahouachi, M., 2011.** The effects of diet, slaughter weight, and docking on growth, carcass composition and meat quality of fat-tailed Barbarine lambs: A review. *Tropical Animal Health and Production*, 43, 1371-1378.
- **Aurousseau, B., 1984.** Effets combinés de l'apport d'acide caproïque et de la concentration en protéines sur l'utilisation de laits artificiels par l'agneau préruminant : (II) Croissance et composition corporelle des agneaux. *Annales de Zootechnie*, 33, 201-218.
- **Aurousseau, B., 2002.** Oxygen Radicals in Farm Animals. Physiological Effects and Consequences on Animal Products. *INRA Productions Animales*, 15(1), 67-82.
- **Aurousseau, B., Bauchart, D., Calichon, E., Micol, D., Priolo, A., 2004.** Effect of grass or concentrate feeding systems and rate of growth on triglyceride and

- phospholipid and their fatty acids in the *M. longissimus thoracis* of lambs. Meat Science, 66, 531–541.
- **Aurousseau, B., Bauchart, D., Faure, X., Gagroupe, A.L., Prache, S., Micol, D., Priolo, A., 2007.** Indoor fattening of lambs raised on pasture: (1) Influence of stall finishing duration on lipid classes and fatty acids in the *longissimus thoracis* muscle. Meat Science, 76, 241–252.
 - **Ayeb, N., 2016.** Effet de quelques ressources alimentaires des zones arides tunisiennes sur la qualité nutritionnelles du lait et de la viande des caprins. Thèse de doctorat, ISA Chott-Meriem, 126 p.
 - **Bas, P., Berthegroupe, V., Pottier, E., Normand, J., 2007.** Effect of level of linseed on fatty acid composition of muscles and adipose tissues of lambs with emphasis on *trans* fatty acids. Meat Science, 77, 678–688.
 - **Bauchart, D., Doreau, M., Legay-Carmier, F., 1985.** Utilisation digestive des lipides et conséquences de leur introduction sur la digestion du ruminant. Bulletin Technique du C.R.V.Z. Theix, 61, 65-77.
 - **Bauchart, B., Roy, A., Lorenz, S., Chardigny, J.M., Ferlay, A., Gruffat, D., Sébédio, J.L., Chilliard, Y., Durand, D., 2007.** Butters Varying in trans 18:1 and cis-9,trans-11 Conjugated Linoleic Acid Modify Plasma Lipoproteins in the Hypercholesterolemic Rabbit. Lipids, 42, 123–133
 - **Bauchart, D., Chantegroupe, F., Gandemer, G., 2008.** Nutrition quality of beef and bovine offal: Recent results for the main nutrients. Cahiers de nutrition et de diététique, 43 (Hors Série 1). 1S9-1S39.
 - **Bayourthe, C., Ali-Haimoud-Lekhal, D., 2014.** Les extraits de plantes chez le ruminant : effets sur les fermentations dans le rumen et la qualité lipidique des produits animaux. INRA Productions Animales, 27 (4), 317-328.
 - **Ben Ettoumia, R., Majdoub-Mathlouthi, L., Vernet, J., Ortigues-Marty, I., Al Jammas, M., Kraiem, K., 2014.** Prédiction des performances de croissance de l'agneau post-sevré à partir des variations des apports azotés de la ration Prediction of post weaned lamb growth performance from nitrogen intake changes. 21èmes Rencontres Recherches sur les Ruminants, 21, p 398.
 - **Ben Hammouda, M., 1981.** Effet du milieu sur la croissance des races ovines. Mémoire de troisième cycle, INAT, Tunis, 159 p.
 - **Ben Hamouda, M., 1985.** Description biométrique et amélioration génétique de la croissance pondérale des ovins de race Barbarine. Thèse de doctorat en sciences agronomique, Université de Gand-Belgique, 166p.
 - **Ben Salem H., 2011.** Mutations des systèmes alimentaires des ovins en Tunisie et place des ressources alternatives. Options Méditerranéennes : Série A. 97, p. 29 -39.
 - **Ben Salem, H., Nefzaoui, A., 2003.** Feed blocks as alternative supplements for sheep and goats. A review. Small Ruminant Research, 49, 266–279.
 - **Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben Salem, L., 2002.** *Opuntia ficus indica f. inermis* and *Atriplex nummularia L.* Two complementary fodder shrubs for sheep and goats. Acta Horticult. 581, 333–341.

- **Ben Salem, H., Norman, H.C., Nefzaoui, A., Mayberry, D.E., Pearce, K.L., Revell, D.K., 2010.** Potential use of oldman saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in sheep and goat feeding: Review. *Small Ruminant Research* 91, 13–28.
- **Ben Salem, H., Smith, T., 2008.** Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Research*, 77, 174–194.
- **Ben Salem, H., Znaïdi, I.A., 2008.** Partial replacement of concentrate with tomato pulp and olive cake-based feed blocks as supplements for lambs fed wheat straw. *Animal Feed Science and Technology*, 147, 206–222.
- **Berthegroupe, V., Bas, P., Schmidely, P., 2010.** Utilization of extruded linseed to modify fatty composition of intensively-reared lamb meat: Effect of associated cereals (wheat vs. corn) and linoleic acid content of the diet. *Meat Science*, 84, 114–124.
- **Berthegroupe, V., Bas, P., Pottier, E., Normand, J., 2012.** The effect of maternal linseed supplementation and/or lamb linseed supplementation on muscle and subcutaneous adipose tissue fatty acid composition of indoor lambs. *Meat Science*, 90, 548–557.
- **Blanco, M., Casasús, I., Ripoll, G., Panea, B., Albertí, P., Joy, M., 2010.** Lucerne grazing compared with concentrate-feeding slightly modifies carcass and meat quality of young bulls. *Meat Science*, 84, 545–552.
- **Boccard, R., Dumont, B.L., Peyron, C., 1964.** Etude de la production de la viande chez les ovins. *Annales de Zootechnie*, 13,367-378.
- **Bonnet, M., Gruffat, D., Hocquette, J.H., 2010.** Métabolisme lipidique des tissus musculaires et adipeux. . In: D. Bauchart and B. Picard (eds). *Muscle et viande de ruminant*. p 81-90.
- **Borton, R.J., Loerch, S.C., McClure, K.E., Wulf, D.M., 2005.** Comparison of characteristics of lambs fed concentrate or grazed on rye grass to traditional or heavy weights. I. Production, carcass, and organoleptic characteristics. *Journal of Animal Science*, 83, 679–685.
- **Boubaker, A., Kayouli, C., Buldgen, A., 2004.** Composition chimique et teneur en composés phénoliques des espèces arbustives du Nord-Ouest de la Tunisie. *Options Méditerranéennes: Série A*. 62, 315-317.
- **Bourre, J.M., 2006.** Effects of nutrients (in food) on the structure and function of the nervous system: update on dietary requirements for brain. Part 1: Micronutrients. *Journal of Nutrition Health and Aging*, 10, 377–385.
- **Botsoglou, N.A., Fletouris, D.J., Papageorgiou, G.E., Vassilopoulos, V.N., Mantis, A.J., Trakatellis, A.G., 1994.** Rapid, Sensitive, and Specific Thiobarbituric Acid Method for Measuring Lipid-Peroxidation in Animal Tissue, Food, and Feed stuff Samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 1931–1937.
- **Bray, A.R., Graafhuis, A.E., Chrystall, B.B., 1989.** The cumulative effect of nutritional, shearing and preslaughter washing stresses on the quality of lamb meat. *Meat Science*, 25, 59–67.
- **Briand, M., Talmant, A., Briand, Y., Monin, G., Durand, R., 1981.** Metabolic types of muscle in the sheep: I. Myosin ATPase, glycolytic and mitochondrial enzyme activities. *European Journal of Applied Physiology*, 46, 347–358.

- **Brogna, D.M.R., Tansawat, R., Cornforth, D., Ward, R., Bella, M., Luciano, G., Priolo, A., Villalba, J., 2014.** The quality of meat from sheep treated with tannin- and saponin-based remedies as a natural strategy for parasite control. *Meat Science*, 96, 744–749.
- **Butterfield, R.M., 1988.** New concepts of sheep growth. Australia: Department of Veterinary Anatomy University of Sydney. 184 pages
- **Cabrera, M.C., Saadoun, A. 2014.** An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America: Review. *Meat Science*, 98, 435–444
- **Campidónico, L., Toral, P.G., Priolo, A., Luciano, G., Valenti, B., Hervás, G., Frutos, P., Copani, G., Ginane, C., Niderkorn, V., 2016.** Fatty acid composition of ruminal digesta and longissimus muscle from lambs fed silage mixtures including red clover, sainfoin, and timothy. *Journal of Animal Science*, 94, 1-11.
- **Campo, M.M., Nute, G.R., Hughes, S.I., Enser, M., Wood, J.D., Richardson, R.I., 2006.** Flavour Perception of Oxidation in Beef. *Meat Science*, 72, 303-311.
- **Cañeque, V., Velasco, S., Díaz, M.T., De Huidobro, F.R., Pérez, C., Lauzurica, S., 2003.** Use of whole barley with a protein supplement to fatten lambs under different management systems and its effect on meat and carcass quality. *Animal Research*, 52 (3), 271-285.
- **Carrasco, S., Ripoll, G., Panea, B., Álvarez-Rodríguez, J., Joy, M., 2009.** Carcass tissue composition in light lambs: Influence of feeding system and prediction equations. *Livestock Science*, 126, 112–121.
- **Cassar-Malek, I., Jurie, C., Bernard, C., Barnola, I., Micol, D., Hocquette, J.H., 2009.** Pasture-feeding of charolais steers influences skeletal muscle metabolism and gene expression. *Journal of Physiology and pharmacology*, 60 (Suppl. 3), 83-90
- **Cartier, P., Moëvi, I., 2007.** Le point sur la qualité des carcasses et des viandes de gros bovins. Institut de l'Élevage: Paris, 72 p.
- **CIE: Commission Internationale de l'Éclairage 1986.** Colorimetry, 2nd édition. CIE Publication, Vienna, Austria.
- **Chaabane, K., Bergaoui, R., Ben Hammouda, M., 1997.** Utilisation de différents types de grignons d'olive dans l'alimentation des lapereaux. *World Rabbit Science*, 5 (1), 17-21.
- **Chaieb, M., Zaâfour, M.S., 2000.** L'élevage extensif, facteur écologique primordial de la transformation phytosociologique du cortège floristique en milieu steppique tunisien. *Options Méditerranéennes: Série A*. 39, 217-222.
- **Chilliard, Y., Ferlay, A., Doreau, M., 2001.** Effect of different type of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids: Review. *Livestock Production Science*, 70, 31-48.
- **Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J., Doreau, M., 2007.** Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109, 829–855.
- **Chiofalo, B., Liotta, L., Zumbo, A., Chiofalo, V., 2004.** Administration of olive cake for ewe feeding: effect on milk yield and composition. *Small Ruminant Research*, 55, 169–176.

- **Chriki, S., Renand, G., Picard, B., Micol, D., Journaux, L., Hocquette, J.F., 2013.** Metaanalysis of the relationships between beef tenderness and muscle characteristics. *Livestock Science*, 155, 424–434.
- **Cillard, J., Cillard, P., 2006.** Mécanismes de la peroxydation lipidique et des anti-oxydations. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 13, 24-29.
- **Cividini, A., Levart, A., Žgur, S., Kompan, D., 2014.** Fatty acid composition of lamb meat from the autochthonous Jezersko–Solčava breed reared in different production systems. *Meat Science*, 97, 480–485.
- **Coibion, L., 2008.** Acquisition des qualités organoleptiques de la viande bovine : adaptation à la demande du consommateur. Mémoire de thèse. Université Paul-Sabatier de Toulouse. 97p
- **Colomer-Rocher, F., 1988.** Méthode normalisée pour l'étude des caractères quantitatifs et qualitatifs des carcasses ovines produites dans le bassin méditerranéen, en fonction des systèmes de production. *Commission des communautés européennes*, 7-31.
- **Coulon, J.B., Priolo, A., 2002.** La qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande dépend des fourrages consommés par les animaux. *INRA Productions Animales*, 15 (5), 333-342.
- **Cui, L., Decker, E.A., 2016.** Phospholipids in foods: prooxidants or antioxidants? Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 18–31.
- **Cuvelier, C., Cabaraux J.F., Dufrasne, I., Istasse, L., Hornick, J.L., 2005.** Production, digestion et absorption des acides gras chez le ruminant. *Annales de MédecineVétérinaire*, 149, 49-59
- **Cuvelier, M.E., Maillard, M.N., 2012.** Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 19(2), 125-132.
- **Daget, Ph., Gordon, M., 1995.** Pastoralisme : troupeaux, espaces, sociétés, Paris, Hatier-AUPELF-UREF, 510 p.
- **Daget, P., Poissonet J., 1971.** Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. *Annales agronomiques*, 22, 5–41.
- **Dal Bosco, A., Mourvaki, E., Cardinali, R., Servili, M., Sebastiani, B., Ruggeri, S., Mattioli, S., Taticchi, A., Esposto, S., Castellini, C., 2012.** Effect of dietary supplementation with olive pomaces on the performance and meat quality of growing rabbits. *Meat Science*, 92, 783–788.
- **Dal Bosco, A., Mugnai, C., Roscini, V., Mattioli, S., Ruggeri, S., Castellini, C., 2014.** Effect of dietary alfalfa on the fatty acid composition and indexes of lipid metabolism of rabbit meat. *Meat Science*, 96, 606-609.
- **Daley, C.A., Abbott, A., Doyle, P.S., Nader, G.A., Larson, S., 2010.** A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutrition Journal*, 9 (Suppl.10), 12 p.
- **De Koning, C.T., Duncan, A.J., 2000.** *Medicago arborea*- a leguminous fodder shrub for low rainfall farming system. In *Legumes for Mediterranean forage crops, pasture and alternatives*. *Cahiers Options Méditerranéenes* 45, 435-438
- **Descalzo, A.M., Insani, E.M., Biolatto, A., Sancho, A.M., García, P.T., Pensel, N.A., Josifovich, J.A., 2005.** Influence of pasture or grain-based diets supplemented

- with vitamin E on antioxidant/oxidative balance of Argentine beef. *Meat Science*, 70, 35–44.
- **Descalzo, A.M., Rossetti, L., Grigioni, G., Irurueta, M., Sancho, A.M., Carrete, J., Pensel, N.A., 2007.** Antioxidant status and odour profile in fresh beef from pasture or grain-fed cattle. *Meat Science* 75, 299-307.
 - **Descalzo, A.M. Sancho, A.M., 2008.** A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef produced in Argentina. *Meat Science*, 79, 423–436.
 - **De Smet, S., Raes, K., Demeyer, D., 2004.** Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Animal Research*, 53, 81–98.
 - **De Souza, R.J., Mente, A., Maroleanu, A., Cozma, A.I., Ha, V., Kishibe, T., Uleryk, E., Budylowski, P., Schünemann, H., Beyene, J., Anand, S.S., 2015.** Intake of saturated and trans unsaturated fatty acids and risk of all cause mortality, cardiovascular disease, and type 2 diabetes: systematic review and meta-analysis of observational studies *British Medical Journal*, 351:h3978.
 - **Devasagayam, T.P.A., Bloor, K.K., Ramasarma, T., 2003.** Methods for estimating lipid peroxidation: An analysis of merits and demerits. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, 40, 300-308.
 - **Devincenzi, T., Prunier, A., Meteau, K., Nabinger, C., Prache, S., 2014.** Influence of fresh alfalfa supplementation on fat skatole and indole concentration and chop odour and flavour in lambs grazing a cocksfoot pasture. *Meat Science*, 98, 607–614.
 - **Díaz, M.T., Álvarez, L., De la Fuente, J., Sañudo, C., Campo, M.M., Oliver, M.A., Font, I., Furnols, M., Montossi, F., San Julián, R., Nute, G.R., Cañeque, V., 2005.** Fatty acid composition of meat from typical lamb production systems of Spain, United Kingdom, Germany and Uruguay. *Meat Science*, 71, 256-263.
 - **Díaz, M.T., Cañeque, V., Sánchez, C.I., Lauzurica, S., Pérez, C., Fernández, C., Álvarez, I., De la Fuente, J., 2011.** Nutritional and sensory aspects of light lamb meat enriched in n₃ fatty acids during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 124, 147–155.
 - **Díaz, M.T., Velasco, S., Cañeque, V., Lauzurica, S., Ruiz de Huidobro, F., Pérez, C., Gonzalez, J., Manzanares, C., 2002.** Use of concentrate or pasture for fattening lambs and its effect on carcass and meat quality. *Small Ruminant Research*, 43, 257-268.
 - **Djemali, M., Aloulou, R., Ben Sassi, M., 1994.** Adjustment factors and genetic and phenotypic parameters for growth traits of Barbarine lambs in Tunisia. *Small Ruminant Research*, 13, 41-47.
 - **Doreau, M., Chilliard, Y., 1997.** Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *British Journal of Nutrition*, 78, Suppl. 1, S15-S35.
 - **Doreau, M., Ferlay, A., 1994.** Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 45, 379-396.
 - **Doreau, M., Ferlay, A., 2015.** Linseed: a valuable feedstuff for ruminants: Review. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 22(6), 1-9.
 - **Doreau, M., Fievez, V., Troegeler-Meynadier, A., Glasser, F., 2012.** Métabolisme ruminal et digestion des acides gras longs chez le ruminant: le point des connaissances récentes. *INRA Productions Animales*, 25 (4), 361-374.

- **Dragomir, L., 2005.** Influence de la race, du sexe et du poids à l'abattage sur la qualité de viande d'agneau lourd. Mémoire de mastère of Sciences en Animales. Québec: Université Laval.
- **Dubost, A., Micol, D., Picard, B., Lethias, C., Andueza, D., Bauchart, D., Listrat, A., 2013.** Structural and biochemical characteristics of bovine intramuscular connective tissue and beef quality. *Meat Science*, 95, 555-561.
- **Dudouet, Ch., 1997.** La production du mouton, édition France agricole, 272p.
- **Dudouet Ch., 2003.** La production du mouton. 2^{ème} édition : Editions France Agricole. 287p.
- **Durand, D., Scislawski, V., Gruffat, D., Chilliard, Y., Bauchart, D., 2005.** High-fat rations and lipid peroxidation in ruminants; consequences on the health of animals and quality of their products. 55th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Bled (Slovenia); In “Indicators of milk and beef quality”, EAAP Publ. 112 (Editors Hocquette J.F. and GigliS.), Wageningen Academic Publishers, 137-150
- **EFSA: European Food Safety Authority, 2010.** Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal*, 8 (1641), 1–107.
- **Elmore, J.S., Mottram, D.S., Enser, M., Wood, J.D., 1999.** Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 1619-1625.
- **Elmore, J.S., Mottram, D.S., Enser, M., Wood, J.D., 2000.** The effects of diet and breed on the major volatiles present in lamb aroma. *Meat Science*, 55, 149–159.
- **Elmore, S.J., Cooper, S.L., Enser, M., Mottram, D.S., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., Wood, D.J., 2005.** Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb. *Meat Science*, 69, 233–242.
- **Eltawil, E.A., Hazel, L.N., Sidwell, G.M., Terrill. C.E., 1970.** Evaluation of Environmental Factors Affecting Birth, Weaning and Yearling Traits in Navajo Sheep1. *Journal of Animal Science*, 31, 823-827.
- **Esterbauer, H., 1993.** Cytotoxicity and Genotoxicity of Lipid-Oxidation Products. *American Journal of Clinical Nutrition*, 57(5), S779-S786.
- **Esterbauer, H., Schaur, R.J., Zollner, H., 1991.** Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malondialdehyde and related aldehydes. *Free Radical Biology and Medecine*, 11(1), 81-128.
- **Falchero, L., Lombardi, G., Gorlier, A., Lonati, M., Odoardi, M., Cavallero, A., 2010.** Variation in fatty acid composition of milk and cheese from cows grazed on two alpine pastures. *Dairy Science Technology*, 90, 657–672.
- **Fang, Y.Z., Yang, S., Wu, G., 2002.** Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition*, 18, 872– 879.
- **FAO, 2016.** Programme d’investissement forstier en Tunisie : Plan d’investissement. 74 p.
- **Faria, P.B., Bressan, M.C., Vieira, J.O., Vicente-Neto, J., Ferrão, S.P.B., Rosa, F.C., Monteiro, M., Cardoso, M.G., Gama, L.T., 2012.** Meat quality and lipid

- profiles in crossbred lambs finished on clover-rich pastures. *Meat Science*, 90, 733–738.
- **Farruggia, A., Martin, B., Baumont, R., Prache, S., Doreau, M., Hoste, H., Durand, D., 2008.** Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanents pour les ruminants et les produits animaux ? *INRA Productions Animales*, 21 (2), 181-200.
 - **Faustman, C., Cassens, R.G., Schaefer, D.M., Buege, D.R., Williams, S.N., Scheller, K.K., 1989.** Improvement of Pigment and Lipid Stability in Holstein Steer Beef by Dietary Supplementation With Vitamin-E. *Journal of Food Science* 54, 858-862.
 - **Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., Suman, S.P., 2010.** Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control: Review. *Meat Science*, 86, 86–94.
 - **Favier, A., 1997.** The Oxidative Stress: Interest of Its Monitoring in Clinical Chemistry and Problems of the Choice of an Appropriate Parameter. *Annales de Biologie Clinique (Paris)*, 55(1), 9-16.
 - **Favier, A., 2003.** Le stress oxydant : Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité chimique*, 108-115.
 - **Fisher, A.V., De Boer, H., 1994.** The EAAP standard method of sheep carcass assessment. Carcass measurements and dissection procedures. Report of the EAAP Working Group on Carcass Evaluation. *Livestock Production Science*, 38, 149–159.
 - **Flamant, J.C., Boccard, R., 1966.** Estimation de la qualité de la carcasse des agneaux de boucherie. *Annales de zootechnie*, 15 (1), 89-113.
 - **Floret C., 1988.** Méthode de mesures de la végétation pastorale. *Pastoralisme et développement*. Rabat-Mentpellier ; 95p+annexes.
 - **Floret Ch., Galan M.J., LE Floc'h., Orshan G., Romane F., 1990:** Growth forms and phenomology traits along an environmental gradient: tools for studing vegetation. *Journal of vegetation science*, 1, 71-80.
 - **Folch, J., Lees, M., Stanley, G.H.S., 1957.** A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissue. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.
 - **Fonseca, S., Wilsons, I.J., Horgan, G.W., Maltin, C.A., 2003.** Slow fiber cluster pattern in pig *longissimus thoracis* muscle: implications for myogenesis. *Journal of Animal Science*, 81, 973-983.
 - **Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2002.** The biological action of saponins in animal systems: a review. *British Journal of Nutrition*, 88, 587–605.
 - **Frankel, E. N., 2005.** Lipid oxidation. *Progress in Lipid Research*, 19, 1-22.
 - **Fraser, M.D., Speijers, M.H.M., Theobald, V.J., Fychan, R., Jones, R., 2004.** Production performance and meat quality of grazing lambs finished on red clover, lucerne or perennial ryegrass swards. *Grass and Forage Science*, 59, 345–356.
 - **French, P., O’Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffrey, P.J., Mooney, M.T., Troy, D.J., Moloney, A.P., 2001.** The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Science*, 57, 379–386.

- **Frontier, S., Pichod-Viale, D., 1993.** Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution. Coll. écologie 21. (2^{ed}). Masson, Paris, 448 p.
- **Gallardo, B., Manca, M.G., Mantecón, A.R., Nudda, A., Manso, T., 2015.** Effects of linseed oil and natural or synthetic vitamin E supplementation in lactating ewes' diets on meat fatty acid profile and lipid oxidation from their milk fed lambs. *Meat Science*, 102, 79–89.
- **Gatellier, P., Hamelin, C., Durand, Y., Renerre, M., 2001.** Effect of a dietary vitamin E supplementation on colour stability and lipid oxidation of air- and modified atmosphere-packaged beef. *Meat Science*, 59, 133–140.
- **Gatellier, P., Mercier, Y., Juin, H., Renerre, M., 2005.** Effect of finishing mode (pasture- or mixed-diet) on lipid composition, colour stability and lipid oxidation in meat from Charolais cattle. *Meat Science*, 79, 175–186.
- **Gatellier, P., Mercier, Y., Renerre, M., 2004.** Effect of diet finishing mode (pasture or mixed diet) on antioxidant status of Charolais bovine meat. *Meat Science*, 67, 385-394.
- **Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette J.F., Culioli, J., 2001.** Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reproduction Nutrition Development*, 41, 1-26.
- **Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette J.F., Culioli, J., 2002.** Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes des ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. *INRA Productions Animales*, 15, 37-52.
- **Genot, C., 2000.** Congélation et qualité de la viande. Editions Quae, 2000 - 98 pages
- **Genot, C., Michalski, M.C., 2010.** Impact métabolique des structures et de l'oxydation des lipides dans les aliments. *Innovations Agronomiques*, 10, 43-67.
- **GIVLait : Groupement Interprofessionnel des Viandes Rouges et du Lait :** <http://www.givlait.com.tn/>
- **Ghanbari, R., Anwar, F., Alkharfy, K.M., Gilani, A.H., Saari, N., 2012.** Valuable nutrients and functional bioactives in different parts of olive (*Olea europaea* L.): A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 3291–3340.
- **Girard, M., Dohme-Meier, F., Silacci, P., Ampuero Kragten, S., Kreuzer, M., Bee, G., 2016.** Forage legumes rich in condensed tannins may increase n-3 fatty acid levels and sensory quality of lamb meat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 1923-33.
- **Gladine, C., Morand, C., Rock, E., Bauchart, D., Durand, D., 2007a.** Plant extracts rich in polyphenols (PERP) are efficient antioxidants to prevent lipoperoxidation in plasma lipids from animals Fed N–3 PUFA supplemented diets. *Animal Feed Science and Technology*, 136, 281–296.
- **Gladine, C., Rock, E., Morand, C., Bauchart, D., Durand, D., 2007b.** Bioavailability and antioxidant capacity of plant extracts rich in polyphenols, given as a single acute dose, in sheep made highly susceptible to lipoperoxidation. *British Journal of Nutrition*, 98, 691–701.

- **Gobert, M., Gruffat, D., Habeanu, M., Parafita, E., Bauchart, D., Durand, D., 2010.** Plant extracts combined with vitamin E in PUFA-rich diets of cull cows protect processed beef against lipid oxidation. *Meat Science*, 85, 676–683.
- **Gobert, M., Martin, B., Ferlay, A., Chilliard, Y., Graulet, B., Pradel, P., Bauchart, D., Durand, D., 2009.** Plant polyphenols associated with vitamin E can reduce plasma lipoperoxidation in dairy cows given N-3 polyunsaturated fatty acids. *Journal of Dairy Science*, 92, 6095–6104.
- **Gómez-Cortés, P., Gallardo, B., Mantecón, A.R., Juárez, M., de la Fuente, M.A., Manso, T., 2014.** Effects of different sources of fat (calcium soap of palm oil vs. extruded linseed) in lactating ewes' diet on the fatty acid profile of their suckling lambs. *Meat Science*, 96, 1304–1312.
- **Gravador, R.S., Luciano, G., Jongberg, S., Bognanno, M., Scerra, M., Andersen, M.L., Lund, M.N., Priolo, A., 2015.** Fatty acids and oxidative stability of meat from lambs fed carob-containing diets. *Food Chemistry*, 182, 27–34.
- Gravador, R.S., Serra, A., Luciano, G., Pennisi, P., Vasta, V., Mele, M., Pauselli, M., Priolo, A., 2014. Volatiles in raw and cooked meat from lambs fed olive cake and linseed. *Animal*, 1-8.
- **Greenwood, P.L.L., Gardner, G.E., Hegarty, R.S., 2006.** Lamb myofibre characteristics are influenced by sire estimated breeding values and pastoral nutritional system. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57, 627–639.
- **Guesnet, P., Alessandri, J.M., Astorg, P., Pifferi, F., Laviolle, M., 2005.** Physiological Functions of Polyunsaturated Fatty Acids. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 12, 333-343.
- **Haddad S.G., Nasr R.E., Muwalla M.M., 2001.** Optimum dietary crude protein level for finishing Awassi lambs. *Small Ruminant Research*, 39, 41-46.
- **Hajji, H., Mahouachi, M., Saidi, C., Smeti, S., Ben Hammouda, M. Atti, N., 2014.** Effets de système de production sur les performances de croissance, la composition de la carcasse et le poids des principaux organes des agneaux de trois races à viande en Tunisie. In Séminaire International sur l'Élevage et la Faune Sauvage, SIEFAD2014 (Jerba, Tunisie, 16 - 18 décembre 2014)
- **Hajji, H., Smeti, S., Ben Salem, M., Atti, N., 2015.** Effect of protein level on growth performance, non-carcass components and carcass characteristics of young sheep from three breeds. *Animal Production Science*, (<http://dx.doi.org/10.1071/AN14917>).
- **Hajji, H., Joy, M., Ripoll, G., Smeti, S., Mekki, I., Molino Gahete, F., Mahouachi, M., Atti, N., 2016.** Meat physicochemical properties, fatty acid profile, lipid oxidation and sensory characteristics from three North African lamb breeds, as influenced by concentrate or pasture finishing diets. *Journal of Food Composition and Analysis*, 48, 102–110.
- **Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J.O., Charlier, C., Chapelle, J.P., 2007.** Le stress oxydant. *Revue Médicale de Liège*, 62 (10), 628-638.
- **Hamdi, H., 2011.** Engraissement des agneaux en mode biologique : effets de deux types de parcours sur les performances zootechniques et les qualités de la carcasse et de la viande. *Mémoire de mastère, ISA Chott-Meriem*, 79 p.

- **Hamdi, H., Majdoub-Mathlouthi, L., Znaidi, I.A., Aissa, A., Kraiem, K., 2012.** Effet du type de pâturage sur la qualité de la viande des agneaux élevés en mode biologique. 19^{èmes} Rencontres Recherches sur les Ruminants, 19, p 423.
- **Hamdi, H., Majdoub-Mathlouthi, L., Znaidi, I.A., Kraiem, K., 2014.** Floristic and chemical composition of an organic, natural pasture used for fattening lambs in the region of Sidi Bouzid, Tunisia. Options Méditerranéennes A, no. 109, 24-26 Juin 2014 à Clermont-Ferrand, France, p159-162.
- **Hamm, R., 1986.** Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. In P. J. Bechtel (Ed.), Muscle as food (pp. 135–199). New York: Academic Press, Inc
- **Hamrouni, S., Amella, A., Broca, A., Maestro, M., Sanccho, J.V., 1992.** Quelques essais d'utilisation de l'orge dans l'engraissement des agneaux de la race Rasa Aragonesa (Aragón-Espagne). CIHEAM - Options Méditerranéennes. p 81-85.
- **Harfoot, C.G., Hazlewood, G.P., 1997.** Lipid metabolism in the rumen. In: P.N. Hobson, C.S. Stewart (Eds.). The Rumen Microbial Ecosystem. Blackie Academic and Professional, New York, NY; 382-426.
- **Hébel, P., 2012.** Evolution de la consommation de viande en France : Les nouvelles données de l'enquête « Comportements et Consommations Alimentaires en France » (CCAF) 2010.
- **Hiai, S., Oura H., Nakajima T., 1976.** Color reaction of some saponins and saponins with vanillin and sulfuric acid. Planta Medica, 29, 116-122.
- **Hicks, M., Gebicki, J.M., 1979.** A spectrophotometric method for the determination of lipid hydroperoxides Analytical Biochemistry, 99, 249-53.
- **Hill, F., 1966.** The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. Journal of Food Science, 31, 161-166.
- **Hocquette, J.F., Cassar-Malek, I, Listrat, A., Jurie, C., Jailler, R., Picard, B., 2005.** Évolution des recherches sur le muscle des bovins et la qualité sensorielle de leur viande I. Vers une meilleure connaissance de la biologie musculaire: Synthèse. Cahiers Agricultures, 14, 283-289.
- **Hocquette, J. F., Vermorel, M., Bouix, J., 1992.** Influence du froid, du vent et de la pluie sur les dépenses énergétiques et la thermorégulation de sept types génétiques de brebis. Génétique, Sélection, Evolution, 24, 147–169.
- **Honikel, K.O., 1998.** Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Science, 49, 447– 457.
- **Hopkins, D.L., 1996.** Assessment of lamb meat colour. Meat Focus International 5, 400-401.
- **Howes, N.L., Bekhit, A.E.A., Burritt, D.J., Campbell, A.W., 2015.** Opportunities and Implications of Pasture-Based Lamb Fattening to Enhance the Long-Chain Fatty Acid Composition in Meat. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 14, 22-36.
- **Hu, M.L., Frankel, E.N., Leibovitz, B.E., Tappel, A.L., 1989.** Effect of dietary lipids and vitamin E on in vitro lipid peroxidation in rat liver and kidney homogenates. Journal of Nutrition, 119, 1574–1582.

- **Huff-Lonergan, E., Lonergan, S.M., 2005.** Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71, 194–204
- **IARC: International Agency for Research on Cancer, 2015.** Volume 114: Consumption of red meat and processed meat. IARC Working Group. Lyon; 6–13 September, 2015. IARC Monographs evaluate consumption of red meat and processed meat.
- **Ibrahim, H.M., Abou-Arab, A.A., Abu Salem, F.M., 2010.** Addition of some natural plant extracts and their effects on lamb patties quality. *Journal of Food Technology*, 8 (3), 134-142.
- **Insani, E.M., Eyherabide, A., Grigioni, G., Sancho, A.M., Pensel, N.A., Descalzo, A.M., 2008.** Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated retail display of beef produced in Argentina. *Meat Science*, 79, 444–452.
- **Inserra, L., Priolo, A., Biondi, L., Lanza, M., Bognanno, M., Gravador, R., Luciano, G., 2014.** Dietary citrus pulp reduces lipid oxidation in lamb meat. *Meat Science*, 96, 1489–1493.
- **Institut de l'Élevage, 2002.** Apprécier la qualité du gras de couverture des carcasses d'agneaux : Couleur et fermeté. 45 p
- **Institut national de météorologie, 2014.** Rapport annuel pour l'année 2012-2013.
- **Jacques, J., Berthiaume, R., Cinq-Mars, D., 2011.** Growth performance and carcass characteristics of Dorset lambs fed different concentrates: Forage ratios or fresh grass. *Small Ruminant Research*, 95, 113–119.
- **Jayanegara, A., Kreuzer, M., Leiber, F., 2012.** Ruminal disappearance of polyunsaturated fatty acids and appearance of biohydrogenation products when incubating linseed oil with alpine forage plant species in vitro. *Livestock Science*, 147, 104-112.
- **Jenkins, B., West, J.A., Koulman, A., 2015.** A Review of Odd-Chain Fatty Acid Metabolism and the Role of Pentadecanoic Acid (C15:0) and Heptadecanoic Acid (C17:0) in Health and Disease: A review. *Molecules*, 20, 2425-2444.
- **Jeremiah, L.E., Beauchemin, K.A., Jones, S.D.M., Gibson, L.L., Rode, L.M., 1998.** The influence of dietary cereal grain source and feed enzymes on the cooking properties and palatability attributes of beef. *Canadian Journal of Animal Science*, 78, 271 – 275.
- **Jerónimo, E., Alves, S.P., Denttinho, M.P.P., Martins, S.V., Prates, J.A.M., Vasta, V., Santos-Sival, J., Bessa, R.J.B., 2010.** The effect of grape seed extract, *Cistus ladanifer* L., and vegetable oil supplementation on fatty acid composition of abomasal digesta and intramuscular fat of lambs. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58, 10710-10721.
- **Jerónimo, E., Alves, S.P., Prates, J.A.M., Santos-Silva, J., Bessa, R.J.B., 2009.** Effect of dietary replacement of sunflower oil with linseed oil on intramuscular fatty acids of lamb meat. *Meat Science*, 83, 499–505.
- **Jerónimo, E., Alfaia, C.M.M., Alves, S.P., Dentinho, M.T.P., Prates, J.A.M., Vasta, V., Santos-Silva, J., Bessa, R.J.B., 2012.** Effect of dietary grape seed extract

- and *Cistus ladanifer* L. in combination with vegetable oil supplementation on lamb meat quality. *Meat Science*, 92, 841–847.
- **Jiang, J., Xiong, Y.L., 2016.** Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review, *Meat Science*, 120, 107-117.
 - **Journal Officiel de l'Union Européenne, 2008.** Etablissant les modalités de la grille communautaire de classement des carcasses d'ovins. p 6-9.
 - **Joy, M., Ripoll, G., Delfa, R., 2008.** Effects of feeding system on carcass and non-carcass composition of Churra Tensina light lambs. *Small Ruminant Research*, 78, 123–133.
 - **Jurie, C., Ortigues-Marty, I., Picard, B., Micol, D., Hocquette, J.F., 2006.** The separate of the nature of diet and grazing mobility on metabolic potential of muscles from Charolais steers. *Livestock Science*, 104, 182-192.
 - **Jurie, C., Listrat, A., 2010.** Structure et fonction des constituants du muscle squelettique. In: D. Bauchart and B. Picard (eds). *Muscle et viande de ruminant*. p 63-72.
 - **Karim, S.A., Kuldeep, P., Suresh, K., Singh, V.K., 2007.** Carcass traits of Kheri lambs maintained on different system of feeding management. *Meat Science*, 76, 395–401.
 - **Kayouli, Ch., 2000.** Profil fourrager. http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/frenchtrad/Tunisie_fr/Tunisia_fr.htm#4.5.
 - **Ke, P., Ackman, R.G., Linke, B.H., Nash, D.M., 1977.** Differential lipid oxidation products in various parts of frozen mackerel. *International Journal of Food Science & Technology*, 12, 37-47.
 - **Kemp, P., Lander, D., 1984.** Hydrogenation in vitro of α -Linolenic Acid to Stearic Acid by Mixed Cultures of Pure Strains of Rumen Bacteria. *Journal of General Microbiology* (1984), 130, 527-533.
 - **Khalidi, G., 1989.** The Barbary sheep. Small ruminants in the near East. Volume III: North Africa., FAO Animall production and health paper. 74, 96-135.
 - **Khalidi S., 2007.** Etude des caractères de reproduction des brebis et de croissance des agneaux de la souche prolifique W de la race Barbarine : Résultats de 20 années d'élevage. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, INAT. 120p.
 - **Khlijji, S., van de Ven, R., Lamb, T.A., Lanza, M., Hopkins, D.L., 2010.** Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Science*, 85, 224–229.
 - **Kioumarzi, H., Jafari, J.K., Zahedifar, M., Zeidavi, A.R., Mirhosseini, S.Z., Taherzadeh, MR. 2008.** The effect of dietary energy and protein level on performance, efficiency and carcass characteristics of Taleshi lambs. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 3, 307–313.
 - **Kirchofer, K.S., Calkins, C.R., Gwartney, B.L., 2002.** Fiber-type composition of muscles of the beef chuck and round. *Journal of Animal Science*, 80, 2872–2878.
 - **Labuza, T.P., Dugan Jr., L.R., 1971.** Kinetics of Lipid Oxidation in Foods. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 2, 355-405.

- **Laguerre, M., López-Giraldo, L.J., Lecomte, J., Pina, M., Villeneuve, P., 2007.** Outils d'évaluation in vitro de la capacité antioxydante. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 14 (5), 278-292.
- **Laville, E., Bouix, J., Sayd, T., Eychenne, F., Marcq, F., Leroy, P.L., Elsen, J.M., Bibé, B., 2002.** La conformation bouchère des agneaux. Etude d'après la variabilité génétique entre races. *INRA Productions Animales*, 15 (1), p 53-66.
- **Lebret, B., Picard, B., 2015.** Les principales composantes de la qualité des carcasses et des viandes dans les différentes espèces animales. *INRA Productions Animales*, 28 (2), 93-98.
- **Lebret, B., Prache, S., Berri, C., Lefèvre, F., Bauchart, D., Picard, B., Corraze, G., Médale, F., Faure, J., Almi-Durante, H., 2015.** Qualités des viandes : influences des caractéristiques des animaux et de leurs conditions d'élevage. *INRA Productions Animales*, 28 (2), 151-168.
- **Lee, K.G., et Shibamoto, T., 2002.** Determination of Antioxidant Potential of Volatile Extracts Isolated from Various Herbs and Spices. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 4947-4952.
- **Lefaucheur, L., 2010.** A second look into fibre typing – Relation to meat quality: Review. *Meat Science*, 84, 257–270.
- **Lefèvre, G., Beljean-Leymarie, M., Beyerle, F., Bonnefont-Rousségroupe, D., Cristol, J. P., Therond, P., & Torreilles, J., 1998.** Evaluation of Lipid Peroxidation by Assaying the Thiobarbituric Acid-Reactive Substances. *Annales de Biologie Clinique (Paris)*, 56(3), 305-319.
- **Legrand, Ph., 2007.** Les Acides Gras : Structures, Fonctions, Apports Nutritionnels Conseillés. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 42 (Suppl. 1), 7–12.
- **Le Houérou, H.N., 1981.** Impact of man and his animals on Mediterranean vegetation. In F. Di Castri, D. W. Goddall, & R. Specht (Eds), *Ecosystems of the World-Mediterranean type shrublands*; Amsterdam: *Elsevier*, 479 – 521.
- **Lind, V., Berg, J., Eik, L.O., Mølmann, J., Haugland, E., Jørgensen, M., Hersleth, M., 2009.** Meat quality of lamb: Pre-slaughter fattening on cultivated or mountain range pastures. *Meat Science*, 83, 706–712
- **Listrat, A., Rakadjiyski, N., Jurie, C., Picard, B., Touraille, C., Geay, Y., 1999.** Effect of the type of diet on muscle characteristics and meat palatability of growing salers bulls. *Meat Science*, 53, 115–124.
- **Listrat, A., Pissavy, A.L., Micol, D., Jurie, C., Lethias, C., Pethick, D.W., Hocquette, J.F., 2016.** Collagens XII and XIV: Two collagen types both associated with bovine muscle and intramuscular lipid metabolism. *Livestock Science*, 187, 80–86.
- **Lopez-Bote, C.J., Daza, A., Soares, M., Berges, E., 2001.** Dose–response effect of dietary vitamin E concentration on meat quality characteristics in light-weight lambs. *Animal Science*, 73, 451–457.
- **Lourenço, M., Ramos-Morales, E., Wallace, R.J., 2010.** The role of microbes in rumen lipolysis and biohydrogenation and their manipulation. *Animal*, 4, 1008-1023.
- **Lourenço, M., Van Ranst, G., De Smet, S., Raes, K., Fievez, V., 2007.** Effect of grazing pasture with different botanical composition by lambs on rumen fatty acid

- metabolism and fatty acid pattern of longissimus muscle and subcutaneous fat. *Animal*, 1, 537-545.
- **Lourenço, M., Van Ranst, G., Vlaeminck, B., De Smet, S., Fievez, V., 2008.** Influence of different dietary forages on the fatty acid composition of rumen digesta as well as ruminant meat and milk. *Animal Feed Science and Technology* 145, 418–437.
 - **Lowe, T.E., Peachey, B.M., Devine, C.E., 2002.** The effect of nutritional supplements on growth rate, stress responsiveness, muscle glycogen and meat tenderness in pastoral lambs. *Meat Science*, 62, 391–397.
 - **Luciano, G., Monahan, F.J., Vasta, V., Biondi, L., Lanza, M., Priolo, A., 2009a.** Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Science*, 81, 120–125.
 - **Luciano, G., Monahan, F.J., Vasta, V., Pennisi, P., Bella, M., Priolo, A., 2009b.** Lipid and color stability of meat from lambs fed fresh herbage or concentrate. *Meat Science*, 82, 193–199.
 - **Luciano, G., Pauselli, M., Servili, M., Mourvaki, E., Serra, A., Monahan, F.J., Lanza, M., Priolo, A., Zinnai, A., Mele, M., 2013.** Dietary olive cake reduces the oxidation of lipids, including cholesterol, in lamb meat enriched in polyunsaturated fatty acids. *Meat Science*, 93, 703–714.
 - **Luciano, G., Vasta, V., Monahan, F.J., López-Andrés, P., Biondi, L., Lanza, M., Priolo, A., 2011.** Antioxidant status, colour stability and myoglobin resistance to oxidation of *longissimus dorsi* muscle from lambs fed a tannin-containing diet. *Food Chemistry*, 124, 1036–1042.
 - **Luning, P.A., Marcelis, W.J., Jongen, W.M.F., 2002.** Food quality management: A techno-manageriel approach. *Food quality management: a techno-managerial approach* 323 pp.
 - **Machlin, L.J., Bendich, A., 1987.** Free radical tissue damage: protective role of antioxidant nutrients. *FASEB Journal*, 1, 441-445
 - **Macit, M., Aksakal, V., Emsen, E., Aksu, M.I., Karaoglu, M., Esenbuga, N., 2003a.** Effects of vitamin E supplementation on performance and meat quality traits of Morkaraman male lambs. *Meat Science*, 63, 51–55.
 - **Macit, M., Aksakal, V., Emsen, E., Esenbuga, N., Aksu, M.I., 2003b.** Effects of vitamin E supplementation on fattening performance, non-carcass components and retail cut percentages, and meat quality traits of Awassi lambs. *Meat Science*, 64, 1–6.
 - **Magali, F.P., 1989.** Produire de la viande bovine aujourd’hui : maîtrise technique et gestion des troupeaux. Edition technique et documentation-lavoisier. 631 p.
 - **Mahouachi, M., Atti, N., 2005.** Effects of restricted feeding and re-feeding of barbarine lambs: intake, growth and non-carcass components. *Animal Science*, 81, 305–312
 - **Majdoub-Mathlouthi, L., Saïd B., Kraiem, K., 2010.** Qualité nutritionnelle de la viande d’agneau de race Barbarine produite en bergerie ou sur parcours: Teneur en lipides et composition en acides gras. 13^{ème} JSMTV, Clermont-Ferrand, France. p 37-38.
 - **Majdoub-Mathlouthi, L., Saïd, B., Kraiem, K., 2015.** Carcass traits and meat fatty acid composition of Barbarine lambs reared on rangelands or indoors on hay and concentrate. *Animal*, 9, 2065-2071.

- **Majdoub-Mathlouthi, L., Saïd, B., Say, A., Kraiem, K., 2013.** Effect of concentrate level and slaughter body weight on growth performances, carcass traits and meat quality of Barbarine lambs fed oat hay based diet. *Meat Science*, 93, 557–563.
- **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: Review. *Small Ruminant Research*, 49, 241–256.
- **Makkar, H.P.S., Bluemmel, M., Borowi, N.K., Becker, K., 1993.** Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61, 161–165.
- **Maltin, Ch., Balcerzak, D., Tilley, R., Delday, M., 2003.** Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 337–347.
- **Maltin, C.A., Lobley, G.E., Grant, C.M., Miller, L.A., Kyle, D.J., Horgan, G.W., Matthews, K.R., Sinclair, K.D., 2001.** Factors influencing beef eating quality (2): Effects of nutritional regimen and genotype on muscle fibre characteristics. *Animal Science*, 72, 279-287.
- **Mancini, R.A., Hunt, M.C., 2005.** Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 100–121.
- **Marklund, S.L., Marklund, G., 1974.** Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *European Journal of Biochemistry*, 47, 469–474.
- **Martemucci, G., D'Alessandro, A.G., 2013.** Progress in nutritional and health profile of milk and dairy products: a novel drug target. *Endocr. Metab. Immune Disord. – Drug Targets* 13 (3), 209–233.
- **Martin, A., 2001.** The "apports nutritionnels conseillés (ANC)" for the French population: Review article. *Reproduction Nutrition Development*, EDP Sciences, 41 (2), 119-128.
- **McAfee, A.J., McSorley, E.M., Cuskelly, G.J., Moss, B.W., Wallace, J.M.W., Bonham, M.P., Fearson, A.M., 2010.** Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat Science*, 84, 1–13.
- **McClure, K.E., Solomon, M.B., Parrett, N.A., Van Keuren, R.W., 1995.** Growth and tissue accretion of lambs fed concentrate in drygroupe, grazed on alfalfa or ryegrass at weaning, or after backgrounding on ryegrass. *Journal of Animal Science*, 3, 3437-3444.
- **McClure, K.E., Van Keuren, R.W., Althouse, P.G., 1994.** Performance and carcass characteristics of weaned lambs either grazed on or chardgrass, ryegrass, or alfalfa or fed allconcentrate diets in drygroupe. *Journal of Animal Science*, 72, 3230.
- **Mele, M., Serra, A., Pauselli, M., Luciano, G., Lanza, M., Pennisi, P., Conte, G., Taticchi, A., Esposito, S., Morbidini, L., 2014.** The use of stoned olive cake and rolled linseed in the diet of intensively reared lambs: effect on the intramuscular fatty-acid composition. *Animal*, 8, 152–162.
- **Mercier, Y., Gatellier, P., Renerre, M., 2004.** Lipid and protein oxidation in vitro, and antioxidant potential in meat from Charolais cows finished on pasture or mixed diet. *Meat Science*, 66, 467–473.

- **Meschy, F., 2007.** Alimentation minérale et vitaminique des ruminants : actualisation des connaissances. INRA Productions Animales, 20 (2), 119-128.
- **Micol, D., Jurie, C., Hocquette, J.F., 2010.** Qualités sensorielles de la viande bovine. Impacts des facteurs d'élevage? In: D. Bauchart and B. Picard (eds). Muscle et viande de ruminant. p 163-172
- **Min, B, Ahn, D.U., 2005.** Mechanism of Lipid Peroxidation in Meat and Meat Products -A Review. Food Science and Biotechnology 14, 152-163.
- **Mioč, B., Pavić, V., Vnučec, I., Prpić, Z., Kostelić, A., Sušić, V., 2007.** Effect of olive cake on daily gain, carcass characteristics and chemical composition of lamb meat. Czech Journal Animal Science 52, 31–36.
- **Moëvi, ., 2006.** Le point sur la couleur de la viande bovine. Institut de l'élevage. Interbev : Paris, 2006,113 p.
- **Mohamed-Brahmi, A., Khaldi, R. Khaldi, G., 2010.** L'élevage ovin extensif en Tunisie : Disponibilités alimentaires et innovations pour la valorisation des ressources fourragères locales. Innovation et développement durable dans l'agriculture et l'agroalimentaire. 12 p.
- **Molina-Alcaide, E., Nefzaoui, A., 1996.** Recycling of olive oil by-products: possibilities of utilization in animal nutrition International Biodeterioration & Biodegradation, 38, 227–235.
- **Molina-Alcaide, E., Yáñez-Ruiz, D.R., 2008.** Potential use of olive by-products in ruminant feeding: A review. Animal Feed Science and Technology, 147, 247–264.
- **Moloney, A.P., Kennedy, C., Noci, F., Monahan, F.J., Kerry, J.P., 2012.** Lipid and colour stability of M. longissimus muscle from lambs fed camelina or linseed as oil or seeds. Meat Science, 92, 1–7.
- **Momani Shaker, M., Abdullah, A.Y., Kridi, R.T., Blaha, J., Šáda, I., 2003.** Influence of the nutrition level on fattening and carcass characteristics of Awassi ram lambs. Czech Journal of Animal Science, 48, 466-474.
- **Morales, R., Ungerfeld, E.M., 2015.** Use of tannins to improved fatty acids profile of meat and milk quality in ruminants: A review. Chilean Journal of Agriculture Research, 75 (2), 239-248.
- **Morand-Fehr, P., Tran, G., 2001.** La fraction lipidique des aliments et les corps gras utilisés en alimentation animale. In : Numéro spécial, Matières grasses alimentaires et qualité des produits animaux. Sauvart D. (Ed). INRA Productions Animales, 14, 285-302.
- **Morrison, W.R., Smith, L.M., 1964.** Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. Journal of Lipid Research, 5, 600-608.
- **Morrissey, P.A., Buckley, D.J., Sheehy, P.J.A., 1994.** Vitamin E and meat quality. Proceedings of the Nutrition Society, 53,289-295.
- **Morrissey, P.A., Sheehy, P.J.A., Galvin, K., Kerryh, J.P., Buckleyh, D.J., 1998.** Lipid Stability in Meat and Meat Products. Meat Science, 49, S73-S86.
- **Morzell, M., Gatellier, Ph., Sayd, Th., Renerre, M., Laville, E., 2006.** Chemical oxidation decreases proteolytic susceptibility of skeletal muscle myofibrillar proteins. Meat Science, 73, 536–543.

- **Mosley, E.E., Powell, G.L. Riley, M.B., Jenkins, T.C., 2002.** Microbial biohydrogenation of oleic acid to *trans* isomers in vitro. *Journal of Lipid Research*, 43, 290-296.
- **Muñoz, I., Apeleo, E., De la Fuente, J., Pérez-Santaescolástica, C., Rivas-Cañedo, A., Pérez, C., Díaz, M.T., Cañeque, V., Lauzurica, S., 2014.** Effect of dietary supplementation with red wine extract or vitamin E, in combination with linseed and fish oil, on lamb meat quality. *Meat Science*, 98, 116–123.
- **Murphy, R.C., Johnson, K.M., 2008.** Cholesterol, Reactive Oxygen Species, and the Formation of Biologically Active Mediators. *The Journal of Biological Chemistry*, 283, 15521–15525.
- **Murphy, T.A., Lorech, S.C., McClure, K.R., Solomon, M.B., 1994.** Effects of restricted feeding on growth performance and carcass composition of lambs. *Journal of Animal Science*, 72, 3131–3137.
- **Nair, U., Bartsch, H., Nair, J., 2007.** Lipid peroxidation-induced DNA damage in cancerprone inflammatory diseases: A review of published adduct types and levels in humans. *Free Radical Biology & Medicine*, 43(8), 1109-1120.
- **Nasri, S., Ben Salem, H., Vasta, V., Abidi, S., Makkar, H.P.S., Priolo, A., 2011.** Effect of increasing levels of *Quillaja sponaria* on digestion, growth and meat quality of Barbarine lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 164, 71–78.
- **Nasri, S., Luciano, G., Vasta, V., Aouadi, D., Priolo, A., Makkar, H.P.S., Ben Salem, H., 2012.** Effect of *Quillaja saponaria* dietary administration on colour, oxidative stability and volatile profile of muscle *longissimus dorsi* of Barbarine lamb. *Meat Science*, 92, 582–586.
- **Nefzaoui A., Chermiti A., 1991.** Place et rôle des arbustes fourragers dans les parcours des zones arides et semi-ari des de la Tunisie. *Options Méditerranéennes : Série A*. 16, 119 -125
- **Nieto, G., Díaz, P., Bañon, S., Garrido, M.D., 2010.** Dietary administration of ewe diets with a distillate from rosemary leaves (*Rosmarinus officinalis L.*): influence on lamb meat quality. *Meat Science*, 84, 23–29.
- **Nieto, G., Gaspar, R., 2012.** Modification of Fatty Acid Composition in Meat through diet: Effect on Lipid Peroxidation and Relationship to Nutritional Quality – A Review. *Biochemistry, Genetics and Molecular Biology* , 239-258.
- **Normand, J., Moëvi, I., Lucbert, J., Pottier, E., 2005.** Le point sur...L'alimentation des bovins et des ovins et la qualité des viandes. Collection "Le point sur..." INTERBEV & L'institut de l'élevage, Paris.
- **Nuernberg, K., Fischer, A., Nuernberg, G., Ender, K., Dannenberger, D., 2008.** Meat tissue and fatty acid composition of Skudde lambs fed grass versus concentrate. *Small Ruminant Research*, 74, 279–283.
- **OEP : Office d'élevage et du pâturage : www.oep.nat.tn**
- **Oomen, C.M., Ocké, M.C., Feskens, E.J., van Erp-Baart, M.A., Kok, F.J., Kromhout, D., 2001.** Association between *trans* fatty acid intake and 10-year risk of coronary heart disease in the Zutphen Elderly Study: a prospective population-based study. *Lancet*, 357: 746-51.

- **Oury, M.P., Pierret, R., Coulmier, D., Dumont, R., 2009.** Eléments de maîtrise de la couleur des viandes chez les bovins de race charolaise. *INRA Productions Animales*, 22 (2), 131-140.
- **Pamplona, R., Costantini, D., 2011.** Molecular and structural antioxidant defences against oxidative stress in animals. *American Journal of Physiology*, 301, R843-R863.
- **Papi, N., Mostafa-Tehrani, A., Amanlou, H., Memarian, M., 2011.** Effects of dietary forage-to-concentrate ratios on performance and carcass characteristics of growing fat-tailed lambs *Animal Feed Science and Technology*, 163, 93–98.
- **Pearson, A.M., Young, R.B., 1989.** Muscle and meat biochemistry. San Diego, Calif.: Academic Press Inc.
- **Petron, M.J., Raes, K., Claeys, E., Lourenço, M., Fremaut, D., De Smet, S., 2007.** Effect of grazing pastures of different botanical composition on antioxidant enzyme activities and oxidative stability of lamb meat. *Meat Science*, 75, 737–745.
- **Pierre, F., Santarelli, R., Taché, S., Guéraud, F., Corpet, D.E., 2008.** Beef meat promotion of dimethylhydrazine-induced colorectal carcinogenesis biomarkers is suppressed by dietary calcium. *British Journal of Nutrition*, 99, 1000–1006.
- **Picard, B., Barboiron, C., Chadeyron, D., Jurie, C., 2011.** Protocol for high-resolution electrophoresis separation of myosin heavy chain isoforms in bovine skeletal muscle. *Electrophoresis*, 32, 1804–1806.
- **Pielou E.C., 1966.** Species diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology*, 10, 370–383.
- **Ponnampalam, E.N., Burnett, V.F., Norng, S., Warner, R.D., Jacobs, J.L., 2012.** Vitamin E and fatty acid content of lamb meat from perennial pasture or annual pasture systems with supplements. *Animal Production Science*, 52, 255–262.
- **Ponnampalam, E.N., Warner, R.D., Kitessa, S., McDonagh, M.B., Pethick, D.W., Allen, D., Hopkins, D. L., 2010.** Influence of finishing systems and sampling site on fatty acid composition and retail shelf-life of lamb. *Animal Production Science*, 50, 775–781.
- **Popova, T., 2014.** Fatty acid composition of *Longissimus dorsi* and *Semimembranosus* muscles during storage in lambs reared indoors and on pasture. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26, 302–308.
- **Popova, T., Gonzales-Barron, U., Cadavez, V., 2015.** A meta-analysis of the effect of pasture access on the lipid content and fatty acid composition of lamb meat. *Food Research International*, 77, 476–483.
- **Popova, T., Marinova, P., 2013.** Lipid oxidation in *M. longissimus dorsi* and *M. semi membranosus* in lambs reared indoors and on pasture. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 3(3), 533-537.
- **Porter, L.J., Hrstich, L.N., Chan, B.G., 1986.** The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochemistry*, 1, 223–230.
- **Porter, N., Caldwell, S., Mills, K., 1995.** Mechanisms of free radical oxidation of unsaturated lipids. *Lipids*, 30 (4), 277-290.

- **Prache S., Ballet J., Jailler R., Meteau K., Picard B., Renerre M., Bauchart D., 2009.** Comparaison des qualités de la viande et de la carcasse produits en élevage biologique ou conventionnel. *Innovations Agronomiques*, 4, 289-296.
- **Prache, S., Gatellier, P., Thomas, A., Picard, B., Bauchart, D., 2011.** Comparison of meat carcass quality in organically-reared and conventionally-reared pasture-fed lambs. *Animal*, 5, 2001–2009.
- **Prache, S., Priolo, A., Grolier, P., 2003.** Effect of concentrate finishing on the carotenoid content of perirenal fat in grazing sheep: Its significance for discriminating grass-fed, concentrate-fed and concentrate-finished grazing lambs. *Animal Science*, 77, 225–233.
- **Priolo, A., Bella, M., Lanza, M., Galofaro, V., Biondi, L., Barbagallo, D., Ben Salem, H., Penninsi, P., 2005.** Carcass and meat quality of lambs fed fresh sulla (*Hedysarum coronarium*) with or without polyethylene glycol or concentrate. *Small Ruminant Research*, 59, 281-288.
- **Priolo, A., Ben Salem, H., Atti, N., Nefzaoui, A., 2002a.** Polyethylene glycol in concentrate or feedblocks to deactivate condensed tannins in *Acacia cyanophylla* Lindl. foliage 2. Effects on meat quality of Barbarine lambs. *Animal Science*, 75, 137-140.
- **Priolo, A., Micol, D., Agabriel, J., 2001.** Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavor: A review. *Animal Research*, 50, 185–200.
- **Priolo, A., Micol, D., Agabriel, J., Prache, S., Dransfield, E., 2002b.** Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Science*, 62, 179–185.
- **Priolo, A., Vasta, V., 2007.** Effects of tannin-containing diets on small ruminant meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 6 (Suppl. 1), 527-530.
- **Prud'Hon, M., 1976.** La croissance globale de l'agneau : ses caractéristiques et ses lois. Deuxième Journées de la recherche ovine et caprine, INRA., 6-26 Paris (France).
- **Raes, A.K., Fievez, V., Chow, T.T., Ansorena, D., Demeyer, D., De Smet, S., 2004.** Effect of diet and dietary fatty acids on the transformation and incorporation of C18 fatty acids in double-musled Belgian Blue young bulls. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 6035-6041.
- **Raynal-Ljutovac, K., Bouvier, J., Gayet, C., Simon, N., Joffre, F., Fine, F., Vendevre, J.L., Lopez, C., Chardigny, J.M., Michalski, M.C., Genot, C., 2011.** Organisation structurale et moléculaire des lipides dans les aliments : impacts possibles sur leur digestion et leur assimilation par l'Homme. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 18(6), 324-351.
- **Realini, C.E., Duckett, S.K., Brito, G.W., Dalla Rizza, M., De Mattos, D., 2004.** Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Science*, 66, 567–577.
- **Règlement (CEE) No 2137/92., 1992.** Grille communautaire de classement des carcasses d'ovins. 6 p.

- **Rekik, M., 1998.** Potentialités de production de la filière viande petits ruminants dans les zones pastorales du Centre et Sud de la Tunisie. *Options Méditerranéennes: Série A*. 35, p 107 -115.
- **Rémond, D., Peyron, M.A., Savay-Auzeloux, I., 2010.** Viande et nutrition protéique. In: D. Bauchart and B. Picard (eds). *Muscle et viande de ruminant*. p 255-266.
- **Renand, G., Picard, B., Touraille, C., Berge, P., Lepetit, J., 2001.** Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young charolais bulls. *Meat Science*, 59, 49-60.
- **Renerre, M., 1990.** Review: factors involved in the discoloration of beef meat. *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 613–630.
- **Ripoll, G., Albertí, P., Joy, M., 2012.** Influence of alfalfa grazing-based feeding systems on carcass fat colour and meat quality of light lambs. *Meat Science*, 90, 457–464.
- **Ripoll, G., González-Calvo, L., Molino, F., Calvo, J.H., Joy, M., 2013.** Effects of finishing period length with vitamin E supplementation and alfalfa grazing on carcass color and the evolution of meat color and the lipid oxidation of light lambs. *Meat Science*, 93, 906–913
- **Ripoll, G., Joy, M., Muñoz, F., Albertí, P., 2008.** Meat and fat colour as a tool to trace grass-feeding systems in light lamb production. *Meat Science*, 80, 239–248.
- **Ripoll, G., Joy, M., Muñoz, F., 2011.** Use of dietary vitamin E and selenium (Se) to increase the self-life of modified atmosphere packaged lamb meat. *Meat Science*, 87, 88–93.
- **Rocha, M.H.M., Susin, I., Pires, A.V., Fernández, J.S., Quirino, C.M., 2004.** Performance of Santa Inés lambs fed diets of variable crude protein levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61,141-145.
- **Rodrigues, F., Pimentel, F.B., Oliveira, M.B.P.P., 2015.** Olive by-products: Challenge application in cosmetic industry. *Industrial Crops and Products*, 70, 116-124.
- **Rodríguez, A.B., Bodas, R., Prieto, N., Landa, R., Mantecón, A.R., Giráldez, F.J., 2008.** Effect of sex and feeding system on feed intake, growth, and meat and carcass characteristics of fattening Assaf lambs. *Livestock Science*, 116, 118–125.
- **Rondia, P., 2006.** Aperçu de l'élevage ovin en Afrique du Nord. *Filière Ovine et Caprine n°18*, 11–14.
- **Rondia, P., Delmotte, Ch., Dehareng, F., Maene, D., Toussaint, N., Bartiaux-Thill, N., 2003.** Incidence d'un apport en graines de lin chez la brebis et l'agneau sur les performances et le profil en acides gras de la viande d'agneaux élevés en bergerie ou au pâturage. *10^{èmes} Rencontre Recherches sur les Ruminants*, 10, 227-230.
- **Russel, A.J.F., Doney J.M., Gunn R.J.G., 1969.** Subjective assesment of body fat in live sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 72, 451- 454.
- **Said, B., 2009.** Caractérisation de l'agneau de Sidi Bouzid : Système d'élevage, performances zootechniques et qualité bouchère. *Mémoire mastère*. ISA Chott-Meriem, 126 p.
- **Salter, A.M., 2013.** Dietary fatty acids and cardiovascular disease. *Animal*, 7, 163–171.

- **Sañudo, C., Campo, M.M., Sierra, I., Maria, G.A., Olleta, J.L., Santolaria, P. (1997).** Breed effect on carcass and meat quality of suckling lambs. *Meat Science*, 46, 357-365.
- **Sañudo, C., Sanchez, A., Alfonso, M., 1998.** Small Ruminant Production Systems and Factors Affecting Lamb Meat Quality. *Meat Science*, 49, S29-S64,
- **Santé-Lhoutellier, V., Engel, E., Gatellier, Ph., 2008.** Assessment of the influence of diet on lamb meat oxidation. *Food Chemistry*, 109, 573–597.
- **Sauvant, D., Bas, P., 2001.** La digestion des lipides dans le rumen. *INRA Productions Animales*, 14, 303-310.
- **Sazili, A.Q., Parr, T., Sensky, P.L., Jones, S.W., Bardsley, R.G., Buttery, P.J., 2005.** The relationship between slow and fast myosin heavy chain content, calpastatin and meat tenderness in different ovine skeletal muscles. *Meat Science*, 69, 17-25
- **Scerra, M., Caparra, P., Foti, F., Galofaro, V. Sinatra, M.C., Scerra, V., 2007.** Influence of ewe feeding systems on fatty acid composition of suckling lambs. *Meat Science*, 76, 390–394.
- **Scislowski, V., Bauchart, D., Gruffat, D., Laplaud, P.M., Durand, D., 2005.** Effects of dietary n- 6 or n-3 polyunsaturated fatty acids protected or not against ruminal hydrogenation on plasma lipids and their susceptibility to peroxidation in fattening steers. *Journal of Animal Science*, 83, 2162–2174.
- **Schmidt, A., Collomb, M., Sieber, R., Bee, G., 2006.** Conjugated linoleic acid in meat and meat products: A review. *Meat Science*, 73, 29–41.
- **Schreurs, N.M., Lane, G.A., Tavendale, M.H., Barry, T.N., McNabb, W.C., 2008.** Pastoral flavour in meat products from ruminants fed fresh forages and its amelioration by forage condensed tannins: A review. *Animal Feed Science Technology*, 146, 193–221.
- **Schreurs, N.M., McNabb, W.C., Tavendale, M.H., Lane, G.A., Barry, T.N., Cummings T., Fraser, K., Lopez-Villalobos, N., Ramirez-Restrepo, C.A., 2007.** Skatole and indole concentration of fat from lambs that had grazed perennial ryegrass/white clover pasture or *Groupeus corniculatus*. *Animal Feed Science and Technology*, 138, 254-271.
- **Scollan, N., Hocquette, J.H., Nuernberg, K., Dannenberger, 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 Science*, 74, 17-33.
- **Selmi, H., Abdelwahed, Z., Rouissi, A., Jemmali, B., Tayachi, L., Amraoui, M., Rouissi, H., 2013.** Preliminary nutritional characterization of some shrubs (*Atriplex halimus*, *Acacia cyanophylla*, *Medicago arborea*, *Opuntia ficus indica*) from the north of Tunisia. *International Journal of Research In Agriculture and Food Sciences*, 1, 36-39.
- **Serrano, E., Pradel, P., Jailler, R., Dubroeuq, H., Bauchart, D., Hocquette, J.H., Listrat, A., Agabriel, J., Micol, D., 2007.** Young Salers suckled bull production: effect of diet on performance, carcass and muscle characteristics and meat quality. *Animal*, 1, 1068–1079.

- **Sghaier, M., Ouled Belgacem, A., 2011.** Étude sur la vulnérabilité de l'écosystème pastoral face au changement climatique dans le gouvernorat de Médenine. Rapport thématique de l'économie environnementale (évaluation économique des biens et services de l'écosystème pastoral). MEDD/GTZ.
- **Shdaifat, M.M., Al-Barakah, F.S., Kanan, A.Q., Obeidat, B.S., 2013.** The effect of feeding agricultural by-products on performance of lactating Awassi ewes. *Small Ruminant Research*, 113, 11– 14.
- **Shepherd, D., Garland, P.B., 1969.** The kinetics properties of citrate synthase from rat liver mitochondria. *Biochemical Journal*, 114, 597–610.
- **Sies, H., 1993.** Strategies of antioxidant defense: Review. *European Journal of Biochemistry*, 215, 213-219.
- **Sies, H., 1997.** Antioxidant in disease mechanisms and therapy, *Advances in Pharmacology*, Academic Press, New York, 38.
- **Silva, C.C.G., Rego, O.A., Simões, E.R.E., Rosa, H.J.D., 2010.** Consumption of high energy maize diets is associated with increased soluble collagen in muscle of Holstein bulls. *Meat Science*, 86, 753–757.
- **Simitzis, P.E., Deligeorgis, S.G., Bizelis, J.A., Dardamani, A., Theodosiou, I., Fegeros, K., 2008.** Effect of dietary oregano oil supplementation on lamb meat characteristics. *Meat Science*, 79, 217–223
- **Simopoulos, A.P., 2002.** The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56, 365-379.
- **Simopoulos, A.P., 2008.** The Importance of the Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio in Cardiovascular Disease and Other Chronic Diseases. *Experimental Biology and Medicine*, 233, 674-688.
- **Sinanoglou, V.J., Batrinou, A., Mantis, F., Bizelis, I., Miniadis-Meimaroglou, S., 2013.** Lipid quality indices: Differentiation of suckling lamb and kid breeds reared by traditional sheep farming. *Small Ruminant Research*, 113, 1–10.
- **Sinclair, L.A., 2007.** Nutritional manipulation of the fatty acid composition of sheep meat: A review. *Journal of Agricultural Science*, 145, 419–434.
- **Smeti, S., Atti, N. Mahouachi, M., Muñoz, F., 2013.** Use of dietary rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*) essential oils to increase the shelf life of Barbarine light lamb meat. *Small Ruminant Research*, 113, 340-345.
- **Soltner, D., 1987.** La production de viande bovine. 11^{ème} édition : Sciences et techniques agricoles.
- **Somasiri, S.C., Kenyon, P.R., Kemp, P.D., Morel, P.C.H., Morris, S.T., 2015.** Growth performance and carcass characteristics of lambs grazing forage mixes inclusive of plantain (*Plantago lanceolata L.*) and chicory (*Cichorium intybus L.*). *Small Ruminant Research*, 127, 20–27.
- **Sprecher, H., 2000.** Metabolism of highly unsaturated n-3 and n-6 fatty acids. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1486, 219-231.
- **Talmadge, R.J., Roy, R.R., 1993.** Electrophoretic separation of rat skeletal muscle myosin heavy chain isoforms. *Journal of Applied Physiology*, 75, 2337–2340.

- **Tarhouni, M., Ben Salem, F., Ouled Belgacem, A., Henchi, B., Neffati, M., 2007.** Variation de la richesse floristique en fonction du gradient de pâturage au voisinage de points d'eau en Tunisie présaharienne. *Sécheresse*, 18 (4), 234-239.
- **Toral, P.G.; Hervás, G.; Missaoui, H.; Andrés, S.; Giráldez, F.J.; Jellali, S., Frutos, P., 2016.** Effects of a tannin-rich legume (*Onobrychis viciifolia*) on in vitro ruminal biohydrogenation and fermentation. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14, 1-9.
- **Taylor, C.S., 1980.** Genetic size-scaling rules in animal growth. *Animal Science*, 30, 161-165.
- **Tschirhart-Hoelscher, T.E., Baird, B.E., King, D.A., McKenna, D.R., Savell, J.W., 2006.** Physical, chemical, and histological characteristics of 18 lamb muscles. *Meat Science*, 73, 48–54.
- **Turner, K.E., McClure, K.E., Weiss, W.P., Borton, R.J., Foster, J.G., 2002.** Alpha-tocopherol concentrations and case life of lamb muscle as influence by concentrate or pasture finishing. *Journal of Animal Science*, 80, 2513–2521.
- **Ulbricht, T., Southgate, D., 1991.** Coronary heart disease: Seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), 985–992.
- **Urrutia, O., Mendizabal, J.A., Insausti, K., Soret, B., Purroy, A., Arana, A., 2015.** Effect of linseed dietary supplementation on adipose tissue development, fatty acid composition, and lipogenic gene expression in lambs. *Livestock Science*, 178, 345–356.
- **Vachon, M., Briand, M., Martel, J., 2000.** Evaluation des rations alimentaires pour l'engraissement d'agneaux lourds, avec ou sans restriction de concentrés. Centre de recherche et de développement en agriculture. Alma, Québec, Canada. 56 p
- **Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991.** Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and nonstarch carbohydrates in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583–3597.
- **Vargas-Bello-Pérez, E., Vera, R.R., Aguilar, C., Lira, R., Peña, I., Fernández, J., 2013.** Feeding olive cake to ewes improves fatty acid profile of milk and cheese. *Animal Feed Science and Technology*, 184, 94–99.
- **Vasta, V., Luciano, G., 2011.** The effects of dietary consumption of plants secondary compounds on small ruminants' product quality. *Small Ruminant Research*, 101, 150–159.
- **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. *Journal of Animal Science*, 87, 2674-2684.
- **Vasta, V., Nuddab, A., Cannas, A., Lanza, M., Priolo, A., 2008.** Alternative feed resources and their effects on the quality of meat and milk from small ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 147, 223–246.
- **Vasta, V., Priolo, A., 2006.** Ruminant fat volatiles as affected by diet. A review. *Meat Science*, 73, 218–228.
- **Vasta, V., Yáñez-Ruiz, D.R., Mele, M., Serra, A., Luciano, G., Lanza, M., Biondi, L., Priolo, A., 2010.** Bacterial and Protozoal Communities and Fatty Acid Profile in

- the Rumen of Sheep Fed a Diet Containing Added Tannins. *Applied and Environmental Microbiology*, 76, 2549-2555.
- **Velasco, V., Williams, P., 2011.** Improving meat quality through natural antioxidants: Review. *Chilean Journal of Agriculture Research*, 71(2), 313-322.
 - **Vera, R.R., Aguilar, C., Toro, P., Squella, F., Perez, P., 2013.** Performance of lambs grazing an annual Mediterranean pasture or fed supplements based on olive oil cake or maize and its influence on system outputs. *Animal Production Science*, 53, 516–522.
 - **Vestergaard, M., Oksbjerg, N., Henckel, P., 2000.** Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, *longissimus dorsi* and supraspinatus muscles of young bulls. *Meat Science*, 54, 177-185.
 - **Walter, J.M.N., 2006.** Méthodes d'étude de la végétation. Méthode du relevé floristique : Introduction (Première partie). Institut de Botanique – Faculté des Sciences de la Vie – Université Louis Pasteur, 23 p.
 - **Willems, H., Kreuzer, M., Leiber, F., 2014.** Vegetation-type effects on performance and meat quality of growing Engadine and Valaisian Black Nose sheep grazing alpine pastures. *Livestock Science*, 151, 80–91.
 - **Williams, C.M., 2000.** Dietary fatty acids and human health: Review article. *Annales de Zootechnie*, 49, 165–180.
 - **Williamson, C.S., Foster, R.K., Stanner, S.A., Buttriss, J.L., 2005.** Red meat in the diet. *British Nutrition Foundation, Nutrition Bulletin*, 30, 323–355.
 - **Whittington, F.M., Dunn, R., Nute, G.R., Richardson, R.I., Wood, J.D., 2006.** Effect of pasture type on lamb product quality. In: Wood, J.D. (ed.). *New developments in Sheep meat quality*. In: *New Developments in Sheep meat quality*, The British Society of Animal Science, 9th annual Langford Food Industry Conference, 27-31.
 - **Wood, J.D., Enser, M., 1997.** Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *British Journal of Nutrition*, 78(1), S49–S60.
 - **Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Sheard, P.R., Richardson, R.I., Hughes, S.I., Whittington, F.M., 2008.** Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78, 343–358.
 - **Wood, J.D., Nute, G.R., Richardson, R.I., Whittington, F.M., Southwood, O., Plastow, G., Mansbridge, R., da Costa, N., Chang, K.C., 2004.** Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. *Meat Science*, 67, 651–667.
 - **Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R., Enser, M., 2003.** Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21–32.
 - **Yang, A., Lanari, M.C., Brewster, M., Tume, R.K., 2002.** Lipid stability and meat colour of beef from pasture- and grain-fed cattle with or without vitamin E supplement. *Meat Science*, 60, 41-50.

- **Yang, A., Larsen, T.W., Tume, R.K., 1992.** Carotenoid and retinal concentrations in serum, adipose tissue and liver and carotenoids transport in sheep, goats and cattle. *Australian Journal of Agricultural Research*, 43, 1809-1817.
- **Young O.A., Lane G.A., Priolo A. et Fraser K., 2003.** Pastoral and species flavour in lambs raised on pasture, lucerne or maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 93-104.

Annexes