

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abd-Elhamid Ibn Badis de Mostaganem

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques

MEMOIRE

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques

Option : Hygiène et Sécurité Alimentaire

**Effets de la cuisson sur les caractéristiques nutritionnelles
et diététiques des acides gras de la viande d'agneau issu
des pâturages steppiques**

Présenté par : M. BENGUENDOZ ABDENOUR

Soutenu le : / / 2012

Devant le jury :

Président : M. SELSELET-ATTOU Ghalem., Professeur, Univ. De Mostaganem

Rapporteur : M. BOUDEROUA Kaddour., Professeur, Univ. De Mostaganem

Examineurs M. BEKKADA Ahmed., Maitre de conférences A, Centre Universitaire de Relizane.

M^{me}. REBAI Ouafa., Maitre de conférences A, Univ. De Mostaganem

M.AIT SÂADA Djamel., Maitre de conférences B, Univ. De Mostaganem

Remerciements

Avant tout, permettez-moi de rendre grâce à Dieu Tout Puissant de m'avoir donné la force, la volonté et le courage durant toutes ces années d'études et d'efforts pour l'accomplissement de ce travail.

Qu'il me soit permis d'adresser mes plus vifs et sincères remerciements à Monsieur SELSELET-ATTOU G., Professeur à l'université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem qui a bien voulu me faire l'honneur de présider cet honorable jury.

Je tiens à exprimer ma profonde et respectueuse gratitude à Monsieur BOUDEROUA K., Professeur à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, qui n'a pas hésité de me faire profiter de son vaste savoir, de sa grande expérience, de ses conseils éclairés, de son indulgente compréhension, de sa constante disponibilité et de sa bienveillance toute paternelle.

Il m'est agréable d'adresser mes hommages respectueux à Madame ROUBAI O., Maître de conférences A à l'université de Mostaganem d'avoir bien voulu accepter d'examiner le présent travail.

Je n'oublierai pas d'adresser mes remerciements les plus chaleureux à Monsieur BEKKADA A., maître de conférences A au centre universitaire de Relizane qui m'a fait l'honneur de prendre connaissance de ce modeste ouvrage.

En outre, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur AIT SÂADA D. maître de conférences B à l'université de Mostaganem d'avoir bien voulu accepter d'examiner le présent mémoire.

Par ailleurs, il ne m'est pas possible de ne pas adresser mes remerciements les plus chaleureux à :

- ❖ Monsieur Mourot J. Directeur de Recherches à l'INRA de Rennes
- ❖ Madame Perrier C. Ingénieur de laboratoire à l'INRA de Rennes
- ❖ Madame Robin G. Technicien de laboratoire à l'INRA de Rennes

Pour leur aide précieuse en matière d'analyses portant sur les acides gras notamment.

De même, il convient d'adresser mes plus vifs remerciements à l'ensemble du personnel du Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition de l'Université de Mostaganem pour leur concours déterminant dans la réalisation de ce travail.

Je n'oublierai pas le rôle essentiel de Monsieur El Affifi M. chargé de cours à l'Université de Tlemcen qui a bien voulu se charger d'assurer la préparation et l'acheminement des divers éléments soumis à analyse.

Je voudrais remercier également Monsieur Zelmat A. chef de département d'agronomie à l'Université de Mostaganem, Monsieur Belkhiri Samir et Monsieur Benabdelmoumen D. chargé de cours à l'Université de Mostaganem pour leur aide précieuse portant sur l'ensemble de ce travail.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent également à mes professeurs du département d'Agronomie de Mostaganem, notamment Monsieur Labdaoui, Madame et Monsieur Houara, Monsieur Didi, Monsieur Bakhti, et Monsieur Bekkada, ainsi qu'à tous ceux que je n'ai pu citer dans le cadre de ce modeste ouvrage.

Enfin, avant de conclure je voudrais rendre un vibrant hommage à toutes les personnes connues ou anonymes qui ont bien voulu m'apporter leur soutien moral et matériel dans l'élaboration de ce document.

Résumé

L'objectif de ce travail est de caractériser la viande d'agneau issu de pâturage de la région d'Oum el bouaghi et de Souk Ahras et d'évaluer les conséquences de la cuisson de type « rôti » sur les aptitudes nutritionnelles et de la conservation sur cette même viande. En effet, cette expérience a été menée sur des agneaux de race REMBI, de sexe mâle, âgés de 6 à 8 mois, d'un poids vif moyen de 32 kg, élevés dans la région d'Oum el Bouagui et de Souk-Ahras.

Les résultats de cette expérience ont mis en évidence l'effet de la nature de muscle sur les qualités nutritionnelles de la viande d'agneau. Ce qui a permis d'évaluer la différence, du taux de lipides dans les deux muscles étudiés (gigot et côte).

Après la cuisson de type rôti à 180°C, les muscles de gigots et de côtes s'enrichissent, en lipides totaux respectivement (2,62% Vs 7,19% ; 17,01 Vs 19,65%). Pour ce qui est des acides gras, la cuisson (rôti) a provoqué une perte significative du taux des AGPI dans les deux muscles étudiés (16,78% Vs 8,50% pour le gigot après cuisson et 10,66% Vs 4,81% pour la côte après cuisson). Cependant, ce traitement thermique a entraîné un gain en AGS (44,24% Vs 50,16% gigot après cuisson et 48,45% Vs 54,61% côte après cuisson) et en AGMI (38,97% Vs 41,33% pour le gigot après cuisson et 40,56% Vs 40,88% pour la côte après cuisson).

La cuisson entraîne une perte en eau dans les deux muscles étudiés (72,46% Vs 54,32 % gigot ; 72,25% Vs 57,34% côte), un gain en matière sèche (27,54% Vs 45,68% gigot ; 27,75% Vs 42,66% côte), en protéines (19,07% Vs 21,61% pour le gigot ; 16,18% Vs 17,5% pour la côte) en matière minérale (1,27% vs 2,72% gigot, 1,14% vs 2,07% côte) et enfin un gain en teneur en fer (3,04 mg Vs 4,15 mg pour le gigot ; 2,07 mg Vs 2,43 mg pour la côte).

Concernant l'étude de l'effet de la cuisson sur la stabilité oxydative de la viande d'agneau, les résultats obtenus ont permis de déduire que la cuisson stimule les phénomènes de peroxydation des lipides générant de ce fait le MDA. La proportion de MDA dans la côte est passée de 0,49 mg à 0,61 mg après cuisson. Il est de même pour le gigot avec une teneur de 0,22 mg avant cuisson contre 0,39 mg après cuisson. Cependant, la richesse de l'herbe de pâturage en antioxydants notamment en vitamine E a limité ces phénomènes en réduisant de ce fait la formation de MDA.

Mots clefs : Viande d'agneau, peroxydation, Cuisson, lipides, acides gras

Abstract

The aim of this work is to characterize lamb meat from grazing of Oum el Bouaghi and Souk Ahras area and to evaluate the impact of cooking on nutritional skills and meat conservation. Indeed, these experiments were conducted on REMBI lambs, aged of 6 to 8 months and a weight average of 32 kg.

Meats were roasted at 180 °C, the muscles of legs (*Biceps femoris*) and chops (*Longissimus dorsi*) are enriched in total lipids, respectively (2.62% vs. 7.19%, 17.01 vs. 19.65%). Fatty acids, caused a significant loss rate of PUFA in both muscles studied (16.78% vs. 8.50% for legs and 10.66% vs. 4, 81% for the chops). However, this heat treatment leads to a gain of both SFA (44.24% vs. 50.16% legs and 48.45% vs. 54.61% chops) and MUFA (38.97% Vs 41.33 % for the legs and 40.56% vs. 40.88% for the chops).

Roasting causes a water evaporation in both muscles studied (72.46% vs. 54.32% for legs; 72.25% Vs 57.34% for chops), So a rise of : dry matter (27.54% Vs 45.68 % for legs; 27.75% Vs 42.66% chops), proteins rate (19.07% vs. 21.61% for legs; 16.18% vs. 17.5% for chops) in ashes rate (1, 27% vs. 2.72% for legs, 1.14% vs. 2.07% side) and iron content (3.04 mg vs. 4.15 mg for legs; 2.07 vs. 2.43 mg for chops).

Finally, the study of the effect of cooking on the oxidative stability of lamb meat, show us that cooking stimulates the lipids peroxidation to generating the MDA. The proportion of MDA in the chops increased from 0.49 mg to 0.61 mg after cooking. As for the legs with a content of 0.22 mg before cooking against 0.39 mg after. However, the rich pasture in antioxidant, particular vitamin E reduced MDA purport and limit peroxidation.

Keywords: Lamb, peroxidation, roasting, lipids, fatty acids

ملخص

ان الهدف من هذه الدراسة هو تحديد خصائص لحم الغنم المتغذي من الرعي لكل من منطقة أم البواقي وسوق أهراس و كذا تقييم آثار الطهي والحفظ، على الجودة الغذائية لهذا اللحم. وبالفعل، أجريت هذه التجربة على حملان من سلالة REMBI ، ذكور، تتراوح اعمارهم بين 6 الى 8 اشهر ومتوسط أوزانهم 32 كغ ترعرت هذه المجموعة في منطقة سوق أهراس و أم البواقي.

أظهرت نتائج هذه التجربة أثر طبيعية العضلة على الجودة الغذائية للحم الغنم إذ سمحت بذلك تقييم الفرق في مستويات الدهون في كل من العضلات المدروسة (الساق و الضلع).

بعد الطبخ من النوع المشوي في 180 درجة مئوية تكتسب عضلات الساق و الضلع كمية أكبر من الدهون على التوالي (2.62% مقابل 7.19%، 17.01% مقابل 19.65%). فيما يتعلق بالأحماض الدهنية تعرضت ال IAGP الى نقص معتبر في كلتا العضلتين المدروستين و هذا ناجم على عملية الطبخ (16.78% مقابل 8.50% للساق بعد الطبخ و 10.66% مقابل 81,4% للضلع بعد الطهي). ومع ذلك، أدت المعالجة الحرارية ال الى زيادة في نسب ال SGA (44,24% مقابل 50,16% لدى الساق بعد الطبخ و 48,45% مقابل 54,61% لدى الضلع بعد الطبخ) و AGMI (38,97% مقابل 41,33% لدى الساق بعد الطبخ و 40,56% مقابل 40,88% لدى الضلع بعد الطبخ).

الطبخ يؤدي إلى فقدان المياه في كل من العضلات المدروسة (72, 46% مقابل 54, 32% في الساق، 25، 72% مقابل 34,57% في الضلع) وكسب في المادة الجافة (54,27% مقابل 68,45% في الساق، 75,27% مقابل 66,42% في الضلع) والبروتين (19,07% مقابل 21,61% للساق؛ 16,18% مقابل 17,5% للضلع) و كذا المواد المعدنية (1,27% مقابل 2,72% في الساق و 1,14% مقابل 2,07% ضلع) فضلا على المحتوى من الحديد (3,04 ملغ مقابل 4,15 ملغ للساق و 2,07 ملغ مقابل 2,43 للضلع).

و فيما يتعلق بدراسة تأثير الطبخ على إستقرار الأوكسدة عند لحم الغنم، يمكن ان نستنتج بان الطبخ يحفز بشكل كبير توليد بيروكسيددهني و بالتالي افراز ال ADM و التي كانت قيمه كالتالي (0,49 مكافئ مغ/ كغ قبل الطهي ، 0.61 مكافئ مغ/ كغ بعده في الضلع و 0.22 مكافئ مغ/ كغ قبل الطهي و 0.39 مكافئ مغ/ كغ بعد الطهي في الساق).

كلمات البحث: لحم الغنم ، بيروكسيد، طبخ، الدهون، والأحماض الدهنية

Sommaire

Données bibliographiques

Chapitre 1 : Steppe Algérienne : Aperçu particulier sur l'élevage ovin

| | |
|--|----|
| Introduction | 1 |
| 1- Caractéristiques écologiques et socio-économiques de la steppe | 4 |
| 1-1 Définition et délimitation | 4 |
| 1-2 Climat et végétation | 4 |
| 1-3 L'élevage dans les hautes plaines steppiques | 6 |
| 1-4 Ressources en eau | 7 |
| 1-5 Conditions pédologiques | 7 |
| 2- Ressources pastorales des parcours steppiques | 8 |
| 2-1 Parcours | 8 |
| 2-2 Dégradation des parcours | 8 |
| 2-3 La végétation steppique | 9 |
| 2-3-1 Steppes à Alfa (<i>Stipa tenacissima</i>) | 9 |
| 2-3-2 Steppes à armoise blanche (<i>Artemisia herba alba</i>) | 9 |
| 2-3-3 Steppes à sparte (<i>Lygeum spartum</i>) | 9 |
| 2-3-4 Steppes à Remt (<i>Arthrophytum scoparium</i>) | 10 |
| 2-3-5 Steppes à psamophytes | 10 |
| 2-3-6 Steppes à halophytes | 10 |
| 3- Systèmes d'élevage ovin en Algérie | 10 |
| 3-1 Systèmes d'élevage en zones steppiques | 11 |
| 3-1-1 Système d'élevage marchand | 11 |
| 3-1-2 Système d'élevage agro-pastoral | 12 |
| 3-1-3 Système d'élevage familial | 12 |

Chapitre 2 : Aspects nutritionnels et diététique de la viande d'agneau

| | |
|---|----|
| 1- Apports nutritionnels et diététique | 14 |
| 2- Energie | 14 |
| 3- Protéines | 15 |

| | |
|---|----|
| 4- Lipides | 16 |
| 4-1- Acides gras saturés | 17 |
| 4-2- Acides gras monoinsaturés | 18 |
| 4-3- Acides gras polyinsaturés | 18 |
| 4-4- Acides gras trans..... | 19 |
| 4-5- Cholestérol | 20 |
| 4-6- Influence de l'alimentation à base d'herbe sur l'oxydation des lipides | 20 |
| 5- Minéraux | 21 |
| 6- Vitamines | 22 |

Chapitre 3 : impacts de la cuisson sur les composants nutritionnels de la viande d'agneau

| | |
|---|----|
| 1- Introduction | 23 |
| 2- Traitements technologiques | 23 |
| 2-1- Généralités sur les modes de cuisson | 23 |
| 2-2- Différents modes de cuisson | 24 |
| 2-2-1- Cuisson à l'eau | 24 |
| 2-2-2- Rôti | 24 |
| 2-2-3- Grillade | 25 |
| 2-2-4- Friture | 25 |
| 2-2-5- Braiser | 25 |
| 2-2-6- Cuisson aux micro-ondes | 25 |
| 2-2-7- Le chauffage ohmique | 25 |
| 3- Les grandes réactions de dégradation thermique | 26 |
| 3-1- Réactions de Maillard | 26 |
| 3-2- Principaux facteurs influençant les réactions de Maillard..... | 27 |
| 3-3- Toxicité des produits de la réaction de Maillard | 28 |
| 3-3-1- Principaux produits de la réaction de Maillard (PRM) toxiques | 28 |
| 3-4- Réactions d'oxydation | 32 |
| 4- Incidences de la cuisson sur les principaux constituants de la viande | 33 |
| 4-1- Sur la teneur en eau | 33 |
| 4-2 Sur les protéines | 33 |
| 4-3- Sur les lipides | 34 |

| | |
|---|-----------|
| 4-4- Sur les minéraux | 36 |
| 4-5- Sur les vitamines..... | 37 |
| 5- Impact de la cuisson sur les propriétés sensorielles de la viande | 38 |
| 5-1- Sur la tendreté de la viande | 38 |
| 5-2- Sur la couleur de la viande | 39 |
| 5-3- Sur la flaveur de la viande | 39 |

Chapitre 4 : Oxydation des lipides de la viande et stress oxydant

| | |
|---|-----------|
| 1- Lipopéroxydation et stress oxydant | 40 |
| 2- Facteurs influençant la lipopéroxydation | 40 |
| 2-1- Espèces réactives de l'oxygène (ERO)..... | 40 |
| 2-2- Acides gras polyinsaturés | 41 |
| 3- Lipopéroxydation et formation de malondialdéhyde | 42 |
| 4- Effet de lipoperoxydation sur la qualité des viandes | 43 |
| 5- Impact de la consommation des produits peroxydés sur la santé humaine | 43 |
| 6- Régulation des processus antioxydants dans les viandes | 44 |

Partie expérimentale

| | |
|--|-----------|
| 1- Objectifs | 46 |
| 2- Matériels et méthodes | 47 |
| 2-1- Matériels | 47 |
| 2-1-1- Sélection des animaux | 47 |
| 2-1-2- Régime alimentaire | 48 |
| 2-1-3- Lieu des analyses et de l'expérimentation | 48 |
| 2-2 - Méthodes | 48 |
| 2-2-1- Abattage | 48 |
| 2-2-2- Découpe des carcasses | 48 |
| 2-2-3- Cuisson de la viande | 48 |
| 2-2-4- Prélèvement des échantillons | 49 |
| 2-2-4-1- Prélèvement du gigot (<i>Biceps femoris</i>)..... | 49 |

| | |
|--|----|
| 2-2-4-2- Prélèvement des côtes (<i>Longissimus dorsi</i>) | 50 |
| 3- Techniques analytiques | 50 |
| 3-1- Analyse de la viande | 50 |
| 3-1-1- Dosage de la matière sèche | 50 |
| 3-1-2- Dosage de la matière minérale | 51 |
| 3-1-3- Dosage du fer total | 51 |
| 3-1-4- Détermination du pH | 52 |
| 3-1-5- Dosage des protéines brutes | 52 |
| 3-1-6- Dosage de la matière grasse | 53 |
| 3-1-6-1- Dosage des lipides | 53 |
| 3-1-6-2- Composition en acides gras | 54 |
| 3-1-7- Estimation du degré d'oxydation des lipides de la viande d'agneau | 55 |
| 4- Analyse statistique | 55 |

Résultats

| | |
|---|----|
| Influence de la cuisson et de la nature du muscle sur la composition nutritionnelle du gigot et de la côte | 56 |
| 1- Matière sèche et humidité | 56 |
| 2- Matière minérale | 56 |
| 3- Fer | 57 |
| 4- Evolution du pH | 57 |
| 5- Protéines..... | 58 |
| 6- Composition lipidique des muscles | 58 |
| 6-1- Lipide totaux | 58 |
| 6-2- Acide gras | 60 |
| 7- Degré de peroxydation des lipides de la viande d'agneau | 69 |

Discussion

| | |
|---|----|
| Influence de la cuisson et de la nature du muscle sur la composition nutritionnelle du gigot et de la côte | 70 |
| 1- Matière sèche et humidité | 70 |
| 2- Matière minérale | 70 |
| 3- fer | 71 |
| 4- Evolution du pH | 71 |
| 5- protéines | 72 |
| 6- Composition lipidique des muscles | 73 |
| 6-1- lipide totaux | 73 |

| | |
|--|----|
| 6-2- acide gras | 74 |
| 7- Degré de peroxydation des lipides de la viande d'agneau | 77 |
| Conclusion | 78 |
| Références bibliographiques | 80 |

Introduction

Introduction

L'élevage du mouton est une activité importante pour l'Algérie. Sa prédominance découle de son adaptation à la majorité des agro-écosystèmes qui y existent. L'adaptation de cette espèce est due à la biodiversité de ses races d'une part et à sa flexibilité en tant qu'unité de production par rapport au contexte socio-économique et foncier de l'Algérie d'autre part.

Le secteur de l'élevage, de par sa fonction polyvalente, revêt une importance socio-économique certaine et joue un rôle dynamique dans le développement de l'activité économique en milieu rural.

La steppe Algérienne est une zone à vocation d'élevage ovin en raison de leurs végétations abondantes et variées. La steppe comporte trois espèces dominantes, il s'agit de l'alfa (*Stipa tenacissima L.*), l'armoise blanche (*Artemisia herba alba, L.*) et le sparte appelé aussi fausse alfa (*Lygeum spartum*).

À l'heure où le consommateur est de plus en plus soucieux de la composition et de la valeur nutritionnelle du contenu de son assiette, les professionnels des filières viandes ont porté ces dernières années un intérêt particulier pour la qualité nutritionnelle des produits carnés. En Algérie, 51% de la consommation des viandes est assurée par le mouton (**Chiche, 1999**). Les statistiques de consommation par habitants s'évaluent à 10 Kg/hab/an. Au Maroc la consommation est estimée à 17 Kg/hab/an alors qu'en Tunisie est de 11,9 Kg/hab/an.

La viande rouge est considérée comme source de vie et d'énergie par son importance physiologique et nutritionnelle relative aux protéines, aux lipides, aux vitamines et aux sels minéraux. Ces protéines sont de hautes valeurs biologiques (20 à 25%), elles constituent le support architectural de l'organisme et sont des précurseurs d'hormones, d'enzymes et d'anticorps ; les lipides sont indispensables au maintien de toutes les membranes cellulaires et sont aussi des précurseurs d'hormones (prostaglandine) et de vitamines liposolubles (A, D, E, K) ; les sels minéraux (Fe^{++} , Zn^{++}) aisément absorbables et enfin sa richesse en vitamines du groupe B (B12). Ainsi, 100g de viande offre 40% de l'apport journalier pour un bon équilibre physiologique (**Hedwing, 2006**). Toute fois, la viande d'agneau avec son apport énergétique conséquent de 205Kcal et ses 20g de lipides pour 100g de viande, compte des morceaux plus ou moins riches en lipides (Gigot rôti, côte grillée avec 8,9% et 17% respectivement) (**Geay et al, 2002**).

Afin d'optimiser les qualités nutritionnelles et diététiques de la viande d'agneau, plusieurs travaux de recherches ont été effectués notamment ceux touchant la composition en acides gras des tissus adipeux et des tissus musculaires de la viande. La nature de l'alimentation est le facteur majeur des variations de la qualité des viandes.

Parmi les différents types d'alimentation, l'effet de l'herbe pâturée ou récoltée est encore assez mal connu (**Dozias et al, 1997**). Notre objectif à travers cette étude est de caractériser la viande produite à l'herbe, en mettant en relief sa teneur en lipides et en acides gras bénéfiques pour la santé du consommateur.

Selon **Bauchart et Picard (2010)** l'apport d'herbe riche en vitamine E confère aux muscles un pouvoir antioxydant suffisant pour prévenir celui-ci de la lipopéroxydation. Une étude menée par **Santé-Lhoutelier et al (2008)** sur des animaux élevés à l'herbe a révélé que les niveaux d'oxydation des lipides chez ces animaux sont beaucoup plus bas que ceux chez les animaux nourris à base de concentré. Cela est vraisemblablement lié aux fortes teneurs en vitamine E apporté par l'herbe.

Par ailleurs, le choix de la cuisson comme paramètre de cette étude se justifie par le fait qu'elle permet de garantir plusieurs qualités aux consommateurs tels que les qualités organoleptiques, microbiologiques et nutritionnelles. Mais ce traitement thermique peut ainsi avoir un effet sur l'oxydation des lipides de la viande d'agneau durant la cuisson, ce phénomène est plus au moins important selon le mode de cuisson appliqué. Cependant, la richesse de la viande en antioxydants notamment en vitamine E apporté par le pâturage limiterait ces phénomènes.

Dans ce travail, nous nous sommes proposés de caractériser la viande d'agneau issu de pâturage de la région steppique d'Oum el Bouaghi et de Souk Ahras d'une part d'étudier l'effet de la cuisson sur les principaux composants de la viande principalement les acides gras d'autre part.

Ce travail est articulé sur trois parties :

La première partie a fait l'objet d'une étude bibliographique dans la quelle nous avons apporté des rappels sur :

- L'élevage ovin dans les zones steppiques algériennes.
- Les aspects nutritionnels de la viande d'agneau issu de pâturage, les problèmes liés aux phénomènes de peroxydation et les impacts de la cuisson sur les composants de la viande d'agneau.

Dans la deuxième partie, les étapes de l'expérimentation et l'organisation générale de l'essai ont été mis en exergue.

En troisième lieu, les résultats obtenus ont subi un calcul statistique et ont été présentés et discutés. Enfin, nous terminerons ce travail par une conclusion et des recommandations.

Chapitre 1

Steppe Algérienne : Aperçu particulier sur l'élevage ovin

Introduction

La production animale prend appui sur un cheptel en évolution progressive mais qui ne couvre que 25 à 35% des besoins alimentaires de la population, dont 80% pour la viande rouge.

D'après la **FAO**, la production Algérienne totale en viande était de 608 mille tonnes en 2010. Ces disponibilités situent la consommation des viandes rouges en Algérie à 10kg /an/habitant environ. Cependant, la production de viande ovine était de 201 mille tonnes au cours de la même année.

Au pays du Maghreb, la production de viande ovine représente 40% par rapport à la production globale de viande rouge (**Rondia, 2006**). Les cheptels ovins se chiffrent à 17 millions de têtes environ au Maroc, de 18 millions en Algérie et à 6,6 millions en Tunisie. Les effectifs sont constitués essentiellement de races locales de faible productivité mais bien adaptées aux conditions climatiques des différentes régions.

1- Caractéristiques écologiques et socio-économiques de la steppe

2-1 Définition et délimitation

La steppe algérienne se présente comme une vaste bande régionale s'étendant de la frontière tunisienne (Souk ahras, Oum el bouaghi, Guelma et Khenchela) à la frontière marocaine (Tiaret, Saïda, El bayadh, et Nâama) sur 1000 kilomètres de long et 300 kilomètres de large entre les isohyètes 400 et 100 mm à l'exclusion des Aurès à l'Est qui représentent une superficie d'environ 200.000 km² (**figure 1**). C'est une région intermédiaire située au-delà du Tell maritime et humide, et en deçà du désert saharien, pays des grands espaces plats élevés où l'arbre est rare ou absent. Le climat y est brutal et rude en hiver et caniculaire en été. Les faibles ressources en eau impliquent une culture céréalière aléatoire et un pâturage extensif (**Montchaussé, 1972**).

2-2 Climat et végétation :

La steppe se caractérise par un climat semi-aride sur sa partie Nord et un climat aride sur sa frange Sud.

La végétation steppique est très inégale en valeur tant par sa composition floristique que par sa vigueur et sa densité. La végétation est souvent caractérisée par la strate dominante soit graminée, chaméphyte ou crassulescente (**pontanier et al, 1982**). Cette diversification est à l'origine déterminée par le climat (plus au moins aride), la nature du sol et le degré d'exploitation de la végétation.

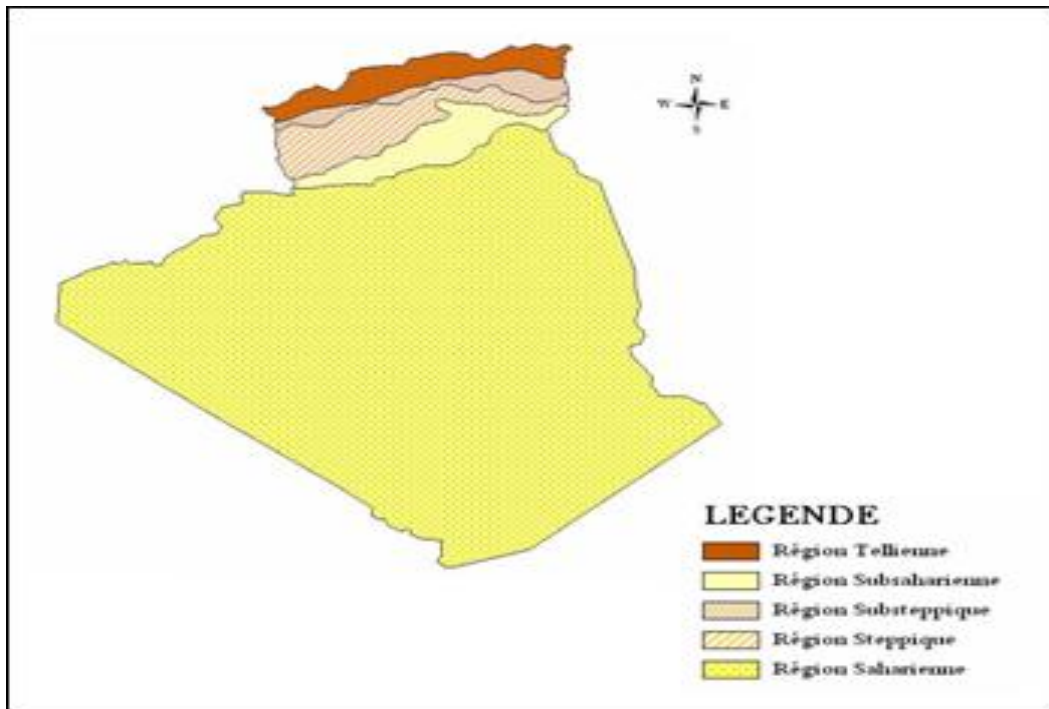


Figure 1. Délimitation de la steppe algérienne (Mohammedi et al, 2006)

Les zones palatables qui intéressent l'élevage du mouton, sont théoriquement très importantes (15 millions d'hectares), si l'on exclut les 5 millions occupés par les cultures. Toutefois, les potentialités réelles ne représentent que la moitié de cette superficie environ en raison d'aires immenses inutilisées faute de points d'eau, ou trop dégradées. Elles sont estimées à 6 millions d'ha au Nord de l'Atlas saharien et 2 millions d'ha au sud de l'Atlas saharien.



Figure 2 : Steppe algérienne (Aidoud, 1994)

La steppe est essentiellement composée d'une strate herbacée assez variée d'espèces vivaces et éphémères. Trois espèces dominent traditionnellement la flore, à savoir l'Alfa (*Stipa*

tenacissima L.), l'armoise blanche (*Artemisia herba, alba L.*) et le sparte appelé aussi fausse Alfa (*Lygeum spartum*). Plus d'une trentaine d'autres espèces y végètent à différentes périodes de l'année.

L'armoise et l'Alfa occupent, à elles seules, près de 2 millions d'hectares (CNTS, 1989) tandis que le sparte occupe 3 millions d'ha. Généralement, de nombreuses espèces halophiles occupent des sols salins aux alentours des chotts (Djabaili, 1984).

Ainsi la steppe, domaine de végétation, donne des ressources fourragères éphémères parfois et consommables sur « pied ». Aucune capitalisation (conservation) fourragère n'est possible. Cependant, les surfaces de pâturages offrent des diversités alimentaires considérables :

- ❖ Diversité quant aux espèces et à leur qualité ;
- ❖ Diversité quant à la période (saison) où chaque plante est consommée par le cheptel.

De ce fait, les ressources fourragères sont étalées géographiquement sur l'aire steppique et sur l'ensemble de l'année si les pluviosités sont suffisantes. On aboutit à une spécialisation des pâturages où chaque type de végétation a son temps d'utilisation, ses qualités spécifiques et ses insuffisances.

L'éleveur joue avec cette densité dans l'espace et dans le temps, pour la conduite de son troupeau et pallie ainsi à l'impossibilité de réaliser des réserves par la mobilité, c'est-à-dire par le nomadisme et la transhumance.

2-3 L'élevage dans les hautes plaines steppiques

Les régions steppiques constituent les terres de parcours par excellence pour l'espèce ovine. Ces régions sont soit difficilement exploitables par une agriculture moderne, soit que leur potentiel fourrager est trop faible pour permettre la survivance d'autres espèces animales, notamment bovines (**tableau 1**). La bonne adaptation aux conditions difficiles, fondée sur sa rusticité et sa frugalité, font du mouton l'unique animal capable de pouvoir tirer profit d'une médiocre végétation. Relativement sobre, il semble traditionnellement être prédestiné aux régions déshéritées. Estimé à quelques 11 millions de têtes dans la steppe, l'effectif du cheptel ovin ne cesse d'augmenter (**Kanoun, 2007**).

Tableau 1. Effectif ovin par zone climatique (milliers de têtes)

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |

Source : Statistiques agricoles (M.A.P, 1999)

2-4 Ressources en eau

L'eau est l'une des préoccupations vitales de l'éleveur de la steppe, car le réseau hydrographique est de faible importance (**Benrebiha, 1984**). Dans la steppe, le réseau hydrographique peut être représenté par des dispositifs de captage des eaux superficielles et par l'utilisation des eaux d'infiltration.

Les eaux superficielles sont captées par des petits ouvrages à ciel ouvert, notamment :

- ❖ Au niveau des piémonts aménagés pour domestiquer les épandages des crues ;
- ❖ Dans les lits d'oueds barrés par de petits barrages, l'eau retenue étant canalisée pour l'irrigation des cultures proches ;
- ❖ Dans des citernes (ou R'dirs) construites pour recueillir les eaux de ruissèlement (Elles peuvent contenir de 50 à 60.000 litres).

Concernant les eaux d'infiltration, les sources sont le plus souvent situées au pied des massifs calcaires des piémonts, tout comme les sources artésiennes autour des sebkhas. Les puits permettent l'utilisation des eaux des nappes phréatiques. Les sources et les puits représentent

un capital primordial dans la mesure où ils permettent, outre l'usage domestique, l'abreuvement du bétail durant toute l'année.

2-5 Conditions pédologiques

On distingue plusieurs types de sols steppiques dont les caractères généraux sont les suivants :

- ❖ Les sols pauvres en éléments nutritifs et en humus
- ❖ Les sols peu profonds et souvent salés.

D'après **Hadjiat (1997)**, les sols steppiques sont soumis à une forte érosion hydrique et éolienne due aux conditions climatiques et à la forte action anthropique qui diminue le couvert végétal.

Les bons sols sont surtout des sols alluviaux. On les rencontre :

- ❖ Au bord des oueds. Ces sols restent très précaires face à l'érosion hydrique
- ❖ Dans les dépressions fermées (dayas). Ce sont des sols profonds et fertiles.
- ❖ Les piémonts sont des sols, beaucoup moins homogènes et moins épais. Les éléments constitutifs de ces sols sont grossiers.

2- Ressources pastorales des parcours steppiques

3-1 Parcours :

Généralement, on désigne par parcours, les terres recouvertes de végétations naturelles servant de base de pâturage (**Le Houerou, 1980**). Selon ce même auteur, les pays anglo-saxons utilisent le terme de « rangeland ». Dans beaucoup de pays, les terres de parcours sont disputées par divers utilisateurs, aux intérêts variés et parfois antagonistes. Nos terres de parcours sont classées selon les espèces vivaces dominantes : les parcours à Alfa, à Armoise blanche, à Spasmophytes et à Halophytes.

3-2 Dégradation des parcours

Les capacités productives des parcours ont connu une régression particulière. La dégradation du tapis végétal amorcée depuis longtemps, ne cesse de s'accroître, réduisant de plus en plus les potentialités végétales (**Aidoud, 1989**). Selon **Benrebiha et Bouabdellah (1988)**, le taux de couverture de la végétation ne dépasse pas 25% et continue à descendre

jusqu'à nos jours ; seulement 1/10 présente un couvert de cet ordre (**Nedjraoui et Bedrani, 2008**).

Il est à noter que les étendues des terres de parcours steppiques d'Algérie se caractérisent par une diminution à la fois de leur surface et de leur production potentielle. D'après **Douh (1993)**, plus de 80% de la surface totale a atteint un niveau de production inférieur à 50% de son potentiel écologique productif.

La croissance des effectifs steppiques a eu des conséquences néfastes sur les parcours pastoraux. Selon **Ziad (2006)**, le surpâturage constitue l'action la plus dévastatrice sur la végétation pérenne et le principal facteur de désertification. La capacité de charge de la steppe algérienne n'est plus que de 25%.

3-3 La végétation steppique

De nombreux travaux relatifs à l'étude de la végétation ont permis de faire ressortir les potentialités pastorales des steppes algériennes qui sont dominées par 4 grands types de formations végétales (**Le Houerou, 2000**).

3-3-1 Steppes à Alfa (*Stipa tenacissima*)

Dont l'aire potentielle était de 4 millions d'hectares présentant une forte amplitude écologique. On les retrouve en effet dans les bioclimats semi-arides. Ces steppes colonisent tous les substrats géologiques de 400 à 1800 m d'altitude. La production de l'Alfa peut atteindre 10 tonnes MS/ha mais la partie verte, qui est la partie fourragère exploitable avec une production de 100 à 500 Kg MS/ha. L'alfa, présente une faible valeur fourragère de 0,3 à 0,5 UF/Kg MS. Cependant, les inflorescences sont très appréciées (0,7 UF/Kg MS). La productivité pastorale moyenne de ce type de steppe varie de 60 à 150 UF/Kg MS selon le recouvrement et le cortège floristique (**Aidoud et Nedjraoui, 1992**). Les nappes alfatières subissent au même titre que les autres espèces pérennes, le tribut d'un long processus de dégradation qui a abouti, à certains endroits, à sa complète disparition.

3-3-2- Steppes à armoise blanche (*Artemisia herba alba*)

Elles recouvrent 3 millions d'hectares et sont situées dans les étages arides supérieurs et moyens, à hiver frais et froid, avec des précipitations variant de 100 à 300 mm. Ce type de steppe s'étale sur les zones d'épandage dans les dépressions et sur les glacis encroûtés avec une pellicule de glaçage en surface. La production primaire varie de 500 à 4500 Kg MS/ha avec une production annuelle totale de 1000 Kg MS/ha (**Lehouerou, 2000**).

La production annuelle consommable est de 500 kg MS/ha, soit une productivité pastorale moyenne de 150 à 200 UF/ha (**Le Houerou, 2000**). L'armoïse ayant une valeur fourragère moyenne de 0,65 UF/Kg MS, les steppes à armoïse blanche sont souvent considérées comme les meilleurs parcours utilisés pendant toute l'année et en particulier en mauvaises saisons, en été et en hiver où elles constituent des réserves importantes. L'armoïse est une espèce bien adaptée à la sécheresse et à la pression animale, en particulier ovine. Le type de faciès dégradé correspond à celui de *Perganum harmala* (harmal ou rue de Syrie) dans les zones de campement et autour des points d'eau.

3-3-3- Steppes à sparte (*Lygeum spartum*)

Elles représentent 2 millions d'hectares, rarement homogènes sur sols halomorphes dans la zone des chotts. Ces formations sont soumises à des bioclimats arides. L'espèce *Lygeum spartum* ne présente qu'un faible intérêt pastoral (0,3 à 0,4 UF/kg MS). Les steppes à sparte sont peu productives avec une production moyenne annuelle variant de 300 à 500 kg MS/ha, elles constituent cependant des parcours d'assez bonne qualité ; leur intérêt vient de leur diversité floristique et de leur productivité relativement élevée en espèces annuelles, vivaces et petites (110 kg MS/ha en moyenne) (**Nedjraoui, 2001**).

3-3-4- Steppes à Remt (*Arthrophytum scoparium*)

Elles forment des steppes buissonneuses chamaephytiques avec un recouvrement moyen inférieur à 12,5%. Les mauvaises conditions de milieu, xérophilie (20-200 mm/an), thermophilie des sols pauvres, font de ces steppes des parcours qui présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral. La valeur énergétique de l'espèce est de l'ordre de 0,2 UF/kg MS. La production moyenne annuelle varie de 40 à 80 kg MS/ha et la productivité pastorale est comprise entre 25 et 50 UF/ha/an. Ce type de steppe est surtout exploité par les camelins.

3-3-5- Steppes à psamophytes

Elles sont liées à la texture sableuse des horizons de surface et aux apports d'origine éolienne. Ces formations sont inégalement réparties et occupent une surface estimée à 200.000 hectares. Elles suivent les couloirs d'ensablement et se répartissent également dans les dépressions constituées par les chotts. Elles sont plus fréquentes en zones arides et présahariennes. Ces formations psamophytes sont généralement des steppes graminéennes à *Aristida pungens* et *Thymellaea microphyla* ou encore des steppes arbustives à *Retama raetam* et leurs valeurs pastorales varient de 200 à 250 UF/ha (**Deghnouche, 2011**).

3-3-6- Steppes à halophytes

Ces steppes couvrent environ 1 million d'hectares. La nature des sels, leur concentration et leur variation dans l'espace va créer une zone particulière de la végétation halophile très appréciée autour des dépressions salées. Les espèces les plus répandues dans ces formations sont : *Atriplex halimus*, *Atriplex glauca*, *Suaeda fruticosa*, *Frankenia thymifolia*, *Salsola sieberi* et *Salsola vermiculata*. Ce type de steppe est très recherché par les pasteurs et sa valeur pastorale est d'environ 300 UF/ha (**Nedjraoui, 2001**).

3- Système d'élevage ovin en Algérie

Les principales productions ovines algériennes sont connues essentiellement dans les zones steppiques où le mouton algérien a acquis des aptitudes caractérisant ses performances productives particulières.

En Algérie, le cheptel ovin représente la plus grande ressource animale du pays. Le mouton est le seul animal de haute valeur économique à pouvoir tirer profit des espaces de 40 millions d'hectares de pâturage des régions arides constituées par la steppe qui couvre 12 millions d'hectares. Ainsi, de par son importance, il joue un rôle prépondérant dans l'économie et participe activement à la production des viandes rouges. 75 % du cheptel ovin se trouvent ainsi concentrés dans la steppe et sont donc conduits en système extensif.

Il se caractérise par sa forte dépendance vis-à-vis de la végétation naturelle très ligneuse et donc demeure très influencé par les conditions climatiques. Ce qui au demeurant, engendre une faible productivité de cette espèce définie par le nombre d'agneaux destinés à l'abattage. Ce faible taux de productivité ajouté à un poids de carcasse relativement faible concourt à une insuffisance de la production de viandes rouges. Ainsi durant ces cinq dernières années, le kg de viande ovine frôlait les limites de 800 DA. Ceci ne représente que le reflet d'une diminution de la production ovine. Des investigations faites sur terrain ont permis de révéler que cette diminution n'est qu'une conséquence de l'interaction de plusieurs facteurs (exode rural, sécheresse) mais aussi le manque des équipements permettant un élevage moderne (**Harkat et Lafri, 2007**).

4-1- Les systèmes d'élevage en zones steppiques

L'agro-système pâturé des zones steppiques algériennes est caractérisé essentiellement par trois pôles ou compartiments : l'homme, l'animal domestique et les ressources naturelles.

A l'origine, appelés improprement types d'élevage, ces systèmes ont été catégorisés par **Chellig (1984)** comme suit :

- ❖ Le système de production marchand
- ❖ Le système agro-pastoral
- ❖ Le système de production familial

4-1-1- Système d'élevage marchand

Il regroupe les éleveurs possédant des cheptels dépassant les 400 têtes, exploitant au maximum et d'une manière abusive les unités fourragères gratuites des parcours et des aménagements à usage collectif (pâturages, points d'eau). Ils disposent des moyens matériels importants qui leur permettent une mobilité permanente (nomadisme et transhumance) et par conséquent l'exploitation de vastes étendues de l'espace pastoral (**Bedrani, 1996**). Les effets de ce système se traduisent par un laminage des charges d'alimentation du cheptel (**Boukhobza, 1982**), car c'est un système entièrement tourné vers le marché puisque la plus grande partie du croît y est destinée.

Yerou (1998) note, pour ce système d'élevage extensif de rente, que l'alimentation supplémentaire est utilisée durant toute l'année. En bonne année, la quantité distribuée est faibles et représente 20% des UFL totales (réparties à raison de 78% d'orge, 9% de concentré de commerce et 13% de paille), elle devient importante en mauvaise année et touche généralement toutes les catégories d'animaux.

Ce système fonctionne pour un objectif de réalisation d'un profit maximal en combinant l'exploitation intense de la force de travail, l'exploitation abusive des ressources naturelles et la spéculation dans le marché des viandes. A priori, au regard des moyens mobilisés par ce système, l'utilisation des ressources alimentaires est inégale malgré la possession collective des pâturages. En fait, l'ère de l'intérêt collectif et de solidarité est révolu, remplacée par l'ère de l'intérêt individuel.

4-1-2- Système d'élevage agro-pastoral

Les exploitations rencontrées dans ce système pratiquent la céréaliculture en plus de l'élevage, d'où son appellation. La céréaliculture en sec (emblavures situées dans les parcours, aire de production pastorale), est en général l'unique spéculation permise par les conditions hydrologiques, pédologiques et climatiques de la steppe. Les agro-éleveurs sont de petits propriétaires-exploitants qui possèdent moins de 100 brebis et moins de 10 ha destinés à la céréaliculture (**Berchiche et al, 1993**).

Ces familles pratiquent l'agriculture afin de satisfaire leurs besoins insuffisamment couverts par l'élevage. Cette agriculture représente de 36% à 50% de leur revenu global. Les

troupeaux, de petites tailles, sont alimentés principalement par les sous-produits agricoles (pailles et chaumes) associés aux parcours.

Le mauvais quadrillage en points d'eau de la steppe et l'irrégularité des ressources fourragères dans l'espace contraint les agro-pasteurs et petits éleveurs à se contenter des maigres pâturages autour des puits en affrontant les épizooties (**Khaldoun, 1995**).

4-1-3- Le système d'élevage familial

Dans ce système, la famille constitue la force de travail exclusive qui exploite le troupeau. Ce système rappelle celui qui dominait à la période précoloniale dans la mesure où il s'agit d'un mode de faire valoir direct. Sa mobilité interdit aussi à la famille de bénéficier d'un revenu extérieur. Actuellement, il représente le système de production le plus courant sur la steppe. L'objectif de ces exploitations familiales est de réaliser un produit maximal susceptible d'assurer l'existence et la sécurité du groupe familial. La pratique de la céréaliculture est rare (**Mâaouz, 2011**).

Étant donné que l'élevage constitue la seule production, les éleveurs sont contraints de commercialiser leur principal produit ; il s'agit du mouton et de la laine qui n'a pas été utilisée à des fins domestiques (flidj, tapis,...). L'organisation de la production est basée essentiellement sur le nomadisme (imposant au troupeau une perte de poids). On retrouve toujours le double courant de migration (Achaba et Azaba). Les itinéraires sont toujours ceux qui étaient utilisés avant le verrouillage du Tell. Le mode de faire valoir direct induit tout de même à la participation des enfants à la production. Le niveau des forces productives est faible dans la mesure où la conduite du troupeau est archaïque ; cette dernière s'accompagne par un cortège de problèmes réduisant énormément la productivité numérique du troupeau (**Mâaouz, 2011**).

Les exploitations de ce système demeurent imperméables aux progrès techniques. Ainsi, la lutte préventive contre les maladies est inexistante. Bien que les ovins de races steppiques soient réputés pour leur rusticité (résistance aux maladies), les mortalités sont importantes (mortalités relatives : 19,2% des bêtes affectées). Les exploitations se situent au-dessus de la moyenne soit 19% (**Mâaouz, 2011**).

En dernière analyse, une gestion naturelle du troupeau ne permet que la subsistance de la famille en maintenant le troupeau stable dans l'échelle de temps décennale où l'effectif moyen varie de 100 à 400 têtes. Ce système est faiblement intégré au marché et se caractérise par une « petite production marchande », c'est-à-dire qu'il y a au moins une partie de la

production qui est vendue pour assurer les besoins familiaux (soumis à une évolution constante) qui ne peuvent être couverts par la production en tant que telle (**Mâaouz, 2011**).

Chapitre 2

Aspects nutritionnels et diététiques de la viande d'agneau

1- Apports nutritionnels et diététique

La viande des ruminants notamment celle d'agneau est une excellente source de nutriments facilement assimilés par l'organisme. Sa composition est proche du corps humain (75% d'eau, 19 -25% de protéines, 1-6% de lipides, et 1-2% de glucides) (**tableau 2**) (**Geay, 2002**).

Il existe une approche pour évaluer la composition brute de la viande. Elle permet de doser l'humidité, les protéines, les lipides et les cendres. Il faut noter que le muscle change considérablement dans ses composantes, et l'accumulation des lipides a une influence sur cette variation (**Geay, 2002**).

La consommation en gramme/jour dans les pays développés reflète les attributs de ces éléments nutritifs de valeur appréciables couvrant les besoins nutritionnels de l'homme. Les principaux bénéfices sur la santé associés à la consommation de la viande rouge sont relatifs à la composition nutritionnelle de la viande. Toute fois, l'importance des nutriments et leurs natures dépendent de l'alimentation des animaux (**Geay et al, 2002**).

Tableau 2 : Consommation quotidienne en (gramme/jour) de viande rouge (**Linseise et al, 2002**)

| Pays | Hommes | Femmes |
|-------------------|---------------|---------------|
| Grèce | 45,3 | 25,5 |
| Espagne | 74 | 37,8 |
| Italie. | 57 | 40 |
| Allemagne | 52 | 28,6 |
| Hollande | 63,8 | 41 |
| Angleterre | 40 | 24,6 |
| Danemark | 61 | 44,1 |
| Algérie | 29 | 10 |

2- Energie

La teneur en protéines étant stable d'un morceau à un autre, les différences d'apport énergétique entre les morceaux sont directement liées à celles des teneurs en lipides : 104 à 113 kcal/100 g pour les morceaux les plus maigres (tende de tranche, noix), aux alentours de 200 kcal/100 g pour les morceaux plus gras (collier, steak haché 15 %) (**Tableau 2**) (**CIV., 2009**)

Seuls les morceaux hétérogènes considérés dans leur globalité (avec le « gras ») vont au-delà des 200 kcal/100 g : 231 kcal/100 g pour l'entrecôte et 276 kcal/100 g pour la côte première d'agneau (CIV, 2009).

Tableau 3 : Teneur en énergie et en eau pour chaque type de morceau de viande d'agneau

| | Gigot | Collier | Côte filet gras | Foie | Côte première grasse |
|-----------------------------|--------------|----------------|------------------------|-------------|-----------------------------|
| Énergie (kcal/100 g) | 126 | 195 | 232 | 136 | 202 |
| Eau (g/100g) | 75 | 68 | 64 | 71 | 43 |

Source : CIV (2009)

3- Protéines

La teneur et la biodisponibilité des protéines et des acides aminés indispensables des régimes sont généralement considérées comme des déterminants majeurs de la qualité nutritionnelle de l'apport alimentaire protéique (Tomé, 2008).

Les protéines animales présentent de hautes valeurs biologiques par rapport aux protéines végétales (Williamson et al, 2005). Elles sont riches en aminoacides (55,2g pour 100g de viande) notamment en lysine (9,1g/100g de viande) et ayant une teneur faible en aminoacides soufrés (Faucounnau et al, 1997).

Il est à noter que 100 g de viande permettent de couvrir environ 1/3 de l'apport nutritionnel conseillé (ANC) minimal en protéines d'un homme adulte (CIV, 2009).

D'autre part, les protéines « musculaires » tels que l'actine et la myosine sont riches en acides aminés indispensables (lysine et histidine notamment) et présentent un équilibre en acides aminés indispensables proche des besoins de l'homme, de l'enfance à l'âge adulte (Remond et al, 2008).

Selon Cheftel (1980), l'élastine ou bien le « tissu conjonctif jaune » est très résistante et non soluble après cuisson.

Il importe de signaler que le collagène constituant essentiel du tissu conjonctif, se transforme en partie à la cuisson en gélatine. Sa rigidité et sa résistance sont dues à l'abondance de deux acides aminés : la proline et l'hydroxyproline (Cheftel et al, 1980). Le tableau 3 résume les différentes teneurs en protéines pour chaque morceau de viande d'agneau.

Tableau 4 : Teneur en protéines pour chaque morceau de viande d'agneau

| Valeur pour 100g de viande crue | Gigot | Collier | Côte filet gras | Côte première grasse | Foie |
|----------------------------------|-------|---------|-----------------|----------------------|------|
| Protéines (N X 6,25) (g/100g) | 20,2 | 18 | 17,6 | 12,4 | 21,8 |

Source : **CIV (2009)**

L'utilisation digestive des protéines de la viande d'agneau est par ailleurs globalement très élevée. Selon le calcul du PD-CAAS (Protein digestibility corrected amino-acid score), méthode recommandée par la **FAO (2007)**, la plupart des protéines animales ne présentent aucun acide aminé limitant (**Tomé, 2008**).

En raison de cette bonne utilisation digestive et de leur équilibre favorable en acides aminés indispensables, les protéines de la viande sont utilisées avec une grande efficacité pour accroître ou renouveler les protéines corporelles (**Remond et al, 2008**).

4- Lipides

Les lipides constituent la réserve énergétique de la viande, précurseur de vitamines liposolubles (A, D, E, K), d'hormones (prostaglandine) et sont porteurs d'acides gras essentiels (oméga 3 et oméga 6) (**tableau 5**).

Les variations de la matière sèche de la viande sont très dépendantes de celles des lipides. Plus le morceau est riche en lipides, plus il est pauvre en protéines et en eau (**Bauchart et al, 2008**).

La teneur en lipide des morceaux est le paramètre le plus variable de la composition des viandes (de 2,3 à 9,8g/100g). Le principal effet de variation de la teneur en lipides est lié au morceau, facteur qui explique 55% de la variabilité de ce paramètre (**Bauchart et al, 2008**).

Le génotype par contre n'a pas d'effet significatif sur la variation des teneurs en lipides de la viande d'agneau. L'étude comparative réalisée par **Lirette et al (1984)** entre les agneaux mâles (castrés et non castrés des races Suffolk, Finnish Landrace) et croisés (Suffolk x Finnish Landrace, Finnish Landrace x Suffolk) abattus entre 24,9 kg et 35 kg, les ont conduit à conclure que le génotype n'a pas influencé le contenu de la longe en protéine (74,9 % - 81,6 %), en gras (15,6 % - 20,6 %) ni en cendre (3,9 % - 4,3 %).

Les morceaux les plus pauvres en lipides sont le tendre de tranche (2,3g/100g) et la macreuse (3,4g/100g) et les plus riches sont l'entrecôte, la hampe, le plat de côte (8,7, 8,6 et 7,6g/100g respectivement) (**Bauchart et al, 2008**).

Les lipides intermusculaires, intramusculaires et sous cutanés contiennent des concentrations différentes en acides gras, déterminant le profil lipidique de la viande en acide gras saturés, acides gras monoinsaturés et acides gras polyinsaturés (**Higgs, 2000**) (**Tableau 5**).

Tableau 5 : composition d'AG en g/100g de viande d'agneau cuite

| | |
|-------------|------|
| AGS | 5,36 |
| AGMI | 4,06 |
| AGPI | 0,59 |
| ω6 | 0,48 |
| ω3 | 0,23 |

Source : Higgs (2000)

Cuvilier et al (2004) rapportent que sur le plan biochimique, les acides gras volatils (C₂, C₃, C₄) issus du métabolisme ruminal des hydrates de carbones (cellulose et amidon) (**Jarrige et al, 1995**) sont absorbés par voie ruminale, par diffusion sous forme anionique (acide faible, PK ≤ 4,8) (**Russel et Ghar, 2000**).

Les lipides intramusculaires ont une grande importance dans la qualité nutritionnelle de la viande, en particulier les acides gras polyinsaturés qui sont associés à une diminution du risque d'apparition des maladies coronariennes chez l'homme (**Hu et al, 1999**). D'une façon générale, le rapport n-6/n-3 de la viande recommandé pour l'alimentation humaine était de l'ordre de 2 (**Okuyama et Ikemoto 1999**) mais des études récentes ont porté ce rapport à 5.

4-1- Acides gras saturés

Des études cliniques randomisées chez l'homme ont permis de définir les effets des grandes classes d'acides gras sur les facteurs de risques. Comparativement aux monoinsaturés et aux polyinsaturés, la consommation d'acides gras saturés est associée à une augmentation des niveaux de LDL-cholestérol (**Clarck et al, 1997**).

Plus particulièrement, la consommation de l'acide laurique (C₁₂:0) et myristique (C₁₄:0) est associée à une élévation du LDL-cholestérol plasmatique comparativement à l'acide palmitique (**Kris-Etherton et al, 1997**). En revanche, l'acide stéarique (C₁₈:0) et l'acide oléique ont des effets similaires sur le niveau de LDL-Cholestérol.

En règle générale, les enquêtes épidémiologiques d'observation montrent une relation entre les rapports d'acides gras saturés et le risque de cardiopathie ischémique (**Hu et al, 2002**). Plus précisément, la consommation d'acides gras saturés de 12 et 18 carbones est

associée à un excès de risque, alors que l'ingestion d'acides gras plus courts (entre 4 à 10 carbones) ne semble pas liée aux risques coronariens (**Hu et al, 1999**).

4-2- Acides gras monoinsaturés

L'acide oléique est le principal représentant des acides gras monoinsaturés alimentaires. Comparativement aux glucides et aux acides gras polyinsaturés, l'ingestion d'acides gras monoinsaturés s'accompagne d'une augmentation du ratio HDL sur LDL-cholestérol (**Mensink et al, 1992**), d'une diminution des triglycérides et d'une augmentation du HDL-cholestérol (**Garg et al, 1998**). Ces résultats indiquent des effets favorables de la consommation d'acides gras monoinsaturés sur le profil lipidique chez l'homme.

Les résultats des études épidémiologiques de cohorte sont compatibles avec ces observations. En règle générale, ils montrent des taux d'événement coronaires plus bas chez les sujets qui ont un régime riche en acides gras monoinsaturés par rapport à ceux qui ont une alimentation riche en acides gras saturés (**Kris-Etherton et al, 1999**).

4-3- Acides gras polyinsaturés

L'acide linoléique et l'acide α -linoléique sont les précurseurs et principaux représentants des familles d'acides gras n-6 et n-3. Leur métabolisme génère dans l'organisme des dérivés oxygénés (tels que les prostaglandines et les éicosaénoïdes) actifs sur l'hémodynamique vasculaire et l'hémostase (**Société Française de Nutrition, 2008**)

Comparativement aux acides gras saturés, la consommation d'acides gras polyinsaturés diminue les concentrations plasmatiques de LDL-cholestérol et, à un moindre degré, de HDL-cholestérol. Cet effet est particulièrement marqué pour les acides gras n-6 (**Hu et al, 1997**).

Cependant, La consommation des acides gras n-3 est associée à une diminution des triglycérides plasmatiques et à une augmentation modeste du HDL et du LDL-cholestérol. En accord avec ces résultats, les études épidémiologiques prospectives montrent des taux de cardiopathies ischémiques généralement plus bas chez les sujets consommateurs d'acides gras polyinsaturés que chez les consommateurs d'acides gras saturés ou trans (**Hu et al, 1997**).

Il est à noter que les lipides intramusculaires des ruminants contiennent des proportions intéressantes d'AGPI (2 à 3%) contre 20 à 25% chez la volaille (**Gandemer, 1998**). Le tableau 6 met en évidence les principaux acides gras du tissu adipeux d'agneau.

Tableau 6 : Composition des principaux acides gras dans le tissu adipeux d'agneau (% du poids vif)

| Tissu adipeux | Sous cutané | intermusculaire | intramusculaire | Périrénal |
|-------------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------|
| C₁₄:0 | 4,50 | 5,1 | 3,5 | 3,5 |
| C₁₆:0 | 23,4 | 23,6 | 23,1 | 21,4 |
| C₁₈:0 | 14,5 | 16,5 | 17,1 | 27 |
| C₁₇:0 | 2,50 | 1,8 | 1,30 | 2,10 |
| C₁₆:1 | 3,20 | 2,1 | 2,80 | 2,2 |
| C₁₈:1 | 41,8 | 41,6 | 42,1 | 37,2 |
| C₁₈:2 | 4,0 | 3,60 | 5,9 | 5 |
| C₁₈:3 | 1,10 | 1,40 | 1,0 | 1,6 |

Source : Beriain et al (2000)

La teneur en AGPI de la viande est fortement influencée par le régime alimentaire des animaux (**Wood et al, 1999**). En effet, les graines oléagineuses enrichissent la viande en oméga 3. Malgré le phénomène de biodégradation spécifique aux ruminants, des quantités significatives de C₁₈:3 (n-3) échappent à ce processus et s'accumulent dans le tissu adipeux intermusculaire (**Givens, 2005**).

4-4- Acides gras trans

Les acides gras trans alimentaires proviennent des viandes, de certaines margarines et de plats préparés avec certaines huiles hydrogénées. Leur production résulte de la rumination pour les acides trans d'origine animale et de procédés d'hydrogénation industrielle mal maîtrisés pour les acides gras trans d'origine végétale (**Mozaffarian et al, 2006**).

L'acide vaccénique (t11- C₁₈:1) est le principal représentant des acides gras trans des viandes et des produits laitiers. L'acide elaidique (t9- C₁₈:1) est produit par l'hydrogénation des huiles végétales.

Comparativement à l'acide oléique, les acides gras trans augmentent le LDL-cholestérol et, à moindre degré, diminuent le HDL-cholestérols (**Judd et al, 1994**). A apport équivalent, l'effet des acides gras trans sur le LDL-cholestérol est plus marqué que celui des acides gras saturés (**Asherio et al, 1999**).

En règle générale, les études épidémiologiques prospectives ont montré une relation entre la consommation d'acides gras trans et l'augmentation de la morbi-mortalité cardiovasculaire en Europe et en Amérique du nord (**Jakobson et al, 2008**).

4-5- Cholestérol

La viande d'agneau contient 50-100mg/100g de viande cuite ; les abats en contiennent plus (dans le foie 235mg/100g). Le cholestérol de l'organisme est à 50% d'origine endogène (synthèse hépatique et intestinale) (**Geay et al, 2002**).

4-6- Influence de l'alimentation à base d'herbe sur l'oxydation des lipides

La nature de l'alimentation joue un rôle important mais ses effets spécifiques sont difficiles à évaluer. Parmi les différents types d'alimentation, l'effet de l'herbe pâturée ou récoltée est encore assez mal connu (**Dozias et al, 1997**). Il est donc important de bien caractériser la viande produite à l'herbe, notamment la teneur en lipides, la composition de leurs acides gras (AG) et l'effet des antioxydants contenus dans le pâturage sur les phénomènes d'oxydation des lipides. En effet, ces composants marquent, non seulement les propriétés gustatives de la viande, mais aussi sa valeur nutritionnelle.

La viande de bovins où d'ovins finis à l'herbe est plus sombre et moins tendre que celle des animaux finis avec des régimes riches en concentrés (**Coulon et Priolo, 2002**). Cette constatation peut être le fait d'une modification du pH ultime de la viande.

L'alimentation à base d'herbe influence aussi, en la renforçant, la flaveur de la viande. (**Coulon et Priolo, 2002**). Cet effet serait lié à la composition en acide gras de la viande. En effet, la consommation d'herbe favorise l'augmentation des acides gras polyinsaturés (AGPI) par rapport aux Acides Gras Saturés (AGS) fréquemment associés aux risques d'infarctus (**Dozias et al, 1997**).

Il est à indiquer qu'une alimentation à l'herbe induit une augmentation du dépôt d'acides gras polyinsaturés de type n-3 (favorables à la santé humaine) dans les muscles sans modification de la lipoperoxydation ni des systèmes antioxydants (enzymes, antioxydants totaux), suggérant une amélioration des qualités diététiques de la viande. Les enzymes des tissus adipeux ont aussi une activité moindre chez les animaux alimentés à l'herbe (**Micol et al, 1992**). Les profils en terpènes des viandes indiquent qu'il est possible de distinguer les viandes d'animaux nourris à l'herbe de ceux nourris à l'ensilage de maïs (**Micol et al, 1992**).

Selon **Bauchart et Picard (2010)** l'apport d'herbe riche en vitamine E confère aux muscles un pouvoir antioxydant suffisant pour prévenir celui-ci de la lipopéroxydation. Une étude menée par **Santé-Lhoutelier et al (2008)** sur des animaux élevés à l'herbe a révélé que les niveaux d'oxydation des lipides chez ces animaux sont beaucoup plus bas que ceux chez les animaux nourris à base de concentré. Cela est vraisemblablement lié aux fortes teneurs en vitamine E apporté par l'herbe.

Chez des bœufs Charolais âgés de 30 mois, un régime à base d'herbe pâturée n'a pas modifié significativement les teneurs en lipides du muscle « *Rectus abdominis* », comparativement à un régime à base d'ensilage de maïs. Il a en effet entraîné un enrichissement significatif en AGPI de la famille n-3 (18 :3n-3, 20 : 5n-3) au moins quatre fois plus élevée, ce qui a conduit à réduire par trois le rapport AGPI (n-6/n-3) (2,7 Vs 9) (**Bauchart et al, 2001**). Ces variations se sont accompagnées d'une augmentation importante de la lipo-péroxydation dans le sang et dans le foie, mais plus faible dans le muscle, ce qui suggère que l'apport naturel d'antioxydants par l'herbe est suffisant pour assurer une protection efficace des acides gras (AGPI notamment) déposés.

5- Minéraux

La rouge est une source de phosphore, élément principal de la membrane cellulaire, elle aussi une source de zinc et de sélénium (**BNF, 2002**), cofacteurs dans de nombreuses réactions biochimiques (cicatrisation et synthèse d'hormones).

La viande est une excellente source de fer. Cent gramme de viande fraîche apportent de 2,2 à 3,7 mg de fer, essentiellement sous forme héminique (65 à 75% du fer total). La teneur en fer total de la viande dépend du morceau et très peu de la race (**Bauchart et al, 2008**).

La teneur en fer, en particulier en fer héminique, est très dépendante du type métabolique des muscles qui composent le morceau : les muscle glycolytiques (plat de côte et faux-filet) sont les plus pauvres (2,2-2,3 mg/100g), alors que les muscles les plus oxydatifs (hampe, bavette et joue) sont les plus riches (3,2-3,7mg/100g), les autres muscles (paleron, entrecôte et macreuse), muscles à métabolisme intermédiaire apportent de 2,5 à 2,9 mg/100g (**Bauchart et al, 2008**).

Il importe de signaler que le fer joue un rôle physiologique important dans le transport d'oxygène et la synthèse des neurotransmetteurs (**Williamson et al, 2005**).

6- vitamines

Les vitamines sont des cofacteurs de plusieurs systèmes enzymatiques. La viande rouge est une très bonne source de vitamines du groupe B (B1, B2, B3, B6 et B12) (**Chan et al, 1995**). Les vitamines du groupe B sont synthétisées par les microorganismes du rumen et sont absentes dans les végétaux (**Tableau 7**).

La contribution de la viande rouge en vitamine B12 (élément essentiel dans la genèse des érythrocytes) est importante 1,5 à 2,5 mg/100g et de 0,15 à 0,25 mg/100g chez l'agneau (Favier et al, 1995).

La vitamine E se trouve en petite quantité avec des concentrations élevées dans les morceaux gras, et joue un rôle d'antioxydant en limitant les phénomènes d'oxydation se produisant dans la viande.

La vitamine D se trouve avec des quantités significatives dans le foie et joue un rôle primordial dans le métabolisme de l'os.

Tableau 7 : teneur de la viande cuite en vitamines d'après CIV (2009) :

| Teneur pour 100g de viande cuite | |
|---|------|
| B1 (mg) | 0,1 |
| PP (mg) | 7,6 |
| B5 (mg) | 0,7 |
| B6 (mg) | 0,36 |
| B12 (mg) | 1,7 |

Chapitre 3

Impacts de la cuisson sur les composants nutritionnels de la viande d'agneau

1- Introduction

Bien que la cuisson constitue la dernière étape avant la dégustation de la viande, elle est laissée au bon gré du consommateur final. La combinaison adéquate du morceau de viande, du mets ou de la préparation envisagée et du mode de cuisson (temps et température de chauffage) est primordiale afin de rehausser ses qualités organoleptiques.

Deux méthodes de cuisson peuvent être différenciées ; les cuissons sèches, c'est-à-dire rapides, utilisées pour les morceaux à faible teneur en tissu conjonctif, dits morceaux à griller ou à rôtir. Les cuissons humides, plus lentes, destinées aux morceaux plus riches en tissu conjonctif, dits à braiser ou à bouillir. Pour les premières, la température atteinte est inférieure à 60 °C, tandis que pour les deuxièmes, elle monte à plus de 80 °C afin de provoquer la gélatinisation du collagène (**Cazeau, 1997**).

La température de cuisson influe sur la tendreté et entraîne deux types de modifications sur la viande crue : les fibres musculaires durcissent et le tissu conjonctif devient plus tendre. De plus, lors de la cuisson, de nombreux composés volatils ou solubles sont dégagés donnant à la viande son fumet caractéristique et toute sa saveur. De la même façon, elle agit sur la digestibilité de la viande et sur l'élimination des parasites nuisibles (**Bavera, 2003**).

2- Traitements technologiques

2-1- Généralités sur les modes de cuisson

La cuisson est un traitement thermique faisant intervenir des transferts de chaleur, de matières et des réactions physiques, chimiques, biochimiques et microbiologiques (**Kinsma et al, 1994**). Le transfert de chaleur est induit à partir d'une source d'énergie vers le produit est induit selon trois principes : la convection, la conduction et le rayonnement. Leurs proportions relatives dans le processus de transfert varient selon les paramètres du four : température, humidité, et vitesse de déplacement de l'air à l'intérieur du four (**Broyart, 1998**).

On peut regrouper les différents modes de cuisson en deux principales classes :

- Les techniques traditionnelles par contact et convection

Dans lesquelles les échanges de matière (eau, lipides, substances dissoutes) ont lieu en surface et où la chaleur est transmise à l'aliment par l'intermédiaire d'un solide (plaque métallique, poêle : grillades) ou d'un fluide (gaz, eau ou huile : friture, cuisson à l'eau). Ce type de cuisson, a donné naissance à des variantes liées soit à une modification de

l'appareillage (four à chaleur tournante, four à rayonnement), soit à l'utilisation d'atmosphère humide, de vapeur d'eau surchauffée ou à l'injection de vapeur (**Richard et al, 1997**).

- Les techniques modernes

Les techniques électriques (induction, micro-ondes et chauffage ohmique), la cuisson sous vide, la cuisson-extrusion et l'autoclavage utilisé depuis bien des années, sont des techniques modernes à multiples applications. Elles permettent une modification physique et organoleptique des aliments, en modifiant l'aspect, la couleur, l'odeur, la saveur, la consistance, le volume, le poids et le goût des aliments (**Richard et al, 1997**).

2-2- Différents modes de cuisson

2-2-1- Cuisson à l'eau

Au cours de cette cuisson, le produit alimentaire s'imprègne dans l'eau et ses composés éventuels. De grandes quantités de matières solubles (acides aminés, minéraux, oses et oligosides, acides gras à courtes chaînes, etc...) sont ainsi échangées ; certaines extraites, d'autres introduites (dans ce mode de cuisson, le pH est un facteur très important). Dès que la température atteint les 100°C, le milieu est dégazé et se trouve dépourvu en oxygène, si bien que les réactions d'oxydation ne peuvent plus se développer. Par ailleurs, le milieu étant fortement hydraté, les réactions de Maillard sont également peu favorisées. Ce type de cuisson est peu propice à la production d'arômes. Enfin, l'élimination de vapeur d'eau entraîne des pertes en constituants volatils (**Richard et al, 1997**).

2-2-2- Rôti

Il s'agit d'une méthode dans laquelle la chaleur est transmise à la viande par convection, dans un four à porte fermée, où la chaleur est homogène.

Il a été montré que quand le four est préchauffé à de fortes températures, (232°C par exemple) il y a plus de pertes pendant la cuisson, d'éclaboussures ; la cuisson est moins uniforme et le rendement sera moins bon.

La viande doit être placée au centre du four et une température basse est recommandée (180°C), la cuisson désirée est obtenue en surveillant, soit la température à cœur de la pièce à cuire, soit sa couleur, ou plus approximativement d'après le temps de cuisson (**Hallé, 2002**).

2-2-3- Grillade

C'est une méthode de cuisson en chaleur sèche, qui utilise la chaleur radiante ; on peut se servir pour cela d'un four possédant cette option, d'un grill électrique, ou encore d'un barbecue. Comme la chaleur ne provient que d'une seule direction, il sera nécessaire de tourner la pièce à griller (**Hallé, 2002**).

Les pertes durant la cuisson seraient moins importantes que pour une pièce rôtie, et cela en raison d'un temps de cuisson plus court (**McCrae, 1985**).

La viande est placée à environ 10 cm de la source de chaleur (plus ou moins selon sa taille, et la température de la source) qui doit approcher les 200°C. Les éclaboussures et la fumée causée par la cuisson sont dues à des températures très élevées ; on peut les réduire en augmentant la distance avec la source de chaleur, ou en réduisant la température de cuisson (**Hallé, 2002**).

2-2-4- Friture

Les pièces de viande sont placées soit dans une poêle avec juste un peu de matières grasses, soit plongées dans un bain d'huile. Les températures de cuisson atteignent les 180°C, les excès de matières grasses devraient être épongés avant consommation (**Hallé, 2002**).

2-2-5- Braiser

Il s'agit d'une méthode de cuisson durant laquelle, la viande est cuite lentement en atmosphère humide, due à l'adjonction d'eau (ou de bouillon, de sauce tomate, etc.) dans un système fermé, comme une poêle couverte ou une cocotte.

La température doit atteindre les 165°C ; c'est la méthode de cuisson qui fait le plus « suer » la viande, c'est aussi le mode de cuisson qui génère le moins de pertes de graisses

2-2-6- Cuisson aux micro-ondes

La viande est chauffée par l'agitation moléculaire produite par les micro-ondes. C'est la méthode de cuisson qui produit le plus de gouttes, de plus la cuisson n'est pas toujours uniforme (**Hallé, 2002**).

2-2-7- Le chauffage ohmique

C'est une technique uniquement utilisée en industrie. Il existe deux façons de procéder, soit le chauffage est réalisé par l'intermédiaire d'un tube métallique qui joue le rôle de résistance et s'échauffe par effet Joule lorsqu'il est traversé par un courant électrique, soit dans le cas de morceaux solides en suspension dans un liquide, le milieu alimentaire est directement traversé par un courant électrique (Pasteurisation). Dans ce type de traitement

thermique, la cuisson est homogène et l'apport de chaleur peut être interrompu instantanément à tout moment. Dans ces procédés, l'eau assure la continuité thermique ou électrique et doit donc être assez abondante. Cette situation est peu adaptée au développement de réactions de Maillard, mais ne minimise pas les dégradations oxydatives.

3- Les grandes réactions de dégradation thermique

3-1- Réactions de Maillard

Les réactions de Maillard sont des voies importantes de la synthèse de nombreux composés volatils trouvés dans la viande cuite. Les réactions de Maillard donnaient naissance à des composés hétérocycliques comme les pyrazines, les oxazoles, les thiazoles et les thiophènes qui sont des composés essentiels de l'arôme de la viande cuite (**Gandemer, 1997**).

Le premier stade de la réaction, résulte de la condensation entre une fonction aldéhyde (ose ou oligoside réducteur) et une fonction amine (principalement un acide aminé). Ces premières réactions sont des réactions réversibles conduisant à la formation d'une fonction imine, qui se réarrange (Réarrangements d'Amadori dans le cas des aldoses et de Heyns dans le cas des cétooses) pour donner respectivement des cétoamines et des aldosaamines, connus sous le nom de produits d'Amadori ou de Heyns (**David, 2000**).

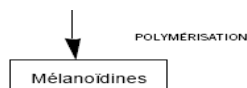


Figure 3 : Schéma simplifié de la réaction de Maillard (**Richard et al, 1997**).

Puis par une suite de réactions d'énolisation et de déshydratation, on observe la formation de réductones, composés instables susceptibles de donner des réactions

d'oxydation. Il est à remarquer que la vitamine C et le furanéol sont des types de réductones tout à fait capables de réagir avec des acides aminés pour donner des produits de Maillard.

Les réductones provoquent ensuite la destruction de l'acide aminé, c'est la dégradation de Strecker avec formation de composés aldéhydiques présentant un atome de carbone de moins que l'acide aminé (**Tressl et Rewicki., 1999**), qui non seulement participent à l'arôme du produit, mais peuvent également réagir avec des amines (Formation de bases de Schiff) ou des aldéhydes (Aldolisation).

3-2- Principaux facteurs influençant les réactions de Maillard

Plusieurs facteurs influent sur la vitesse et les voies de réaction de Maillard : la température, le pH, l'activité de l'eau, la présence de certains sels et vitamines.

La température est certainement le facteur le plus influent par sa participation dans l'équation d'Arrhénius. En effet, la vitesse de réaction est en moyenne doublée lorsque la température augmente de 10. Pourtant il faut noter que la réaction a lieu même à 4 °C et qu'il faut prendre en compte le couple temps-durée. En effet, les acides aminés substrats sont aussi sensibles à la chaleur ; ainsi, à 50 °C il y a peu de perte en lysine mais un brunissement, alors qu'à 100 °C la perte est grande mais le brunissement est ralenti.

Ces réactions sont favorisées par un pH alcalin du fait de la réactivité de l'amine libre sous sa forme basique et de la valeur de son point isoélectrique dans le cas d'un peptide. **Ames et al (1993)** ont montré que l'inhibition de la réaction de Maillard est proportionnelle à la teneur en eau car elle est un produit de réaction ; inversement, à très faible teneur en eau, la réaction est freinée par l'absence d'eau solvante.

L'initiation de la réaction de Maillard dépend de plusieurs paramètres, tels que la nature des sucres, la nature de la source aminée et les conditions physico-chimiques. De manière générale, les pentoses provoquent un brunissement plus important que les hexoses. **Assoumani et al (1993)** ont montré que l'intensité du brunissement est plus élevée de 34,15 % pour la perte en lysine avec les pentoses, contre 21,15 % avec les hexoses. Les sucres de petite taille sont de meilleurs substrats car ils pénètrent plus aisément dans les protéines. Par ailleurs, **Dills (1993)** rapporte que la vitesse de réaction de la première étape semble plus élevée avec les cétooses qu'avec les aldoses.

Il existe d'autres molécules ayant des fonctions réductrices entrant dans les réactions de MAILLARD. Les aldéhydes issus de la caramélisation des sucres participent largement à l'augmentation du brunissement, notamment dans un système fructose-glycine (**Buera et al,**

1987). **Arnoldi et al (1990)** ont établi que les lipides peroxydés forment des aldéhydes pouvant réagir avec les acides aminés pour donner des bases de Schiff. **Yen et Lai (1987)** ont étudié l'effet de l'addition de certains antioxydants ; l'acide ascorbique ou l' α -tocophérol provoquent une baisse du blocage de la lysine disponible dans un système modèle caséine-lactose.

Ashoor et Zent (1984) ont étudié la réaction de Maillard en fonction des acides aminés communs. Les plus réactifs sont la lysine, la glycine et la méthionine, les moins réactifs étant la cystéine, l'acide glutamique et l'asparagine. Il convient de rappeler que les principales sources aminées de la réaction de Maillard sont des protéines, leurs fonctions amines en α formant des liaisons peptidiques. Les seuls substrats sont alors les acides aminés en position N-terminale ou ayant une fonction amine sur leur chaîne latérale : la lysine, l'arginine et l'histidine.

3-3- Toxicité des produits de la réaction de Maillard

3-3-1- Principaux produits de la réaction de Maillard (PRM) toxiques

Il faut attendre la fin des années 1970, avec l'apparition de la technique GC/MS (chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse) pour pouvoir identifier un très grand nombre de PRM (Figure3)

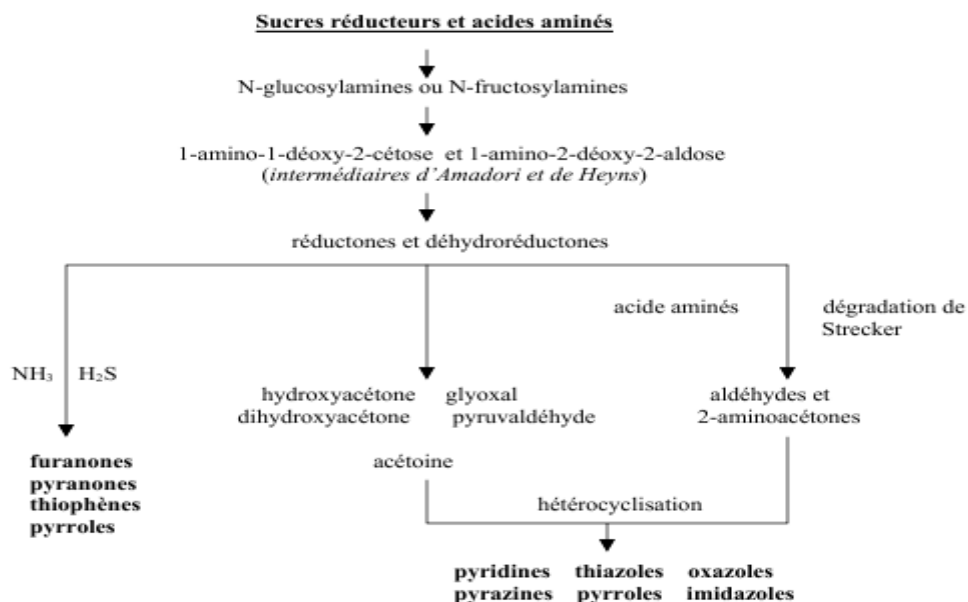


Figure 4 : Formation des hétérocycles dans les aliments par réaction de Maillard (**Fernandez et al, 2002**)

a- Les composés dicarboxylés

De nombreux composés dicarboxylés sont issus de la réaction de MAILLARD (**figure 5**). Le maltol et le glyoxal sont présents dans le café et les produits céréaliers. **Nagao et al,**

(1986) ont identifié le glyoxal et ses dérivés alkyls dans de nombreuses boissons (café, thé, vin, bourbon,...), dans le pain, et les dérivés du soja.

Le test d'AMES a montré que le diacétylglyoxal, le glyoxal et le maltol sont mutagènes pour TA98 et TA100 avec ou sans activation S-9 ; le méthylglyoxal, le glycéraldéhyde, le dihydroxyacétone et l'acide glyoxalique sont, eux, mutagènes pour TA100 sans activation S-9

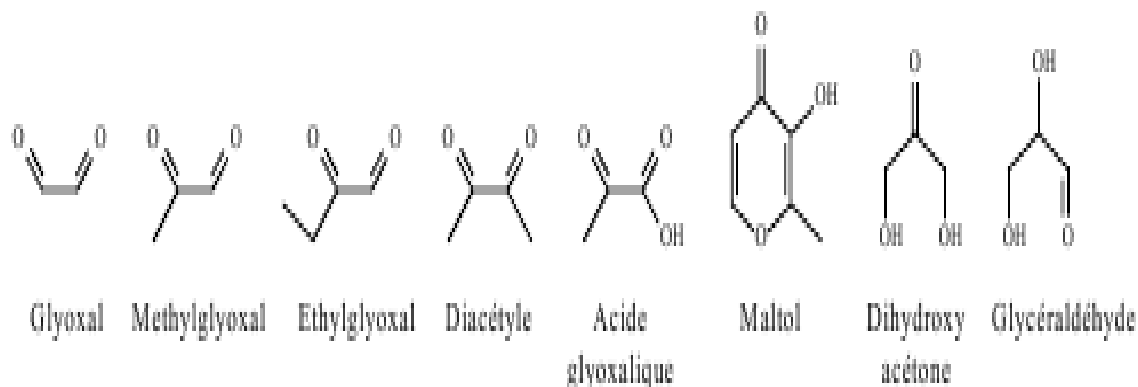


Figure 5: Principaux composés dicarbonylés produits par la réaction de MAILLARD (Wong et Shibamoto, 1996).

b- Les furanes et furfurals

Les furanes produits par la réaction de MAILLARD entre les fonctions amine et carbonyle sont relativement peu mutagènes. **Shinohara et al (1986)** montrent que le furfural, le 5-méthylfurfural et l'hydroxyméthylfurfural sont mutagènes pour TA100 avec S-9 et qu'en présence de Cu^{2+} , ils peuvent rompre l'ADN. L'hydroxyméthylfurfural est le plus actif de cette classe. D'autre part, **Kong et al (1989)** ont constaté une activité anti-mutagène des furanes, 2-méthylfurane, 2-acétylfurane, 2-hydroxyméthylfurane, furfurals, 5-méthylfurfural et l'hydroxyméthyl-furfural (**figure 6**) qui inhibent les actions mutagènes de certaines amines hétérocycliques, illustrant parfaitement le rôle paradoxal de certains PRM vis-à-vis de leur mutagénicité.

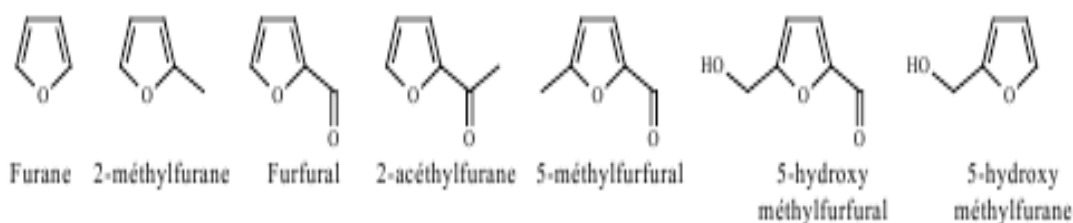


Figure 6: Principaux furanes et furfurals produits par la réaction de MAILLARD
(Wong et Shibamoto, 1996).

c- Les amines hétérocycliques

Nagao et al (1977), découvrent la présence de composés mutagènes à la surface de viandes et poissons cuits. L'isolement et l'identification de ces composés a montré une nouvelle famille d'amines hétérocycliques (HCA). Des données épidémiologiques montrent que les consommateurs de viande ont un risque plus élevé de cancer du sein ou du colon. Les HCA induisent des cancers chez le rat dans ces organes mais aussi dans la prostate et le pancréas. De plus il apparaît certain qu'ils affectent le système vasculaire (Weisburger, 2002).

Sugimura (2002) estime que les HCA peuvent également avoir d'autres effets toxiques comme l'atrophie des glandes salivaires.

Dans certains cas, pour être cancérigènes, les HCA doivent être métabolisés par des enzymes comme le cytochrome P450 1A2, la N acétyltransférase1 et/ou la N acétyltransférase 2 (Ishibe et al, 2002). Moonen et al., (2002) ont montré un autre mécanisme de toxicité : la formation de radicaux libres durant la conversion de l'acide arachidonique en prostaglandine via la prostaglandine H synthase (PHS).

Il existe deux groupes de HCA. D'une part les aminoimidazoazaarènes (AIA) comprenant les imidazoquinolines, les imidazoquinoxalines et les imidazopyridines, et d'autre part les carbolines ou pyrido-imidazoles et pyrido-indoles (Robbana-Barnat et al, 1996). Leur quantité dépend du type de viande et du mode de cuisson.

Les imidazoquinolines et imidazoquinoxalines sont relativement bien connues et très étudiées (Robbana-Barnat et al, 1996). Elles sont formées à partir de la créatinine par condensation avec un produit issu de la dégradation de STRECKER (figure 7 et tableau 8).

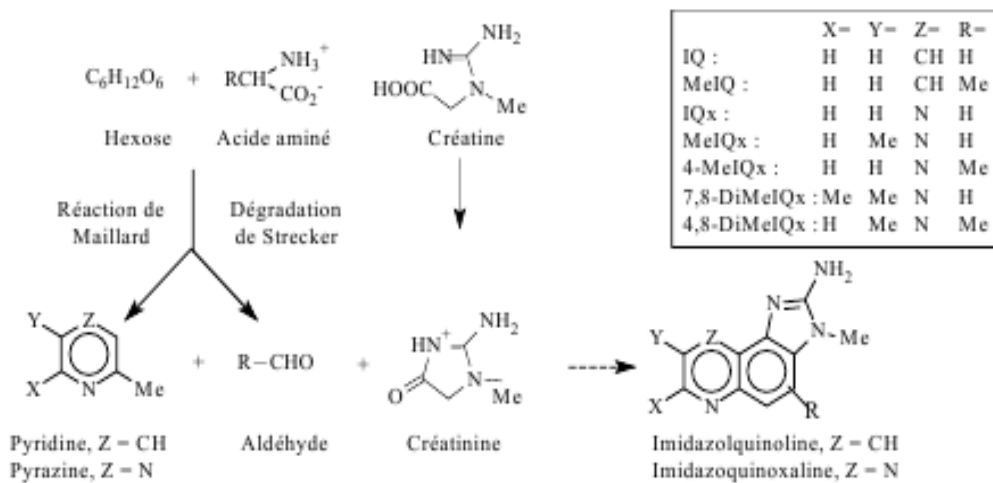


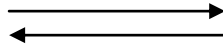
Figure 7 : Voies de synthèses supposées et structures des amines hétérocycliques de type IQ et IQx (Friedman, 1996).

Tableau 8 : Amines hétérocycliques présentes dans les aliments : les imidazoquinolines et imidazoquinoxalines (Felton et al, 1986 ; Felton et Knize, 1990).

| Abréviation | Mutagène | Source |
|-------------|--|---|
| IQ | 2-amino-3-méthylimidazo-[4,5-f] quinoline | Extrait de bœuf, poisson grillé, œufs frits |
| MeIQ | 2-amino-3,4diméthylimidazo-[4,5-f] quinoline | Poisson grillé, porc, café grillé |
| IQx | 2-amino-3-méthylimidazo-[4,5-f] quinoxaline | Créatine, porc, bœuf |
| MeIQx | 2-amino-3,8-diméthylimidazo-[4,5-f] quinoxaline | Thréonine, créatinine et glucose, poisson, porc, bœuf |
| 4-MeIQx | 2-amino-3,4-diméthylimidazo-[4,5-f] quinoxalin2-amino-3,4-diméthylimidazo-[4,5-f]quinoxaline | Non identifiée |
| 4,8-DiMeIQx | 2-amino-3, 4,8-diméthylimidazo [4,5f] quinoxaline | Thréonine, créatine et glucose, poisson, porc |
| 7,8-DiMeIQx | 2-amino-3, 7,8-diméthylimidazo-[4,5f] quinoxaline | Non identifiée |

3-4- Réactions d'oxydation

Les réactions d'oxydation sont réversibles.



La viande est consommée après cuisson. Cette opération technologique est très pro-oxydante car les lipides sont chauffés en présence d'oxygène, les membranes cellulaires sont détruites et le fer est libéré de l'hème de la myoglobine, ce qui accroît son pouvoir oxydant (**Gandemer, 1997**)

Plusieurs travaux ont indiqué que les phospholipides sont les principaux substrats de l'oxydation lors de la cuisson (**Fogerty et al, 1990**) et le phosphatidyl-éthanolamine est le phospholipide le plus oxydé au cours de la cuisson. L'importance des dégradations des phospholipides de la viande est fonction de l'espèce animale, de la durée et du mode de cuisson (**Ngah et al, 1993**).

La cuisson provoque une oxydation partielle des acides gras polyinsaturés des phospholipides. Cette oxydation est plus importante dans les muscles oxydatifs que dans les muscles glycolytiques. La proportion d'acides gras polyinsaturés détruits lors de la cuisson augmente avec le nombre de doubles liaisons de l'acide gras. Ainsi, les pertes en acide linoléique sont faibles (0-20%) tandis qu'elles atteignent 30-50% pour les acides gras polyinsaturés à 22 carbones comportant 5 à 6 doubles liaisons (**Gandemer, 1997**).

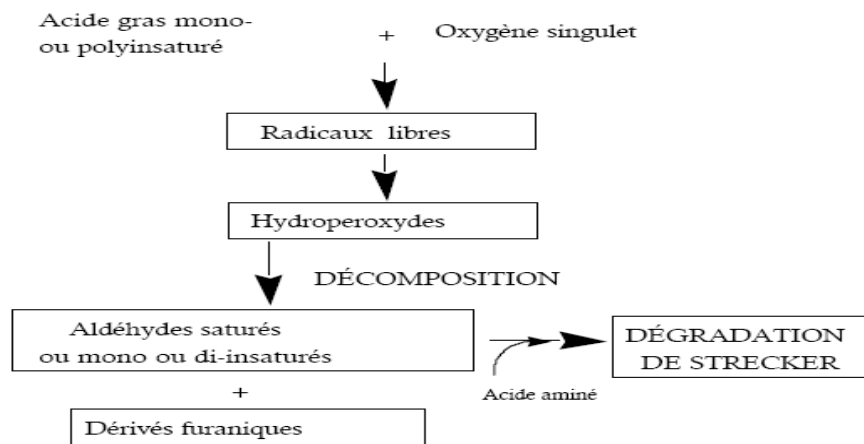


Figure 8 : Schéma de l'oxydation des acides gras (**Chyau et Mau, 1999**)

4- Incidences de la cuisson sur les principaux constituants de la viande

4-1- Sur la teneur en eau

Lors de la cuisson, les muscles perdent de l'eau. La teneur en eau des muscles cuits est donc de 10 à 20% inférieure à celle des muscles crus. La perte en eau explique l'enrichissement des muscles en matières sèches lors de la cuisson. Ainsi, les muscles cuits contiennent 1,4 fois plus de protéines que les muscles crus. La perte en eau explique la majeure partie du rendement de cuisson (**Rabot, 1998**).

4-2- Sur les protéines

Selon **Luis Cuq (1992)**, la plupart des préparations culinaires n'abaissent que peu ou pas la valeur nutritionnelle des protéines. Certains ont même des effets favorables. Cependant, des modifications défavorables apparaissent parfois. Elles affectent, dans la plupart des cas, la structure primaire des protéines et la diminution des teneurs en acides aminés indispensables.

Les traitements thermiques entraînent une dénaturation protéique rapide qui se traduit par des changements de conformation (**Yongsawatdigul et al, 2003**) et une augmentation de l'hydrophobie de surface (**Promeyrat et al, 2010**).

Il est à noter que la cuisson de la viande favorise la formation de carbonyles et de ponts disulfures qui génèrent des interactions protéines-protéines (**Gatellier et al, 2009**) et modifiant le profil électro-phorétique notamment l'intensité de la bande de myosine (**Santé-Lhoutellier et al, 2007**).

Cependant, d'autres auteurs ont démontré un phénomène de fragmentation protéique au cours du chauffage de la viande bovine (**Tajima et al, 2001**) et une quasi absence de modifications de profil électro-phorétique dans la viande de volaille qui s'expliquerait par un changement des propriétés de solubilité des protéines (**Wattanachant et al, 2005**).

Les protéines sont, avec les lipides, les cibles privilégiées de l'attaque radicalaire. Certains acides aminés sont particulièrement sensibles à l'oxydation (**Stadtman, 1990**). Les acides aminés à fonction amine s'oxydent en donnant des résidus carbonyles. La cystéine s'oxyde avec formation de ponts disulfures intra ou inter chaîne (**Gatellier et al, 2008**).

Lors de la cuisson, les acides aminés aromatiques subissent des réactions d'hydroxylation. Ces modifications oxydatives des acides aminés, dont certains sont essentiels, conduisent à une diminution de la valeur nutritionnelle des protéines (**Gatellier et al, 2008**).

Il importe de signaler que le chauffage de la viande stimule la peroxydation lipidique donnant naissance de ce fait à des aldéhydes réagissant avec les groupements amines des protéines pour donner des bases de « Schiff ». Ces oxydations vont entraîner des dénaturations importantes des protéines qui peuvent modifier leurs propriétés fonctionnelles et leur digestibilité (Santé-Lhoutellier et al, 2008).

Selon Gatellier et al (2008) la cuisson de la viande par jet de vapeur à 150°C entraîne la formation de résidus carbonylés à partir de 60 secondes de traitement. Alors qu'après 5 minutes de chauffage le taux de carbonyle est multiplié par 4. Les résidus carbonyles sont des facteurs de polymérisation et d'agrégation des protéines car ils peuvent réagir sur les groupements amines libres pour former des liaisons amides intra ou inter chaînes.

D'autre part, le malondialdéhyde, produit ultime de la peroxydation lipidique, est un dialdéhyde. Il peut, en se fixant à deux chaînes peptidiques différentes, entraîner des pontages qui peuvent participer, comme les liaisons amides et les ponts disulfures, à l'agrégation des protéines Gatellier et al (2008).

Une étude menée par Santé-Lhoutellier et al (2008) a révélée que les phénomènes d'agrégation des protéines myofibrillaires pouvaient entraîner une diminution de leur reconnaissance par les protéases de la digestion.

Enfin, la cuisson entraîne une augmentation de la teneur en protéine de la viande. Cela s'explique par la perte d'eau au cours du traitement thermique (Tableau 9).

Tableau 9 : Teneurs en protéines de la viande de porc avant et après cuisson

| Moy. /100g | Traitement thermique | | | | Valeur de P |
|---------------|----------------------|------|------|------|-------------|
| | Non Cuit | 70°C | 75°C | 80°C | |
| Protéines (g) | 22,5 | 33,5 | 34,0 | 33,7 | < 0,0001 |

Source : Vautier et al, 2010.

4-3-Sur les lipides

Les teneurs en lipides et la composition de leurs acides gras (AG) issus de différents types de muscles varient chez le ruminant en fonction des facteurs d'élevage liés à l'animal (race, sexe âge) et son alimentation (ration de base, suppléments lipidiques) (Bauchart et Thomas, 2010) (tableau 10).

Ces mêmes teneurs lipidiques peuvent varier selon les pratiques culinaires notamment avec la cuisson (**Armstrong et Bergan, 1992**), mais l'évolution des caractéristiques lipidiques des viandes au cours des différents processus de cuissons appliqués à des types précis de morceaux reste encore assez mal connue, notamment en restauration collective ou familiale.

Selon **El affifi et al (2011)**, la cuisson augmente la concentration des lipides totaux dans la viande d'agneau. Cette conséquence est liée à la perte d'eau durant la cuisson.

Il importe de noter que la cuisson au four ou au grill d'un faux-filet de bœuf abaisse la quantité de lipides de 15 g/100 g à 6,6 g/100 g. Dans le cas de la viande de lapin, la cuisson au four permet de limiter la perte de lipides à 3 g /100 g (la teneur passe de 12,5 à 9,2 g de lipides dans 100 g de viande) (**Gigaud et Combes., 2007**).

D'après **Bauchart et al (2011)**, la cuisson de type frit ou rôti du « rumstek » augmenterait d'une manière significative ($P < 0,05$) les teneurs en lipides et en acides gras totaux. Cependant, les effets de cuisson de l'entrecôte grillée ou poêlée sur les variations des teneurs en lipides totaux et en AG de cette viande sont généralement non significatifs étant proches de zéro, ce qui indique l'absence d'effets de ces traitements sur les teneurs en lipides et AG totaux.

Au cours de la cuisson, les acides gras polyinsaturés sont les plus vulnérables aux phénomènes de peroxydation en raison de la présence des doubles liaisons. Plus le nombre de doubles liaisons est important plus l'oxydation s'intensifie (**Gandemer, 1999**).

D'après **Badiani et al (2002)**, le mode de préparation de la viande bovine (bouillie, rôtie, grillée ou cuite au four à micro-ondes) ne modifie pas de façon importante la composition en acides gras totaux. Seule, la cuisson au grill augmenterait de façon significative la proportion d'AGPI (essai réalisé sur le faux-filet) alors que les autres modes de cuisson testés (bouilli, rôti, cuisson au four micro-ondes) la diminuent.

Badiani et al (2002) confirment que les AGPI présentent une bonne stabilité à la chaleur. Ceci s'expliquerait par une relative stabilité de ces AG dans la matrice viande face à la cuisson, lesquels sont associés principalement aux phospholipides solidement intégrés aux membranes.

Il est à signaler que l'intérêt porté au CLA (acides linoléiques conjugués) n'a cessé d'augmenter en raison de ses propriétés préventives de pathologies graves pour l'homme (anticancéreuses, anti-athérogénique, anti-diabétogénique et réducteur de la masse grasse)

(Pariza, 2004). La sensibilité des CLA (acides linoléiques conjugués) à l'oxydation liée à la cuisson est controversée. Des études suggéreraient que les CLA sont non altérés au cours des processus de cuisson et de stockage (Mulvihill et al, 2001), alors que Badiani (2002) nuancerait ces différentes propositions.

D'autre part, la cuisson modifie également la quantité de cholestérol contenue dans les viandes. Gigaud et Combes (2007) ont montré que la teneur en cholestérol de différentes viandes est homogénéisée après la cuisson (entre 76 et 90 mg/100 g) à l'exception de la viande de poulet cuite avec la peau dont la teneur en cholestérol peut aller de 90 à 122 mg/100 g (Tableau 10).

Selon Vautier et al (2010), la cuisson de la viande de porc entraînera une augmentation significative du taux de cholestérol. Ce même phénomène a été observé dans la viande bovine (Turner et al, 2007).

Tableau 10 : Valeurs alimentaires et énergétiques des muscles avant et après cuisson rôtie chez le poulet (Posati, 1979)

| | Viande blanche | | |
|---------------------------------|----------------|-------|-----|
| | Crue | Cuite | R |
| Valeur énergétique (cal) | 114 | 173 | 1,5 |
| Eau (g) | 74,9 | 64,8 | 0,9 |
| Protéines (g) | 23,2 | 30,9 | 1,3 |
| Cendres (g) | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Lipides (g) | 1,7 | 4,5 | 2,6 |
| Cholestérol (mg) | 58 | 85 | 1,5 |

R : cuit/cru

4-4- Sur les minéraux

Des pertes en sels minéraux sont susceptibles de se produire dans les aliments au cours des cuissons dans l'eau. Les traitements thermiques en milieu aqueux conduisent à des pertes souvent importantes en éléments minéraux. D'autre part, un gain en certains minéraux est observé dans certaines situations : la cuisson dans une eau dure entraîne un enrichissement en calcium. Une élévation de la teneur en sodium d'un aliment est toujours observée en cas de salage, saumurage (Cuq L., 1992).

La cuisson de la viande est responsable des pertes en vitamines et en minéraux. Cependant, la biodisponibilité de certains minéraux, tels que le fer, peut être augmenté par le traitement thermique (**Lee et Clydesdale, 1981**).

Le zinc, le cuivre et le fer sont les minéraux les plus stables dans les viandes cuites. Cependant, le degré de rétrécissement de la viande pendant la cuisson affecte de manière significative la rétention des minéraux (**Adams et Erdman, 1988**).

Une étude réalisée par **Kadim et al (2011)** sur la viande de chameau a révélé que les composants les plus touchés par la cuisson étaient les macros et les micro-minéraux. La Cuisson a entraîné une diminution significative du fer hémunique et du fer non hémunique de 4,3, 8,7 et 4,0%, respectivement (**Tableau 11**).

Tableau 11 : Evolution au cours de cuisson braisée et poêlée des teneurs en fer total, hémunique et non hémunique (en mg/100g de viande crue ou cuite) de la macreuse.

| | Macreuse crue | Macreuse braisée | Macreuse poêlée |
|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Fer total | 2,69 | 4,71 | 3,14 |
| Fer hémunique | 1,96 | 1,79 | 2,22 |
| Fer non hémunique | 0,73 | 2,92 | 0,92 |

Source : **ADIV, 2007**

4-5- Sur les vitamines

Les viandes contiennent un certain nombre de micronutriments importants pour la santé humaine. A l'exception du foie, qui contient beaucoup de vitamine A, les viandes et les produits carnés sont surtout riches en vitamines du groupe B. Les vitamines apportées par les viandes sont principalement les B1, B2, B3, B6 et B12 (**Kondjoyan, 2008**).

Comme les vitamines B sont hydrosolubles, elles peuvent aussi être entraînées dans le jus de cuisson. Elles sont aussi thermosensibles, la niacine étant la plus thermorésistante (B3) et la thiamine (B1) la plus thermosensible.

Pour un type de vitamine B donné, les pertes lors de la cuisson dépendent essentiellement du type de traitement : couple temps-températures et de l'humidité ambiante (cuisson sèche ou humide). 20 à 50% de la teneur initiale en vitamines B peuvent être perdus au cours de l'opération de cuisson (**Culioli, 2003**).

Les résultats obtenus par **Vautier et al (2010)** révèlent une forte stabilité des vitamines B2 et B12 de la viande de porc à la cuisson. **Howe et al. (2006)** ont noté des teneurs en vitamine B12 plus élevées après cuisson (+11 à +37%). Les vitamines B3 et B6 sont à l'opposé sensibles à la cuisson.

La vitamine E qui joue un rôle essentiel dans la prévention des processus de peroxydation est connue pour être sensible à la chaleur donc aux conditions de cuisson des viandes (**Bramley et al, 2000**) ou de stérilisation (**Kojima, 1998**).

Selon **Bauchart et al (2004)**, les pertes en vitamine E dans la viande de bœuf sont décelées que lors des cuissons longues (rôtissage pendant 50 min à 240°C, immersion à 80°C pendant 2h15).

5- Impact de la cuisson sur les propriétés sensorielles de la viande

5-1- Sur la tendreté de la viande

La tendreté est un critère essentiel dans l'appréciation des viandes par le consommateur puisqu'elle conditionne le réachat du produit (**Boleman et al, 1997**).

L'effet de la cuisson sur la tendreté de la viande d'agneau est lié à plusieurs facteurs tels que la dénaturation des myofibrilles, la contraction du collagène, sa solubilisation, la perte de poids de l'échantillon. L'effet dépend bien sûr de la nature de la viande crue : l'espèce de l'animal, sa race, son âge, son sexe, le type de muscle et les conditions de maturation (contraction au froid...). Il dépend aussi des conditions de cuisson (**Kondjoyan A, 2008**).

Les mesures mécaniques (Warner-Bratzler) montrent que la résistance de muscles de bœuf et de lapin est directement liée à la température de cuisson et à la perte de poids de l'échantillon. Cette résistance est perçue dans le produit chauffé à 50°C, diminue ensuite entre 50°C et 55-60°C pour ré-augmenter au delà (**Combes et al, 2003**).

Il est à noter que l'augmentation de dureté est interprétée comme étant liée à l'étirement des spirales du collagène du périnysium, qui seraient ensuite dénaturées entre 50°C et 55°C-60°C. L'augmentation de dureté ultérieure serait liée à l'interaction entre les fibres myofibrillaires et celles de collagène (**Kondjoyan A, 2008**).

5-2- Sur la couleur de la viande

Lorsqu'une viande est chauffée, l'évolution de sa couleur est d'abord liée à la dénaturation de la myoglobine, qui passe d'une couleur rouge sombre vers du rose puis vers

une couleur grisâtre et enfin marron clair (**Kondjoyan, 2008**). Ces variations sont classiquement associées à des gammes de température respectivement égales à 60°C, 60-70°C et 70-80°C (**Lawrie, 1985**).

Kondjoyan (2008) rapporte qu'à partir de 85°C on aperçoit la formation des composés de Maillard et des pigments mélanoides qui vont être associés à la couleur du produit grillé.

Le blanchiment à 205°C induit à des changements de couleur de la viande, des colorations brunes et noires apparaissent très rapidement. Ces changements de couleur sont connus pour être associés à des réactions biochimiques notamment la réaction de Maillard. Les changements de couleur et la vitesse des réactions chimiques sont affectés par les pertes en eau lors la cuisson (**Garcia-Segovia 2007**).

5-3- Sur la flaveur de la viande

L'évolution de la flaveur est à la fois liée au développement des réactions de Maillard et à l'oxydation des composés lipidiques notamment les phospholipides (**Gandemer, 1997**).

Les Pentoses, et en particulier le ribose (formé à partir de la dégradation des nucléotides) et les acides aminés soufrés, tels que la cystéine sont des composés importants quand à la formation des composés cycliques détectés dans la fraction volatile de la viande cuite (**Kondjoyan, 2008**).

Les aldéhydes et les carbonyles formés lors de l'oxydation des lipides réagissant avec des composés issus de la réaction de Maillard pour donner au produit son odeur cuite typique. La dégradation thermique des lipides est associée à une odeur de produit cuit spécifique de chaque espèce animale (bovins, ovins, caprins, porcins) (**Kondjoyan, 2008**).

D'autre part, l'oxydation des lipides lors de la cuisson peut également aboutir à la formation de composés d'odeur indésirable lors de la conservation ultérieure du produit (**Byrne et al, 2002**).

Chapitre 4

Oxydation des lipides de la viande et stress oxydant

1- Lipopéroxydation et stress oxydant

Le stress oxydant est un type d'agression des constituants cellulaires résultants d'un déséquilibre entre les systèmes de défense antioxydants et la production d'espèce réactives oxygénées (ERO) et azotées. Ce déséquilibre peut avoir divers origines, telles que la surproduction endogène d'agents pro-oxydants d'origine inflammatoire, un déficit nutritionnel en antioxydants ou même une exposition environnementale à des facteurs pro-oxydants.

Ce déséquilibre entre les systèmes de défense et les systèmes de production des radicaux libres entraîne l'apparition de lésion structurales au niveau des cellules de l'organisme du fait des conséquences qu'il provoque au niveau moléculaire, telles que les altérations des protéines, cassures de l'ADN, modification des sucres, atteinte de l'intégrité de la membrane cellulaire par induction de peroxydation lipidique (**Favier et al, 1997**).

En effet, la lipoperoxydation est une détérioration oxydative des acides gras polyinsaturés incorporés dans les lipides des membranes cellulaires ou des lipoprotéines, mais également dans les huiles végétales et les aliments riche en AGPI n-3 (**Cillard et al, 2006**). Chez l'homme comme chez l'animal, la lipoperoxydation est considérée comme physiologique quand son intensité est contrôlée par l'action d'enzymes pro-oxydants telles que la prostaglandine synthase, la thromboxane synthase ou la 5 lipoxygénase. Cette peroxydation induite par des enzymes, est indispensable à l'organisme humain en favorisant la formation de divers eicosanoïdes (prostaglandine, leucotriènes, thromboxanes) biologiquement actifs. Elle se différencie de la lipopéroxydation non enzymatique ou « spontanée » qui s'avère le plus souvent néfaste au bon fonctionnement de l'organisme en contribuant au vieillissement cellulaire et à la production de métabolites toxiques (**Pré, 1991**)

2- Facteurs influençant la lipopéroxydation

2-1- Espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Les radicaux libres sont définis comme des atomes et des molécules contenant un électron non apparié. Cette particularité explique leur très grande réactivité et les rend aptes à réagir avec ces molécules (lipides, protéines, ADN) lors de réactions en chaîne (**Favier, 1997**).

La réactivité des radicaux libres est très variable selon la nature du radical. Ainsi, parmi les radicaux formés chez les êtres vivants, l'anion radical superoxyde (O_2^-) et le monoxyde d'azote (NO) ne sont pas particulièrement réactifs en eux mêmes mais constituent des

précurseurs pouvant être activés en d'autres espèces plus réactives. La faible réactivité de ces deux radicaux permet d'ailleurs leur utilisation par l'organisme comme médiateurs régulant les fonctions biologiques telle la vasodilatation capillaire.

Par contre, des radicaux comme les radicaux peroxydes (LOO ou ROO) et surtout le radical hydroxyle (HO) sont extrêmement réactifs (Winterbourn et al, 2008), et ce, avec toutes les molécules présentes dans les tissus vivants. D'autres espèces dérivées dites « espèces réactives de l'oxygène » comme le peroxyde d'hydrogène (HO) ou le nitroperoxyde (ONOOH) sont, elles aussi, réactives, bien qu'elles ne portent pas d'électron non appariés. L'ensemble des radicaux libres et des espèces dérivées (incluant leur précurseurs) est souvent appelé espèces réactives de l'oxygène (ERO) et de l'azote (Favier, 1997).

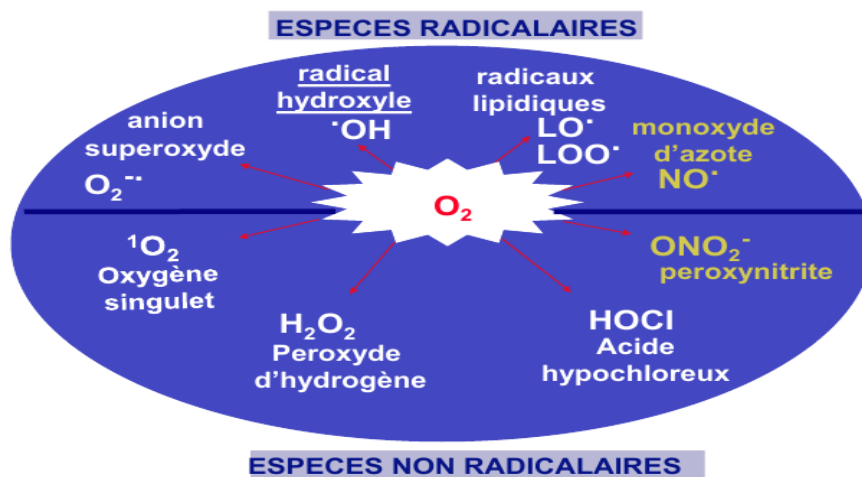


Figure 9 : Différentes espèces réactives de l'oxygène (Cillard, 2011)

2-2- Acides gras polyinsaturés

Il existe deux familles des AGPI n-6 connue généralement sous le nom d'AGPI $\omega 6$ et celle la famille des AGPI n-3 connue généralement sous le nom d'AGPI $\omega 3$. Le caractère nucléophile des doubles liaisons des AGPI leur confère une grande instabilité en présence d'espèces radicalaires électrophiles (Frankel et al, 2005). Cette particularité structurale des AGPI permet aux espèces radicalaires d'arracher facilement l'atome d'hydrogène du groupement méthyle bis-allylique. Ainsi, le degré d'oxydabilité des différents types d'AGPI est proportionnelle au nombre de groupements méthylène bis-allylique et donc au nombre de doubles liaisons (Cosgrove et al, 1987).

3- Lipopéroxydation et formation de malondialdéhyde

Parmi l'ensemble des aldéhydes formés par la lipopéroxydation, le plus connu est le malondialdéhyde (MDA). Il est produit par la coupure des AGPI possédant au moins trois doubles liaisons soit l'acide arachidonique (C20 : 4 n-6), l'acide éicosapentaénoïque (C20 :5 n-3, EPA) et l'acide docosapentaénoïque (C20 :4 n-6, DPA) et l'acide linoléique (C18 :3 n-3, ALA). Plus exactement ce sont les hydroperoxydes très sujets aux réactions de cyclisation, qui conduisent à la formation d'hydrobicycloendoperoxydes qui eux se décomposeront par scission pour donner du malondialdéhyde (MDA).

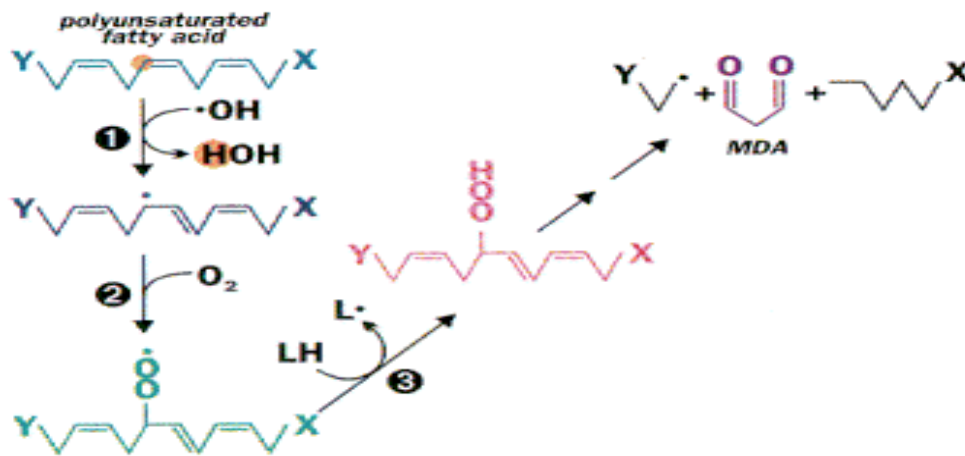


Figure 10 : Oxydation des acides gras polyinsaturés et formation de MDA (Cillard, 2011)

D'autre part le MDA peut aussi être formé à partir des AGPI n-3 et des AGPI n-6, mais également à partir de composés non lipidiques tels que l'acide ascorbique, les acides aminés, le désoxyribose ou le saccharose lorsqu'ils sont exposés à l'action des radicaux hydroxyles notamment en présence de métaux. Enfin, le MDA est également un excellent substrat des peroxydases. Ainsi, les lipoperoxydes plaquettaires sont à l'origine d'une partie du MDA sanguin (Lefèvre et al, 1998). Le dosage du MDA dans les systèmes biologiques est couramment utilisé, car c'est un marqueur fiable de peroxydation relativement facile à mesurer par HPLC et à détecter par fluorimétrie, ce qui représente un avantage important par rapport aux autres marqueurs.

4- Effet de lipopéroxydation sur la qualité des viandes

Le profil lipidique des viandes et le taux d'accumulation des produits d'oxydation peuvent significativement influencer la qualité des viandes (Faustman et al, 1998). Ce sont

les produits finaux de la lipoperoxydation qui sont considérés comme responsable du développement du goût et de l'odeur de rance dans les viandes. De plus, la production de malondialdéhyde (MDA) et d'autres produits peroxydés tels que le 4-hydroxynonéal (4-HNE) sont toxiques pour les consommateurs (**Esterbauer, 1993**) et doivent être limités dans les viandes sous le seuil acceptable de rancidité évaluée à un $1\mu\text{g MDA/g}$ de viande (**Campo et al, 2006**). De plus, il existe des interactions entre les produits secondaires de la lipoperoxydation et les composants des aliments (**Kubow, 1992**). Ainsi, la forme conjuguée du HNE aux protéines a été détectée dans la viande bovine (par test ELISA) ce qui peut avoir des conséquences importantes sur la stabilité et la fonctionnalité des protéines (**Lynch et al, 2001**).

5- Impact de la consommation des produits peroxydés sur la santé humaine

Les produits finaux de la lipoperoxydation ont des propriétés cytotoxiques et génotoxiques. Des aldéhydes ont d'abord été mesurés en quantités importantes dans des huiles oxydées et des huiles de friture (**Franckel, 2005**) et, en comparaison, semblaient être présents en quantités très limitées dans les autres aliments ne présentant ainsi pas de risque significatif pour la santé humaine (**Surh et Kwon, 2005**).

Cependant, la quantité de 4-HNE contenu dans des viandes a été estimée à 2 à $23\mu\text{g/g}$ dans le bœuf et $0,2$ à $24\mu\text{g/g}$ dans le porc (Sakai et al, 1995), et de $0,06$ à $0,71\mu\text{g/g}$ dans des produits dérivés de porc (**Zanardi et al, 2002**). Du 4-HNE conjugué aux protéines a été mesuré dans du bœuf conditionné (**Lynch et al, 2001**). La cuisson étant une étape importante dans l'activation de la lipoperoxydation, des F2 isoP ont été retrouvées dans des hamburgers de fast-foods contenant des légumes, du poulet, du poisson et des produits dérivés de viandes. Les concentrations allant de $0,09$ à $0,73\text{ pmol/g}$, le plus haut niveau étant détecté dans les produits dérivés de viandes (**Gopaul et al, 2000**). Enfin, **Munasinghe et al (2003b)** relèvent $27,2\text{ nmol/g}$ de 4-HNE dans du saumon fumé et proposent que le 4-hydroxyhexenal (4-HHE) serait plus toxique que le 4-HNE.

Dans une étude sur l'homme, les volontaires adaptés à des régimes limités en viande rouge (60g/jour) ont montré une augmentation d'un facteur 2 de l'excrétion urinaire de DHN-MA (métabolite de l'adduit 4-HNE à l'acide mercapturique), lors d'une supplémentation avec du fer héminique via l'ingestion de boudin noir (70g/jour). Le DHN-MA semble être un marqueur pertinent du cancer du colon, car les lésions du colon et l'excrétion urinaire de DHN-MA mesurés lors d'une étude expérimentale animale ont été associés avec la prise de fer héminique alimentaire (**Pierre et al, 2006**). **Poli et al (2008)** indique que le 4-HNE sous

forme conjuguée aux protéines est un marqueur fiable de la lipoperoxydation impliquée dans les maladies du foie. Le 4-HNE fixé aux résidus histidine des adduits de Michael est détecté dans les lésions aortiques humaines suggérant son implication dans le développement de l'athérosclérose (**Uchida et al, 2003**). Le 4-HNE peut causer la mort des cellules neuronales étant impliqué dans les maladies neurodégénératives tels que les maladies d'Alzheimer, de Parkinson et de Charcot.

6- Régulation des processus antioxydants dans les viandes

L'état de santé de l'animal est un facteur déterminant de la qualité du muscle. Chez le porc, l'apport d'AGPI augmente l'activité de la catalase, une des enzymes antioxydante majeure dans le muscle, ce qui indique une demande croissante en défense antioxydante causée par l'introduction des AGPI hautement peroxydable (**Young et al, 2005b**). Aussi, mis à part la nécessité de garantir le bien-être animal pour limiter la peroxydation des lipides et des protéines et optimiser les qualités de leurs produits, il est possible de compléter l'alimentation des animaux en antioxydants naturels ou de synthèse pour limiter les conséquences délétères de la lipoperoxydation dans les viandes.

Les ruminants en finition sont nourris au pâturage et finis à l'auge avec des aliments concentrés riche en énergie et en protéines dans le but de les engraisser rapidement afin de répondre aux demandes du marché de la viande. Les ruminants nourris à l'herbe présentent des muscles mieux protégés vis-à-vis de la lipoperoxydation probablement grâce à la teneur élevée de l'herbe en vitamine E. C'est l'une des raisons pour la quelle la vitamine E s'est imposée comme antioxydant principale dans les rations à base d'aliments concentrés destinés aux animaux en phase de finition. Cependant, comparé à l'aliment concentré supplémenté en vitamine E (500 UI/animal/jour), l'étude du statut antioxydant des viandes (à l'abattage) issues de bovin ou ovin montre que l'herbe contribue plus efficacement aux dépôts d'antioxydants naturels et en quantité suffisante pour prévenir la peroxydation des lipides (**Descalzo et al, 2005**). Il paraît bénéfique d'enrichir les rations des animaux par de la vitamine E, mais aussi à l'aide d'autres sources d'antioxydants naturels pour protéger les viandes.

Les antioxydants liposolubles sont très efficaces, puisqu'une relation linéaire a été établie in vitro entre la concentration croissante en antioxydants liposolubles (α -tocopherol, β -carotène et lycopène) et la teneur décroissante en MDA dans une préparation protéo-lipidique (**Flourie et al, 2006**). L'association de différentes sources d'antioxydants (lipophile et/ou hydrophile) a été testée pour, d'une part, limiter les doses supra nutritionnelles d'un seul type d'antioxydant, pouvant avoir des effets nocifs, et, d'autre part, d'améliorer la stabilité

oxydative des tissus. Ainsi, chez le poulet l'apport conjoint de vitamine E lipophile (200ppm) et de vitamine C hydrophile (1000ppm) ou d'origan (3%) diminue l'intensité des détériorations oxydatives dues à un stress (**Young et al, 2003a**). Chez la dinde, l'association de vitamine E (100mg/kg) et d'huile d'origan (100mg d'huile/kg) s'avère plus efficace dans la protection de la viande vis-à-vis de la lipoperoxydation que l'un ou l'autre de ces antioxydants apportés seul (**Papageorgiou et al, 2003**).

Divers antioxydants de type tocophérols, caroténoïdes et polyphénols ont été retrouvés dans les viandes à l'abattage d'animaux nourris à l'herbe (**Descalzo et al, 2008**). L'action d'antioxydants différents de la vitamine E a alors été testée. Une étude in vitro met en évidence l'effet antioxydant du curcumine entraînant l'inhibition des modifications des protéines par limitation de la formation de liaisons covalentes entre le 4-HNE et des peptides (**Kurien et Scofield, 2007**). Les antioxydants provenant d'extraits végétaux pourraient aussi moduler les systèmes enzymatiques endogènes en améliorant l'activité d'enzymes antioxydant tissulaires (catalase, superoxyde dismutase,...). Ainsi, chez le rat, l'apport alimentaire d'extraits végétaux riches en polyphénols augmenterait l'activité de la catalase dans le foie (**Gladine et al, 2007b**).

Les antioxydants administrés par voie alimentaire semblent être à l'origine d'effets protecteurs efficaces et complexes dans les tissus vis-à-vis de la peroxydation des lipides.

Partie expérimentale

1- Objectif

La viande d'agneau est l'une des viandes les plus sensibles aux phénomènes d'oxydation notamment ceux des lipides et en particulier les acides gras polyinsaturés. Notre travail s'est focalisé sur la viande d'agneau issu de pâturage de l'Est algérien. Cette étude entrant dans le cadre d'un projet PNR est la suite d'un travail précédent réalisé sur la région Ouest dont l'objectif était de faire ressortir les qualités nutritionnelles de la viande d'agneau algérien d'une manière générale. De là, plusieurs points sont visés à travers ce travail dont :

- Caractériser la viande d'agneau issu de pâturages de la région Est de l'Algérie sur le plan diététique et nutritionnel.
- Etudier l'effet de la cuisson sur les principaux composés bioactifs de la viande.

Il importe de signaler que le prélèvement des échantillons de viande s'est concentré sur le gigot (*Biceps femoris*) et sur les côtes (*Longissimus dorsi*) en raison de leur richesse en nutriments essentiels et de leur grande préférence par le public.

2- Matériels et méthodes

2-1- Matériels

2-1-1- Sélection des animaux

Dix agneaux de race locale (**Rembi**) ont fait l'objet de cet essai dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- De sexe mâle, âgés de 6 à 8 mois,
- De conformation et de taille homogène,
- D'un poids vif moyen de 32,25 kg,
- Indemnes de toute affection interne ou externe

Les agneaux ont été suivis dans leur milieu naturel d'origine des régions steppiques de Oum el Bouaghi et de Souk Ahras connues pour leur climat aride sur leur frange sud et semi-aride sur leur partie nord (**figure 11**).



Figure 11 : Zone d'étude des agneaux de race Rembi

2-1-2- régime alimentaire

Les agneaux ont reçu une alimentation à base de fourrage avec un pâturage à plein temps durant la période d'automne entre le mois de septembre et novembre 2011, soit un pâturage

de 100 jours. Les fourrages consommés sont composés essentiellement de vesce-avoine, avoine fourragère, orge en vert et pois-avoine.

Cependant, le pâturage est constitué de plantes herbacées de petites et moyennes tailles, pérennes et dotées d'une résistance au milieu aride (xérophiles). Les plantes de ces pâturages sont à base d'*Ampelodesma mauritanica* (DISS), *Artemisia herba alba* L (*l'armoise blanche*), *Atriplex halimus* et la plus dominante est *Stipa tenacissima* L. (*alfa*).

2-1-3- Lieu des analyses et de l'expérimentation

L'ensemble des analyses sont effectuées au niveau du laboratoire de Technologie Alimentaire et de Nutrition de l'université de Mostaganem.

2-2 - Méthodes

2-2-1- Abattage

Les agneaux qui avaient atteint leur poids vif d'abattage cible après une période de 100 jours de pâturage étaient mis à jeûn pour une période d'environ 24 h. Les animaux sont abattus dans des lieux conformes aux normes d'hygiène. Après abattage, les carcasses sont ressuées 24h à 4°C ensuite pesées avant de procéder à leur découpe.

2-2-2- Découpe des carcasses

Les carcasses ont été découpées en deux parties dont l'une d'elles est utilisée pour le prélèvement des tissus à l'état cru et l'autre est destinée au prélèvement des tissus subissant la cuisson. Enfin, d'autres échantillons sont prélevés pour d'éventuelles analyses.

2-2-3- Cuisson de la viande

La cuisson est le stade ultime de préparation de la viande avant sa consommation, le mode de cuisson, sa durée et son intensité sont adaptés à l'origine et à la qualité de la viande, selon l'espèce animale et la localisation anatomique du morceau, la viande sera grillée, rôtie, braisée ou bouillée.

Le mode de cuisson retenu dans notre essai est une cuisson de type rôti au four. La viande sans ingrédients est rôtie pendant 50 minutes à une température de l'ordre de 180°C. Le but de ce type de cuisson est de faire coaguler rapidement les protéines superficielles, de

caraméliser l'amidon afin de maintenir à l'intérieur de la viande le maximum de substances sapides et nutritives (Sucs).

Lors de la dessiccation des parties cuites, nous avons pu vérifier que la viande était cuite à point.

2-2-4- Prélèvement des échantillons

2-2-4-1- Prélèvement du gigot (*Biceps femoris*)

Des aliquotes de cuisse de gigot (100g-150g) provenant des 10 agneaux sacrifiés ont été prélevés, parés, puis découpés en petits morceaux à l'état cru et à l'état cuit. Les échantillons de cuisse sont broyés à l'aide d'un broyeur à lame rotative à haute vitesse, conditionnés dans un film d'aluminium et conservés à -18°C jusqu'aux analyses (**figure 12**).



Figure 12 : Cuisse de gigot (*Biceps femoris*) après cuisson

2-2-4-2- Prélèvement des côtes (*Longissimus dorsi*)

Les muscles de *Longissimus dorsi* (70g-100g) ont été prélevés entre la 9^{ème} et la 12^{ème} côte et ensuite désossés. La viande récupérée est broyée à l'état cru et à l'état cuit au moyen

d'un broyeur à lame rotative à haute vitesse, étiquetée, conditionnée dans un emballage d'aluminium puis conservée à -18°C jusqu'aux analyses (**Figure 13**).



Figure 13 : Côtes (*Longissimus dorsi*) après cuisson

3- Techniques analytiques

3-1- Analyse de la viande

Il importe de préciser que l'analyse a affecté l'ensemble des échantillons prélevés. Autrement dit, notre analyse s'est portée sur le gigot cru et cuit d'une part et sur les côtes crues et cuites d'autres parts afin d'évaluer l'effet de ce traitement thermique sur les constituants biochimiques de la viande. Une attention particulière a été portée sur les lipides et acides gras en raison de leur importance dans la qualité de la viande.

3-1-1- Dosage de la matière sèche (AFNOR, 1985)

La teneur de la matière sèche est déterminée conventionnellement par le poids d'une prise d'essai (gigot cru/cuit et côte crue/cuite) après dessiccation à 105°C dans une étuve pendant 24h.

3-1-2- Dosage de la matière minérale (AFNOR, 1985) :

La teneur en cendres est conventionnellement le résidu de la substance après destruction de la matière organique par incinération à 550°C dans un four à moufle pendant 6h.

La teneur en matière minérale de l'échantillon est calculée en fonction de la relation suivante :

$$\text{MM en \%} = (M_2 - M_0 / M_1 - M_2) \times 100$$

Avec :

M_0 : masse du creuset vide en (gr)

M_1 : masse totale du creuset contenant la prise d'essai en (gr)

M_2 : masse totale du creuset contenant les minéraux bruts en (gr)

La teneur en matière minérale est exprimée en g/100g d'échantillon.

3-1-3- Dosage du fer total (Fe) :

Le fer est l'un des sels minéraux essentiels au bon fonctionnement de l'organisme. Il a un rôle fondamental dans la constitution de l'hémoglobine contenue dans les globules rouges du sang et de la myoglobine contenue dans les muscles et dans celle de nombreux enzymes indispensables au fonctionnement de l'organisme.

Le dosage du fer total a touché les échantillons de gigot crus/cuits ainsi que les échantillons de côtes crues/cuites en faisant appel à la méthode de spectrophotométrie d'absorption atomique en utilisant un spectrophotomètre (**Thermo Scientific ICE 3000**).

Principe de la méthode :

Dans un premier temps, les échantillons de viande (crus/cuis) sont minéralisés dans un four à moufle à 550°C pendant 5h. Cette étape est appelée "voie sèche", elle permet de réduire les échantillons en cendres. Dans un deuxième temps, les cendres sont minéralisées sur plaques entre 100 et 120°C en présence d'acide sulfurique. Cette étape est dite "voie humide", elle permet d'éliminer le carbone résiduel pour obtenir des cendres pures (**CIV, 2009**).

Les teneurs en fer dans les cendres sont analysées par spectrophotométrie d'absorption atomique permettant de quantifier les éléments métalliques en solutions. Chaque élément a un nombre spécifique d'électrons associés à son noyau.

Lors du procédé d'absorption atomique, l'énergie fournie à l'atome provient d'une source lumineuse appelée « lampe à cathode creuse ». L'atome dans son état de base absorbe l'énergie lumineuse à une longueur d'onde spécifique et passe à un état d'excitation. Un

détecteur mesure la quantité de lumière absorbée et un signal électronique est produit en fonction de l'intensité lumineuse. Ce signal est traité et la quantité d'analyte (Fe) dans l'échantillon est déterminée en fonction de l'absorbance mesurée.

3-1-4- Détermination du pH

Le pH des échantillons de viande (crus et cuits) a été déterminé avant et après cuisson selon la norme **AFNOR NF ISO 10-390**. Une masse de 20g de matière sèche est mise dans 100 ml d'eau distillée. La suspension est homogénéisée à l'aide d'un homogénéisateur « ultra thurax » pendant 15 minutes. La mesure du pH se fait directement par lecture sur un pH-mètre.

3-1-5- Dosage des protéines brutes (méthode Kjeldhal, 1883) :

La méthode Kjeldhal est la méthode de référence pour la détermination des protéines dans les aliments.

Principe de la méthode :

La détermination de la teneur en protéines dans les échantillons de gigot et des côtes (cru/cuit) a fait appelle à la méthode Kjeldhal. Elle s'effectue en trois étapes :

Etape 1 : Digestion ou minéralisation de l'échantillon (1g dans notre cas)

Pendant l'étape de la digestion, l'azote protéique est transformé en azote ammoniacal par oxydation de la matière organique dans l'acide sulfurique H_2SO_4 concentré à haute température, en présence d'un catalyseur (Sélénium) :

- L'acide sulfurique concentré a pour but d'oxyder la matière organique et de transformer l'azote protéique en ammoniac NH_3 . Il sert également à piéger l'ammoniac gazeux sous la forme de sulfate d'ammonium NH_3SO_4 , par action de la base avec l'acide.
- L'addition du Sélénium a pour but d'élever le point d'ébullition de la solution pour accélérer la réaction de minéralisation de la matière organique.

Etape 2 : Distillation de l'ammoniac

Avant de distiller l'ammoniac (NH_3) à la vapeur d'eau, on doit libérer l'ammoniac sous la forme d'un sel $(NH_4)_2SO_4$ par l'addition d'une solution concentrée de NaOH en excès.

L'ammoniac est ensuite distillé par la vapeur d'eau et piégé dans une solution d'acide borique. L'ammoniac réagit avec l'acide borique pour former des sels borates d'ammonium.

Etape 3 : Titrage de l'ammoniac :

L'ammoniac sous la forme de borates d'ammonium est titré directement à l'aide d'une solution standardisée d'acide sulfurique (H_2SO_4 : 0,1N) en présence d'un indicateur coloré (indicateur de Tashiro).

On prépare un blanc en mettant tous les réactifs sauf l'échantillon, pour soustraire l'ammoniac contenu dans les réactifs de l'ammoniac contenu dans l'échantillon.

Calcul du % de protéines dans l'échantillon :

Le % de protéines dans l'échantillon est obtenu en multipliant le % d'azote total par un facteur « F » d'épandant du type d'aliment analysé (6,25 dans notre cas car il s'agit de la viande).

$$\%N = 0,0014 \times (V_1 - V_0) \times 100/m$$

$$\%PB = \%N \times 6,25.$$

V_0 : volume en millilitres de solution d'acide sulfurique utilisé pour l'essai à blanc.

V_1 : volume en millilitres de solution d'acide sulfurique utilisé pour la détermination.

M : masse en grammes de la prise d'essai.

3-1-6- Dosage de la matière grasse

3-1-6-1- Dosage des lipides totaux

A partir de chacun des prélèvements (gigot cru/cuit et côte crue/cuite), les lipides totaux ont été extraits par la méthode de **Folch et al (1957)** ensuite analysés par chromatographie en phase gazeuse (CPG).

Principe de cette méthode :

Cette technique repose sur le principe d'une extraction à froid des lipides par un mélange de solvant chloroforme / méthanol (2/1 ; v/v). L'addition d'une solution aqueuse de NaCl à 0,58% permet la séparation des phases.

La phase supérieure constituée de méthanol-eau, contient les composés hydrophiles (glucides et protéines) dont la dissolution est favorisée par la présence de sel, tandis que les lipides sont dissous dans la phase organique inférieure chloroforme-lipide. La pesée du ballon contenant l'extrait lipidique après évaporation du solvant permet de calculer la teneur en lipide exprimée en g par 100g d'échantillon, en faisant appel à la formule suivante :

$$\%MG = \frac{P2-P1}{pe} \times 100$$

P2 : poids du ballon contenant les lipides.

P1 : poids du ballon vide.

Pe : prise d'essai.

Dans la perspective de déterminer le profil des acides gras (AG) par CPG, les lipides sont recueillis dans des piluliers et conservés à -18°C afin d'inhiber l'oxydation des acides gras insaturés (AGI).

3-1-6-2- Composition en acides gras

Les extraits lipidiques sont préalablement saponifiés par la soude NaOH puis méthylés par le méthanol-BF₃ selon la méthode au méthanol-trifluore de bore (**Morisson et Smith, 1964**).

Les esters méthyliques des acides gras sont ensuite séparés, quantifiés et analysés par chromatographie en phase gazeuse (chromatographe Perkin Elmer) sur colonne capillaire de 30 cm de longueur et de 0,25mm de diamètre.

Les conditions opératoires de chromatographie en phase gazeuse sont les suivantes :

- Injecteur et détecteur de température (220°C et 280°C) respectivement.
- La température de four a été programmée pour augmenter de 45°C à 240°C (à raison de 20°C à 35°C/minute).

Les parties aliquotes de 1µl étaient injectées avec de la silicone phénylique de bicyanopropil en tant que phase stationnaire et l'hydrogène a été employé comme gaz vecteur. Les pics des acides gras étaient identifiés par comparaison avec le temps de rétention du méthyle et la quantification des acides gras a été faite par une référence à un étalon interne (C₁₇:0).

3-1-7- Estimation du degré de peroxydation des lipides de la viande d'agneau

Introduction

L'objectif de la méthode «TBA-rs» est de dégager l'effet de la cuisson sur l'oxydation des lipides de la viande. Les échantillons de gigot cuit/cru et les côtes crue/cuite ont fait l'objet de cette analyse afin d'apprécier le degré d'oxydation des lipides et plus précisément des acides gras insaturés.

Principe de cette méthode :

Les produits secondaires de l'oxydation des lipides les plus couramment dosés sont les aldéhydes. L'acide thiobarbiturique (TBA) réagit avec le malondialdéhyde (MDA) pour former un complexe de couleur rose et/ou jaune possédant un taux d'absorption maximal à

une longueur d'onde de 532 nm. Il réagit également avec d'autres aldéhydes résultant de l'oxydation des AGPI (acides gras polyinsaturés) à longue chaîne. La concentration des substances réactives au TBA (sr- TBA), exprimée en équivalent MDA est évaluée par la lecture de l'absorbance au spectrophotomètre visible des sr-TBA extraites des échantillons par l'acide trichloroacétique (TCA) (**Genot, 1996**).

Mode opératoire :

Un échantillon de viande de 2 gr est placé dans un tube de 25 ml contenant 16 ml d'acide trichloroacétique à 5% (p/v) et éventuellement 100 µl de vitamine C. Le mélange est homogénéisé 3 fois pendant 15 secondes à l'aide d'un homogénéisateur (*Ultra-Turrax*) à une vitesse d'environ 20 000 tpm. Le broyat est passé à travers un papier filtre afin d'obtenir un filtrat. Puis de ce filtrat, 2 ml sont additionnés à 2 ml d'acide thiobarbiturique.

4- Analyse statistique

Les résultats des différents paramètres sont traités en fonction des moyennes par analyse de variance suivie d'une comparaison des moyennes selon le test de **Newman et Keuls**.

Résultats

Influence de la cuisson et de la nature du muscle sur la composition nutritionnelle du gigot et de la côte

1- Matière sèche et humidité

Le contenu en matière sèche entre les deux sites anatomiques (*Biceps femoris* et *Longissimus dorsi*) apparait dans des proportions comparables (**Tableau 12**). Toutefois, la cuisson entraîne un gain significatif ($P < 0,05$) de la matière sèche. A cet effet, une augmentation de l'ordre de 18 et 15 % est observée respectivement dans le gigot et dans la côte.

Il est ainsi remarqué que le gigot semble gagner plus de matière sèche que la côte après cuisson. La différence peut être chiffrée à plus de 3g environ.

Ces effets de la cuisson sur la matière sèche retentissent également sur l'humidité, d'où l'on remarque une tendance inverse ; on enregistre à ce propos une baisse significative ($P < 0,05$) de l'ordre de 25% et de 20% respectivement pour le gigot et pour la côte.

Tableau 12. Teneur en matière sèche et en humidité du gigot et de la côte cuits et non cuits (g/100g de viande)

| | Avant cuisson | | Après cuisson | | Effet facteur | | |
|---------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|----------|---------------------|
| | Gigot | Côte | Gigot | Côte | Muscle | Cuisson | Interaction facteur |
| Matière sèche | 27,54±5,7 | 27,75±4,86 | 45,68±5,82 | 42,66±3,63 | NS | P < 0,05 | NS |
| Humidité | 72,46±5,70 | 72,25±4,86 | 54,32±5,82 | 57,34±3,63 | NS | P < 0,05 | NS |

Chaque valeur est la moyenne de 10 échantillons (n=10) suivie de l'écart type.

2- Matière minérale

L'analyse de variance a révélé que la nature du muscle n'a aucun effet significatif sur le taux de cendre. Il en découle une teneur en matière minérale plus élevée dans le gigot que dans la côte avant et après cuisson (1,27% Vs 1,14% et 2,72% Vs 2,07%).

Cependant, la cuisson a présenté un effet significatif ($P < 0,05$) sur la teneur en matière minérale des deux muscles (**tableau 13**). Celle-ci passe de 1,27 à 2,72 g/100g pour le gigot ($P < 0,05$) soit un gain de 53% et de 1,14 à 2,07 g/100g pour la côte avec une différence de 45%.

Tableau 13. Teneur en matière minérale du gigot et de la côte cuit et non cuit (g/100g de viande)

| | Avant cuisson | | Après cuisson | | Effet facteur | | |
|------------------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|----------|---------------------|
| | gigot | côte | gigot | côte | Muscle | cuisson | Interaction facteur |
| Matière minérale | 1,27±0,18 | 1,14±0,10 | 2,72±0,61 | 2,07±0,55 | NS | P < 0,05 | NS |

Chaque valeur est la moyenne de 10 échantillons (n=10) suivie de l'écart type.

2- Fer

L'examen des proportions en fer entre les deux muscles laisse observer que le gigot serait plus riche que la côte (P < 0,05) (3,04 Vs 2,07 mg/100g). Cette tendance se poursuit même après la cuisson (4,15 Vs 2,43 mg/100g) (**Tableau 14**). Ce traitement thermique appliqué est à même d'enrichir la viande en fer. Le gain en cet élément minéral semble plus important dans le gigot que dans la côte (26 Vs 15%).

La cuisson accroît le taux de fer. Ainsi, la teneur en fer progresse de 3,04 mg à 4,15 mg dans le gigot (soit une différence de 26 %). Elle passe de 2,07 mg à 2,43 mg au niveau de la côte soit une différence de 15%.

Tableau 14. Teneur en Fer au niveau du gigot et de la côte cuit et non cuit (mg/ 100g de viande)

| | Avant cuisson | | Après cuisson | | Effet facteur | | |
|-----|---------------|------------|---------------|------------|---------------|----------|---------------------|
| | gigot | côte | gigot | côte | Muscle | cuisson | Interaction facteur |
| Fer | 3,04± 0,04 | 2,07± 0,36 | 4,15± 0,07 | 2,43± 0,54 | P < 0,05 | P < 0,05 | P < 0,05 |

Chaque valeur est la moyenne de 10 échantillons (n=10) suivie de l'écart type.

3- Evolution du pH

L'étude statistique a fait ressortir que la nature du muscle n'a aucun effet significatif sur le pH. La valeur du pH est plus élevée dans le gigot que dans la côte soit avant ou après cuisson (5,91 Vs 5,88 et 6,13 Vs 6,02) (**tableau 15**).

En outre, l'analyse de variance a révélé que la cuisson revêt un effet significatif (P < 0,05) sur l'évolution du pH (**tableau 15**). Il est constaté que le pH était de 5,91 dans le gigot

cru pour progresser à 6,13 après cuisson soit une différence de 3,58%. Ce facteur était de 5,88 dans la côte crue contre 6,02 après cuisson avec une différence de 2,32%.

Tableau 15. pH du gigot et de la côte cuit et non cuit

| | Avant cuisson | | Après cuisson | | Effet facteur | | |
|----|---------------|------------|---------------|-----------|---------------|----------|---------------------|
| | gigot | côte | gigot | côte | Muscle | cuisson | Interaction facteur |
| pH | 5,91± 0,17 | 5,88± 0,08 | 6,13± 0,14 | 6,02±0,09 | NS | P < 0,05 | NS |

Chaque valeur est la moyenne de 10 échantillons (n=10) suivie de l'écart type.

4- Protéines

Les contenus protéiques des différents muscles laissent observer que le gigot surclasse (P < 0,05) la côte d'environ 15% avant cuisson et de 19% après cuisson (tableau 16)

D'autre part, la cuisson a en outre permis aux différents muscles de gagner en protéines. Ce gain est beaucoup plus important (P < 0,05) au niveau du gigot que dans la côte (2,54 contre 1,32g/100g).

Tableau 16. Teneur en protéine du gigot et de la côte cuit et non cuit (g/100g de viande)

| | Avant cuisson | | Après cuisson | | Effet facteur | | |
|----------|---------------|------------|---------------|----------|---------------|----------|---------------------|
| | gigot | côte | gigot | côte | Muscle | cuisson | Interaction facteur |
| Protéine | 19,07±1,3 | 16,18±1,95 | 21,61±1,94 | 17,5±000 | P < 0,05 | P < 0,05 | NS |

Chaque valeur est la moyenne de 10 échantillons (n=10) suivie de l'écart type.

6- Composition lipidique des muscles

6-1- Lipide totaux

Les teneurs en lipides selon la nature du muscle avant et après cuisson sont illustrées dans le **tableau 17 et la figure 14.**

La comparaison des teneurs en lipides selon le site musculaire montre une supériorité plus marquée sur les côtes par rapport au gigot. La différence est estimée à environ 8 fois (p<0,05) ; cette tendance se poursuit même après cuisson puisque la différence est chiffrée à environ 2 fois et demi.

En effet après cuisson, il ressort que les contenus lipidiques du gigot ont enregistré une progression de trois fois environ (2,62 Vs7,19g/100g). Cette progression liée au traitement thermique n'est que faiblement ressentie pour les lipides des côtes (17,01 Vs 19,65g/100g).

Tableau 17. Teneur en lipide du gigot et de la côte cuit et non cuit (g/100g de viande)

| | Avant cuisson | | Après cuisson | | Effet facteur | | |
|--------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|----------|---------------------|
| | gigot | côte | gigot | côte | Muscle | cuisson | Interaction facteur |
| lipide | 2,62±0,46 | 17,01±4,77 | 7,19±0,76 | 19,65±3,44 | P < 0,05 | P < 0,05 | NS |

Chaque valeur est la moyenne de 10 échantillons (n=10) suivie de l'écart type.

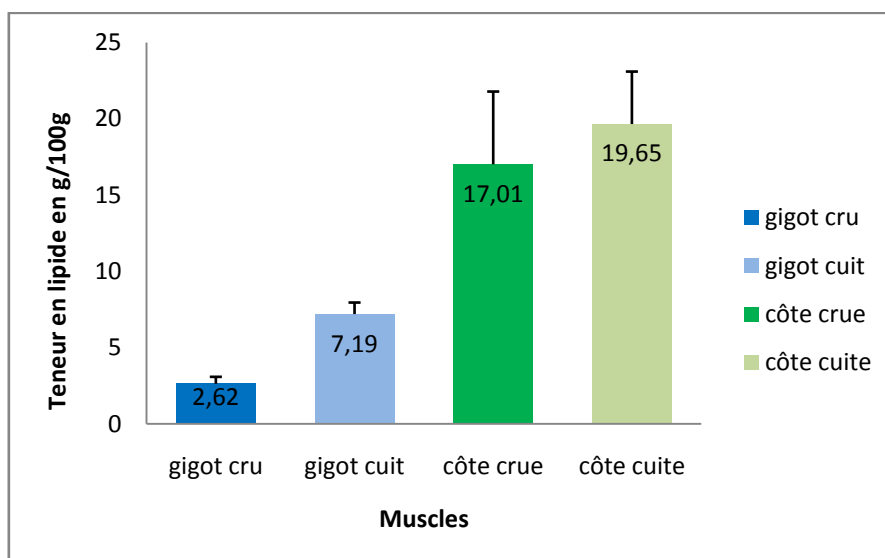


Figure 14 : Teneur en lipides totaux du gigot et de la côte (g/100g de viande)

6-2- Acide gras

Le **tableau 18** rapporte la composition en acides gras du gigot et de la côte avant et après cuisson :

Tableau 18. Teneur en acides gras du gigot et de la côte avant et après cuisson en %

| | Avant cuisson | | Après cuisson | | Effets facteurs | | |
|---------------------|---------------|------------|---------------|------------|-----------------|----------|-------------|
| | Gigot | Côte | Gigot | Côte | Muscle | Cuisson | Interaction |
| C12 :0 | 0,26±0,24 | 0,34±0,24 | 0,48±0,30 | 0,41±0,28 | NS | NS | NS |
| C14 :0 | 2,91±1,56 | 3,94±1,71 | 4,77±1,79 | 4,59±1,91 | NS | P < 0,05 | NS |
| C16 :0 | 22,40±1,78 | 25,35±1,58 | 25,57±1,22 | 25,97±1,45 | P < 0,05 | P < 0,05 | P < 0,05 |
| C16 :1 | 0,47±0,10 | 0,48±0,14 | 0,45±0,18 | 0,5±0,20 | NS | NS | NS |
| C18 :0 | 17,79±5,0 | 17,87±3,7 | 18,17±2,39 | 22,42±3,41 | NS | P < 0,05 | NS |
| C18 :1 (n-9C) | 34,37±5,12 | 36,19±4,29 | 37,12±3,68 | 36,67±3,19 | NS | NS | NS |
| C18 :2 (n-6C) | 9,14±2,32 | 5,71±1,45 | 5,07±1,51 | 3,44±0,86 | P < 0,05 | P < 0,05 | NS |
| C18 :2 (n-6t) (CLA) | 0,13±0,03 | 0,26±0,23 | 0,37±0,18 | 0,30±0,25 | NS | P < 0,05 | NS |
| C18 :3 (n-3) | 0,10±0,03 | 0,09±0,03 | 0,94±0,21 | 0,61±0,27 | P < 0,05 | P < 0,05 | P < 0,05 |
| C20 :0 | 0,13±0,06 | 0,13±0,04 | 0,06±0,09 | 0,10±0,13 | NS | NS | NS |
| C20 :4 (n-6) | 3,93±1,47 | 2,11±0,7 | 1,58±0,78 | 0,37±0,22 | P < 0,05 | P < 0,05 | NS |
| C22 :5 (n-3) | 1,26±0,45 | 0,76±0,25 | 0,52±0,17 | 0,08±0,11 | P < 0,05 | P < 0,05 | NS |
| C22 :6 (n-3) | 0,40±0,17 | 0,20±0,07 | 0,01±0,04 | 0,00±0,00 | P < 0,05 | P < 0,05 | P < 0,05 |
| AGS | 44,24±6,01 | 48,45±3,48 | 50,16±4,33 | 54,61±2,74 | P < 0,05 | P < 0,05 | NS |
| AGMI | 38,97±5,08 | 40,88±4,18 | 41,33±3,53 | 40,56±3,13 | NS | NS | NS |
| AGPI | 16,78±4,74 | 10,66±2,58 | 8,50±2,32 | 4,81±1,25 | P < 0,05 | P < 0,05 | NS |
| n-6 | 14,05±3,88 | 8,66±2,24 | 7,02±2,15 | 4,12±1,03 | P < 0,05 | P < 0,05 | NS |
| n-3 | 2,59±0,98 | 1,85±0,72 | 1,48±0,34 | 0,69±0,29 | P < 0,05 | P < 0,05 | NS |
| n-6/n-3 | 5,71±1,51 | 5,28±2,12 | 4,82±1,31 | 5,08±2,13 | NS | NS | NS |
| At* | 0,61±0,21 | 0,80±0,18 | 0,51±0,07 | 0,98±0,24 | P < 0,05 | P < 0,05 | P < 0,05 |
| AGPI/AGS | 0,39±0,13 | 0,22±0,05 | 0,17±0,06 | 0,08±0,02 | P < 0,05 | P < 0,05 | NS |

Chaque valeur est la moyenne de 10 échantillons (n=10) suivie de l'écart type.

At*: Indice d'athérogénicité calculé selon **Ulbricht et Southgate (1991)** : $(4 \times C14 : 0 + C16 : 0) / (AGMI+AGPI)$

Quelle que soit la nature du muscle, la teneur en acides gras des lipides totaux est modifiée par la cuisson. Toutefois, la cuisson a entraîné une augmentation prononcée ($P < 0,05$) du taux des acides gras saturés alors que ce même traitement thermique a engendré une baisse significative du taux des acides gras polyinsaturés (AGPI) dans les deux muscles étudiés (*Biceps femoris* et *Longissimus dorsi*). Cependant, le taux des acides gras monoinsaturés (AGMI) n'a pas été affecté par la cuisson (**tableau 18**).

La composition détaillée en acides gras des lipides totaux des deux muscles laisse apparaître une prédominance des acides gras saturés (C16 :0, C18 :0) représentant plus de 44% des acides gras identifiés. Cette proportion atteint 50% après la cuisson.

L'analyse plus approfondie des résultats des AGS laisse présager que les côtes demeurent plus riches ($P < 0,05$) que le gigot soit avant ou après cuisson (**figure 15**). L'acide palmitique (C16 :0) serait ainsi le plus représentatif parmi les AGS (22 à 25% selon les deux sites anatomique étudiés). Dans ce cadre, les côtes cuites semblent gagner plus de C16 :0 que le gigot ($P < 0,05$). Les mêmes observations sont également valables pour l'acide stéarique (C18 :0) dont les teneurs varient de 17 à 22%. Toutefois, le gain en cet acide gras après cuisson n'est pas aussi remarqué comme pour le C16 :0.

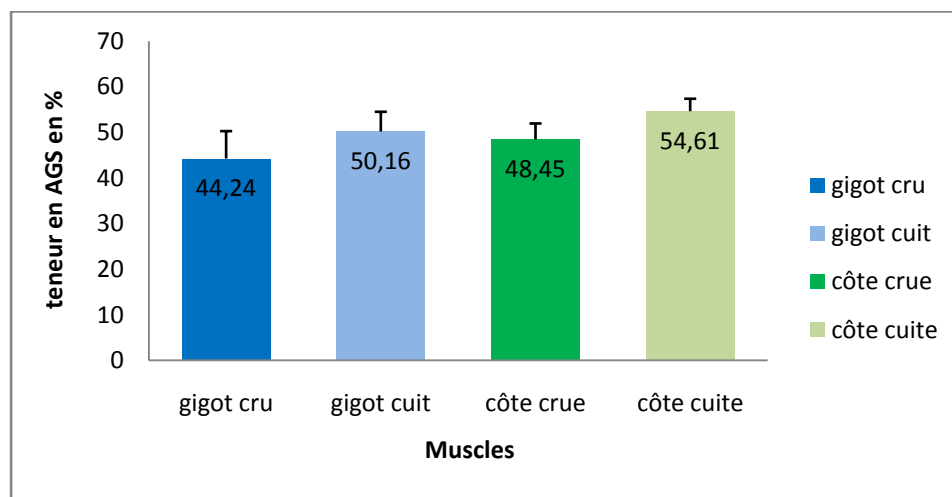


Figure 15 : Acide gras saturés (AGS) du gigot et de la côte

Quel que soit le type de muscle, la cuisson a entraîné une progression significative ($P < 0,05$) de la teneur en acide palmitique (C16 :0) qui passe de 22,40% à 25,57% après cuisson dans le gigot avec une différence de 12% et de 25,35% à 25,97% pour la côte après cuisson soit une différence de 2,38% (**figure 16**).

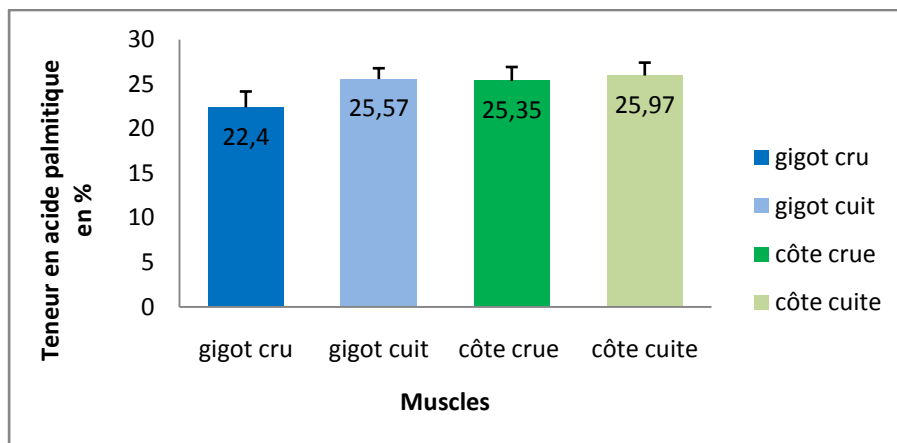


Figure 16 : Acide palmitique (C16 :0) du gigot et de la côte

En outre, ce traitement thermique a engendré une élévation significative ($P < 0,05$) du taux de l'acide stéarique (C18 :0) dans le gigot et dans la côte (**figure 17**). Cette teneur était de 17,79% pour le gigot cru pour progresser à 18,17% après cuisson et de 17,87% à 22,42% pour la côte après cuisson avec des différences respectives de 2% et de 20%

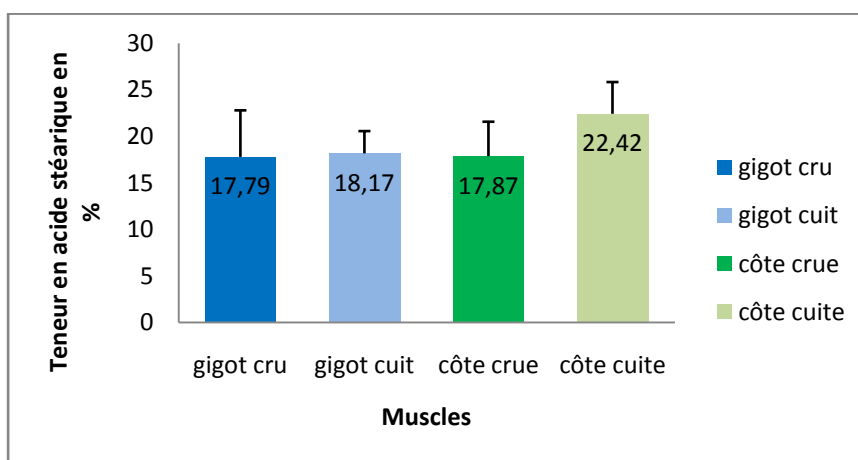


Figure 17 : Acide stéarique (C18 :0) du gigot et de la côte

D'autre part, il n'a été enregistré aucun effet significatif de la cuisson et de la nature du muscle ($P < 0,05$) sur la teneur en acides gras monoinsaturés (AGMI) (**tableau 18**).

Après cuisson, la teneur en AGMI s'accroît dans le gigot et passe de 39% à 41% après cuisson soit une différence de 6 %. Cependant, ce taux en AGMI reste globalement inchangé dans la côte (**figure 18**).

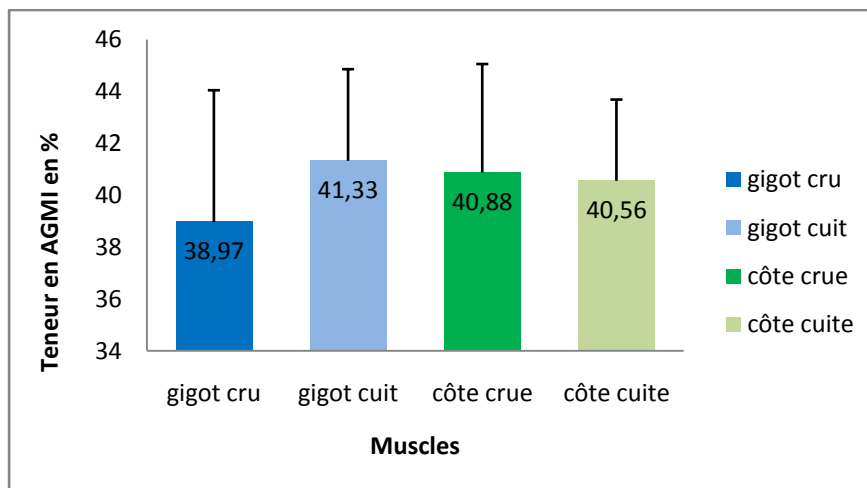


Figure 18 : AGMI du gigot et de la côte

Par ailleurs, l'acide oléique (C18 :1 n-9) est le mieux représenté parmi les acides gras monoinsaturés identifiés dans les deux muscles étudiés (*Biceps femoris* et *Longissimus dorsi*) (**tableau 18**).

Il est intéressant de noter que la cuisson n'a présenté aucun effet significatif sur le taux de l'acide oléique ; cette teneur était de 34,37 % dans le gigot cru pour atteindre 37,12% après cuisson avec une différence de 7%. Pour ce qui est de la côte, la proportion de l'acide oléique dégagée qui était de 36,19 % avant cuisson, est passé à 36,67% après cuisson induisant un gain d'environ 1 % (**figure 19**).

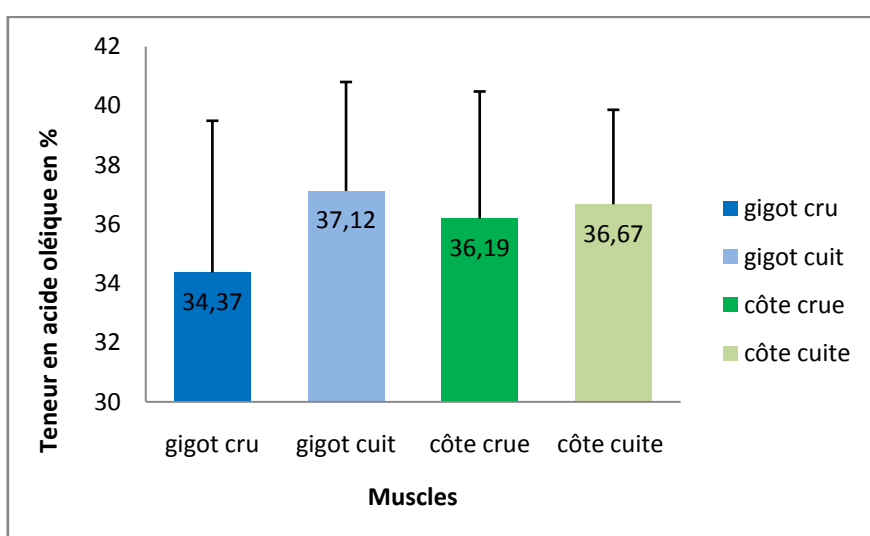


Figure 19 : Acide oléique (C18 :1 n-9) du gigot et de la côte

L'étude statistique a montré que la nature du muscle ainsi que la cuisson exercent un effet significatif ($P < 0,05$) sur la teneur des deux muscles en acides gras polyinsaturés (AGPI) (**tableau 18** et **figure 20**).

Concernant l'effet de la nature du muscle, la teneur en AGPI est plus accentuée dans le gigot que dans la côte soit avant ou après cuisson. Le taux des AGPI était de 16,78% dans le gigot cru contre 10,66% dans la côte crue soit un écart de 36 %. De même, la teneur des AGPI dégagée dans le gigot cuit dépasse celle de la côte cuite d'environ 2 fois (8,50% Vs 4,81% avec une différence de 43%.

Le traitement thermique par la cuisson s'est traduit par une perte significative ($P < 0,05$) en AGPI dans les deux muscles. De 16,78% dans le gigot cru, la teneur en AGPI est passée à 8,5 % après cuisson entraînant une diminution de 49%. La même tendance est remarquée pour la côte, le taux des AGPI dégagé qui était de 10,66% avant cuisson, a atteint les 4,81% après cuisson induisant une perte de 54 %.

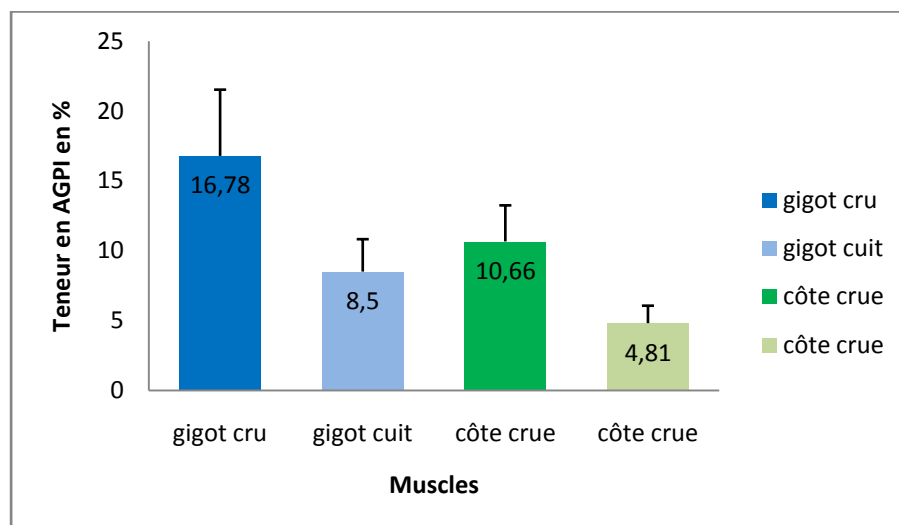


Figure 20 : AGPI du gigot et de la côte

L'analyse de variance fait ressortir que la cuisson et le type de muscle ont un effet significatif ($P < 0,05$) sur la teneur en acide linoléique (C18 :2) et en acide linoléique (C18 :3) du gigot et de la côte (**tableau 18**).

S'agissant du gigot, la proportion en acide linoléique était de 9,14% avant cuisson pour chuter à 5,07% après cuisson soit une baisse équivalente à 44 %. Pour ce qui est de la côte, les mêmes observations peuvent être enregistrées d'où l'on note une baisse de 40% de l'acide linoléique après cuisson (**Figure 21**).

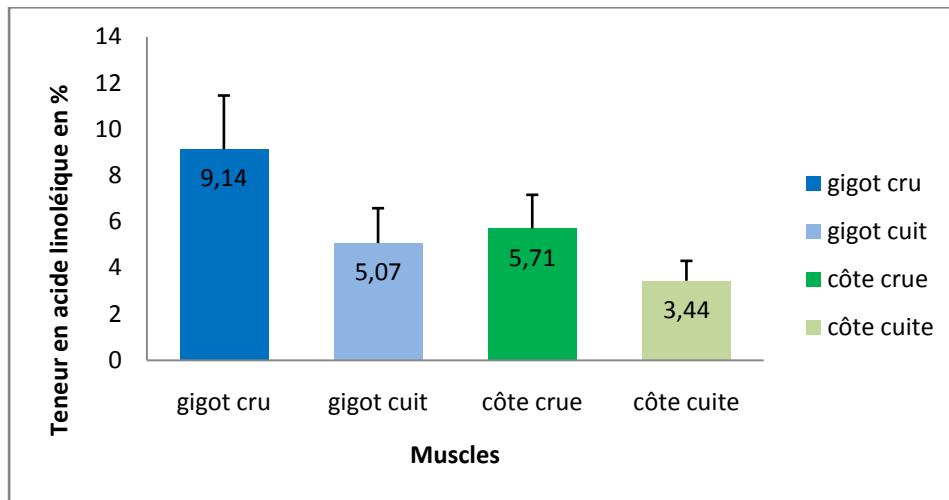


Figure 21 : Acide linoléique (C18 :2 n-6c) du gigot et de la côte

En ce qui concerne l'acide linoléique, la côte a vu une progression de l'ordre de 85% après ce traitement thermique (0,09 Vs 0,61%) (**Tableau 18**). Les mêmes observations sont valables pour le gigot avec un taux en C18 :3 n-3 estimée à 0,10% avant cuisson pour progresser à 0,94% après cuisson soit un gain de 89 % (**Figure 22**).

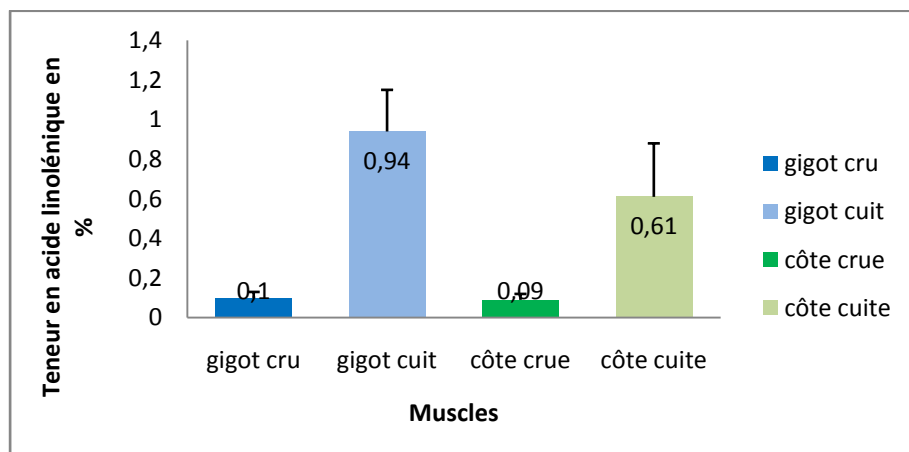


Figure 22 : Acide linoléique (C18 :3 n-3) du gigot et de la côte

De ce qui est de l'acide linoléique conjugué C18 :2 (n-6t) (CLA), le gigot a vu une progression de l'ordre de 65% après la cuisson (0,13 Vs 0,37%) (**Tableau 18**). Les mêmes

constations sont décelées pour la côte avec un taux en C18 :2 (n-6t) estimé à 0,26% avant cuisson pour progresser à 0,30% après cuisson soit un gain de 13 % (**Figure 23**).

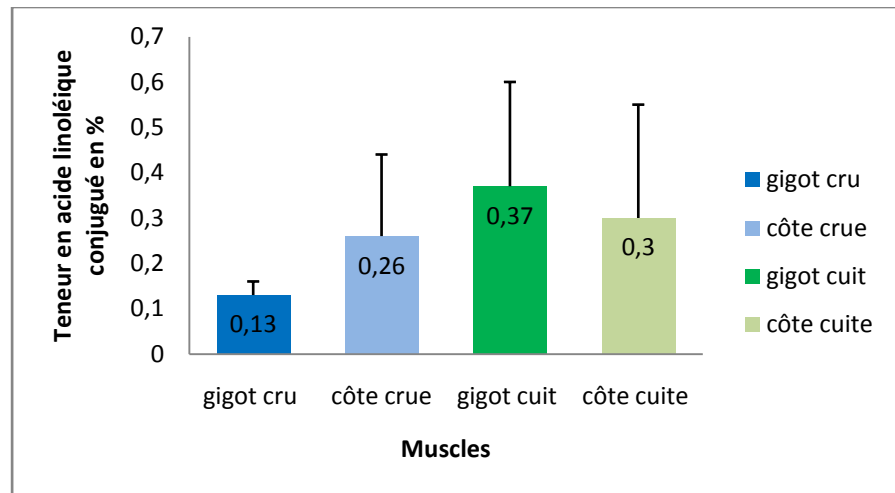


Figure 23 : Acide linoléique conjugué (C18 :2 n-6t) du gigot et de la côte

Cette même tendance est aussi valable pour l'acide arachidonique quelque soit le type de muscle étudié, d'où l'on note une baisse significative consécutive à la cuisson de 60 et 82% pour le gigot et pour la côte respectivement (**Figure 24**). Cette observation nous laisse aussi suggérer que cet AG est d'autant plus important dans le gigot que dans la côte, même après cuisson (3,93 Vs 1,58 % avant cuisson et 2,11 Vs 0,37% après cuisson)

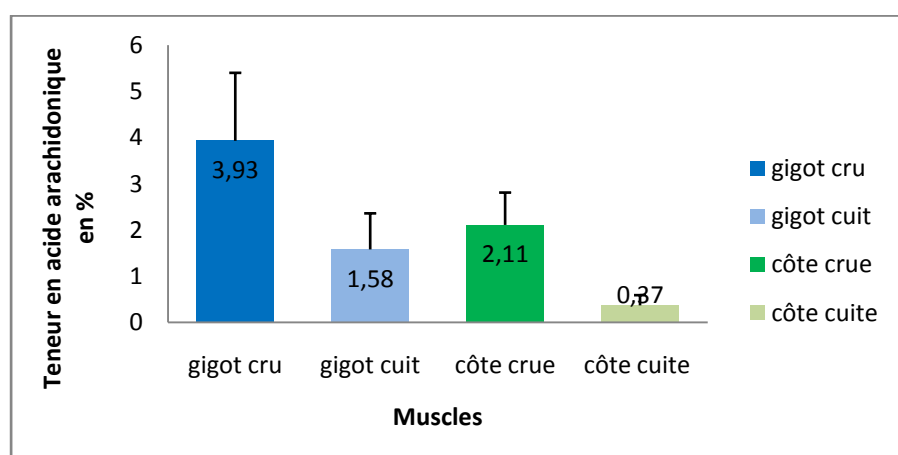


Figure 24 : Acide arachidonique (C20 :4 n-6) du gigot et de la côte

Les AGPI n-6 avant ou après cuisson semblent être plus représentés dans le muscle du gigot que dans la côte. Toutefois, pour ce groupe d'AGPI, la cuisson exerce un effet

défavorable sur leurs concentrations, d'où l'on enregistre une baisse significative ($P < 0,05$) de l'ordre de 50 à 52% respectivement dans le gigot et dans la côte (**Figure 25**). Cet effet dépressif de la cuisson s'exerce également sur les AGPI n-3. Une baisse significative ($P < 0,05$) d'environ 43 et 63% est remarquée consécutivement à la cuisson dans le gigot et la côte. (**Figure 26**)

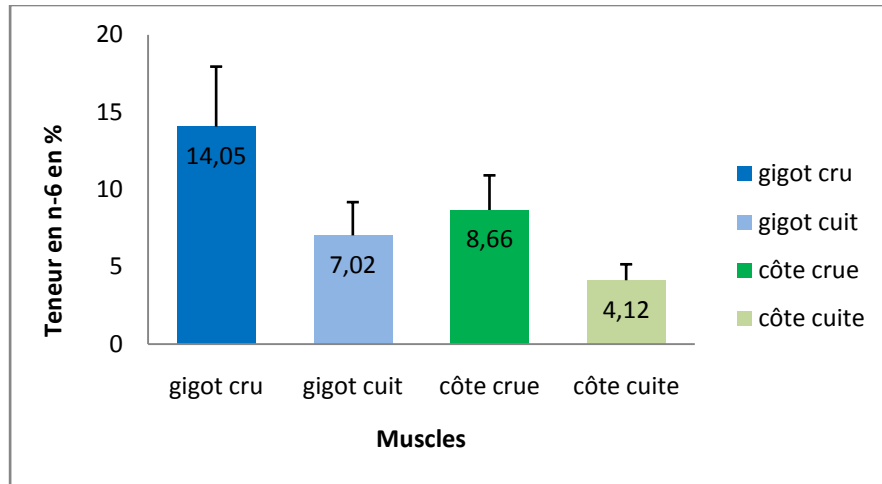


Figure 25 : AGPI n-6 du gigot et de la côte

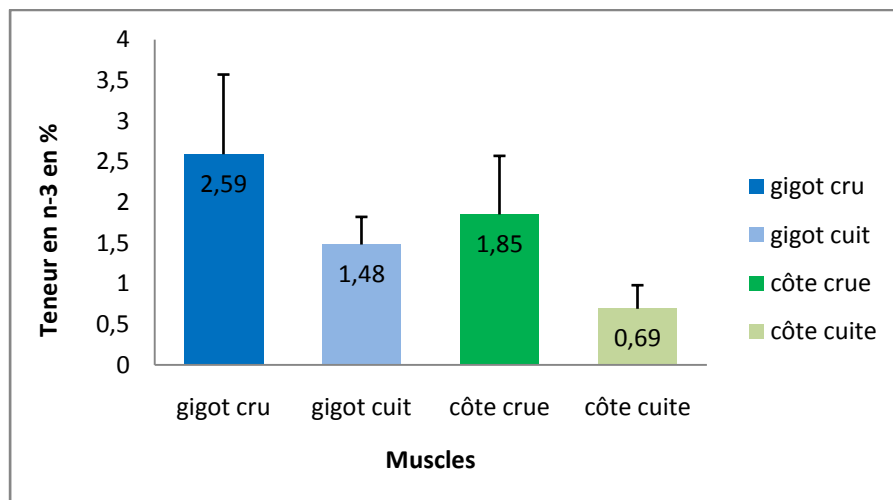


Figure 26 : AGPI n-3 du gigot et de la côte

Le rapport n-6/n-3 n'a pas été affecté par la cuisson dans le gigot et dans la côte respectivement (**Figure 27**). Ce rapport reste supérieur mais d'une manière non significative dans la côte cuite (5,08%) par rapport au gigot cuit (4,82%) soit une différence de 5%.

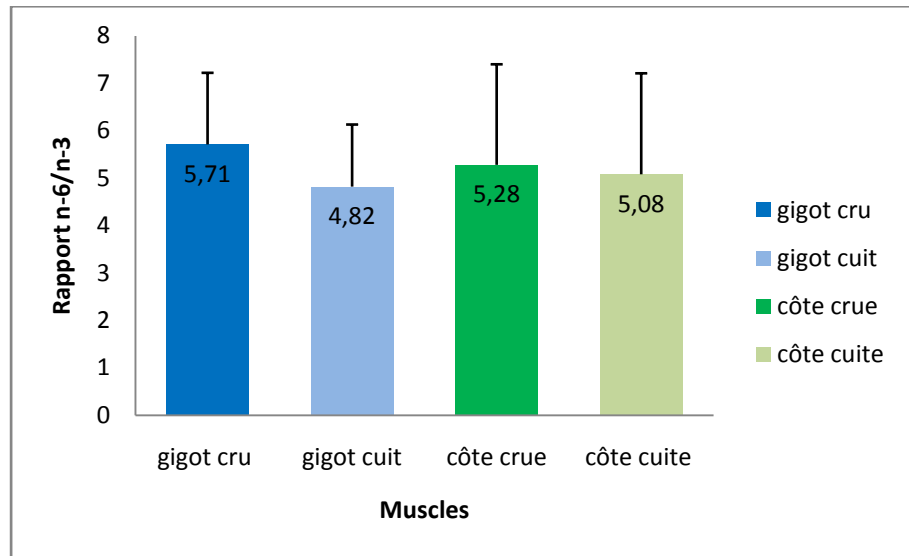


Figure 27 : Rapport n-6/n-3 du gigot et de la côte

Enfin, le rapport AGPI/AGS a été affecté simultanément sous l'effet de la nature du muscle et de la cuisson. Il est remarqué que ce rapport est significativement élevé dans le gigot que dans la côte avec une différence de 43% avant cuisson et de 53% après cuisson (0,39 Vs 0,22 et 0,17 Vs 0,08) (**Figure 28**).

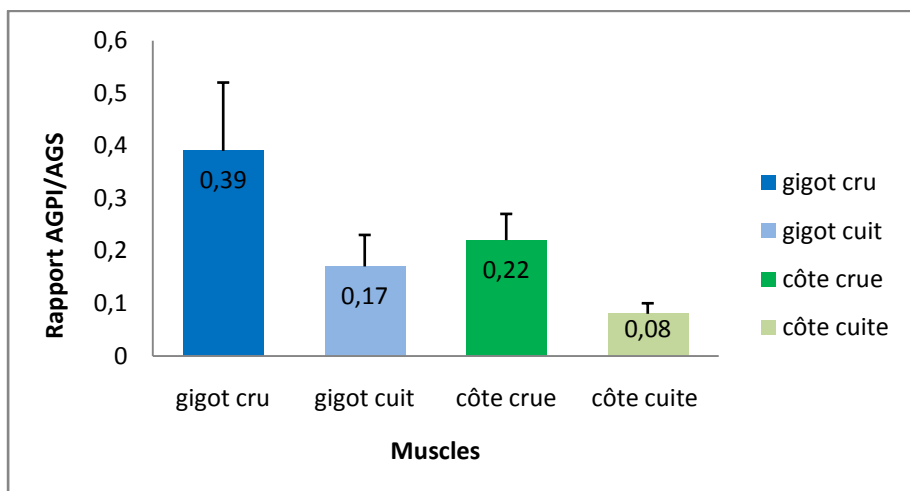


Figure 28 : Rapport AGPI/AGS du gigot et de la côte

7- Degré de peroxydation des lipides de la viande d'agneau

Les résultats du degré de peroxydation des lipides de la viande d'agneau sont illustrés dans le **tableau 19** et la **figure 29**.

Tableau 19. Teneur en MDA du gigot et de la côte cuit et non cuit (mg eq/kg de viande)

| | Avant cuisson | | Après cuisson | | Effet facteur | | |
|-----|---------------|------------|---------------|-----------|---------------|---------|---------------------|
| | gigot | côte | gigot | côte | Muscle | cuisson | Interaction facteur |
| MDA | 0,22± 0,04 | 0,49± 0,18 | 0,39± 0,15 | 0,61±0,36 | P < 0,05 | NS | NS |

Chaque valeur est la moyenne de 10 échantillons (n=10) suivie de l'écart type.

Les teneurs en MDA apparaissent en concentrations supérieures dans la côte que dans le gigot. L'écart étant estimé à 55% avant cuisson et à 36% après cuisson (**Figure 29**).

Les effets de la cuisson se manifestent plus avec ce traitement thermique. Un enrichissement musculaire en ce dérivé de la peroxydation des lipides apparait plus important dans le gigot que dans la côte (43 Vs 20%). Ainsi, la peroxydation lipidique semble être plus accentuée dans le gigot que dans la côte, elle est certainement liée à la richesse initiale en AGPI musculaire.

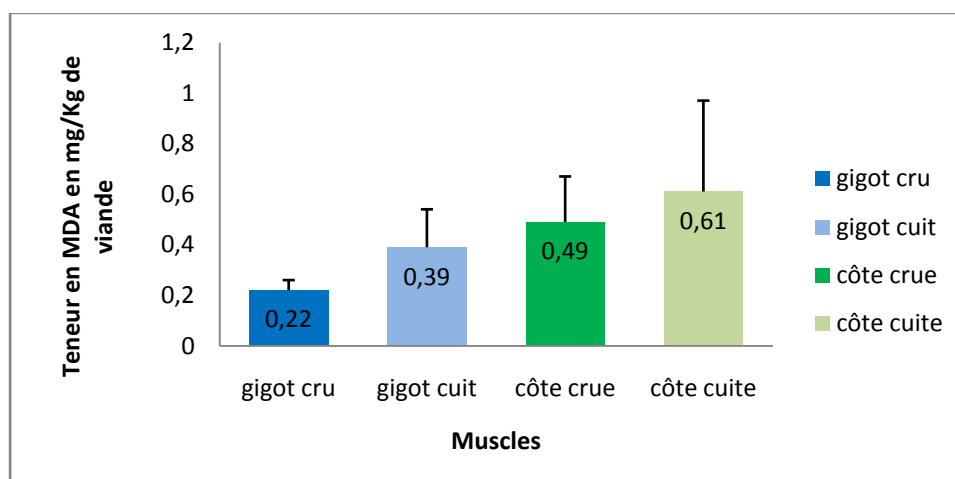


Figure 29 : Teneur en MDA du et de la côte (mg eq/kg de viande)

Discussion

Influence de la cuisson et de la nature du muscle sur la composition nutritionnelle du gigot et de la côte

1- Matière sèche et humidité

Quelle que soit la nature du muscle, la cuisson entraîne un gain en matière sèche. Les résultats enregistrés ont dévoilé un accroissement de la teneur en matière sèche après cuisson, notamment dans le gigot. Ce résultat s'explique par la perte en eau qui est plus importante dans le gigot (25%) que dans la côte (20%).

Les pertes en eau à la cuisson sont souvent liées à la dénaturation des protéines musculaires après la mort de l'animal, dénaturation provoquée par l'association d'un pH de la viande déjà bas alors que la température du muscle est encore élevée (**Asturc, 2007**).

La différence de la perte en eau relevée entre les deux muscles (gigot, côte) est due à la richesse du gigot en protéines contrairement à la côte dont le taux de protéines reste inférieur.

Des résultats similaires ont été obtenus par **Nikmaram et al (2011)** qui ont trouvé que la cuisson de type « rôti » de la viande de veau (*Longissimus dorsi*) entraîne une augmentation significative de la teneur en matière sèche qui était de 27% dans la viande crue pour progresser à 66% après cuisson. **Rabot (1998)** rapporte que la cuisson du poulet entraîne une perte importante en eau et par conséquent un accroissement de la matière sèche après cuisson.

2- Matière minérale

Les résultats obtenus ont montré une augmentation significative ($P < 0,05$) de la matière minérale dans les deux muscles étudiés après cuisson. Cependant, l'étude statistique a révélé que la nature du muscle n'a aucun effet significatif sur le taux de cendre.

Les résultats concernant l'accroissement de la teneur en cendre dans les deux muscles après cuisson s'expliquent par la grande perte en eau déjà présente dans la viande. Ces résultats concordent avec ceux de **Alipour et al (2010)** qui ont constaté que la cuisson de type « grillade » du poisson (esturgeon) entraîne une augmentation du taux de cendre. Cependant, **Rabot (1998)** a constaté que la cuisson du poulet entraîne une perte en minéraux.

Selon **Nikmaram et al (2011)**, la cuisson de type rôti de la viande de veau (*Longissimus dorsi*) engendre une élévation de la teneur en matière minérale. Cette teneur était de 0,9g dans la viande crue et passe à 1 g après cuisson. Des observations analogues ont été constatées dans la viande de dromadaire avec un taux de cendre de 1,1g avant cuisson pour passer à 1,36g après cuisson aux micro-ondes dans le muscle *Longissimus dorsi* (**Kadim et al, 2011**).

Cependant, la cuisson de type rôti du même muscle de dromadaire n'a aucun effet significatif sur l'évolution de la teneur en matière minérale qui était de 1,1g à l'état cru pour progresser à 1,24g après cuisson (**Kadim et al, 2011**).

3- Fer

Les résultats enregistrés ont fait ressortir une augmentation significative ($P < 0,05$) de la teneur en fer dans le gigot. Cependant, l'évolution du taux de fer dans la côte après cuisson était non significative. Les teneurs obtenues étaient de 3,04mg dans le gigot cru pour progresser à 4,15mg après cuisson. Par ailleurs, le taux de fer dans la côte crue était égal à 2,07mg contre 2,43mg dans la côte cuite. Selon **Lee et Clydesdale (1981)**, la biodisponibilité de certains minéraux, tels que le fer, peut être augmentée par les traitements thermiques.

Une étude réalisée par **Vautier et al (2010)** sur la viande de porc a révélé que les teneurs en fer total, zinc, magnésium, phosphore, potassium et sélénium augmentent significativement après cuisson.

Cependant, la cuisson de type braisé de la viande de bœuf génère principalement une perte en eau de la viande qui concentre la quantité de fer total, héminique et non héminique (**Lombardi-Borcia et al, 2002**). Nos résultats sont en accord avec ceux de **Souheyre (2008)** qui a trouvé que la cuisson de type braisé de la macreuse apporte 4,7mg de fer total/100g, soit 1,8 fois plus que la même viande à l'état cru. Les mêmes résultats ont été observés dans le faux filet de veau avec une teneur en fer de 2mg avant cuisson contre 2,21mg après cuisson **Souheyre (2008)**.

En outre, nous avons constaté que le muscle du gigot renferme un pourcentage élevé en fer par rapport à la côte soit avant ou après cuisson. Selon le **CIV (2006)**, la teneur en fer total varie selon l'espèce animale (2,23mg/100g pour l'agneau, 0,45mg pour le lapin et de 0,85mg pour le veau) et selon le type de muscle (2,39 mg pour l'entrecôte et 2,72mg pour la macreuse).

4- Evolution du pH

Les résultats obtenus, montrent que le pH évolue d'une manière significative ($P < 0,05$) dans le gigot et dans la côte après cuisson. Le pH était égal à 5,91 dans le gigot cru pour atteindre 6,13 dans le gigot cuit. La même constatation a été dégagée dans la côte avec un pH de 5,88 avant cuisson pour évoluer à 6,02 après cuisson. Cet accroissement du pH est dû à la dénaturation des protéines sarcoplasmiques, myofibrillaires et conjonctives conduisant à la formation de petits composés d'origine protéique (acides aminés libres, peptides,...), ce qui se traduit par une élévation du pH (**Picgirard, 2010**).

Cependant, on constatera que le pH enregistré dans le gigot reste supérieur à celui de la côte soit avant ou après cuisson. Cela est expliqué par la richesse du muscle du gigot en protéines, nutriments connus pour leur pH plus au moins élevé.

5- Teneur en protéines

Il est constaté que le gigot renferme une teneur en protéine supérieure à la côte, soit avant ou après cuisson. Cette différence s'explique par l'intervention de la nature du muscle dont le taux de protéine varie considérablement selon le site anatomique de la viande. Une étude menée par le **CIV (2009)** sur la viande d'agneau a révélé que le taux de protéines varie selon le site anatomique de la viande ; cette teneur était de 20g/100g de viande dans le gigot contre 16,9g/100g dans la côte.

Quelle que soit la nature du muscle, la cuisson n'entraîne aucune perte en protéines mais un gain significatif ($P < 0,05$) expliqué par les pertes en eau pendant la cuisson induisant la concentration des nutriments notamment les protéines (**Williams., 2007**). La cuisson casse les protéines en petits fragments qui se coagulent aux environs de 60°C. Ainsi, un morceau de viande (gigot ou côte), placé au four se couvre rapidement d'une croûte de protéines coagulées qui empêche la fuite des sucs contenus à l'intérieur. Ces résultats sont similaires à ceux de **Vautier et al. (2010)** qui ont trouvé que la cuisson de type « rôti à 75°C » de la viande de porc augmente les teneurs en protéines (22,5g Vs 34g). **Howe et al. (2006)** mettent en évidence le même type d'effet, mais de moindre importance en accord avec une température à cœur plus faible (65°C).

Enfin, lors de la cuisson, les protéines myofibrillaires et le collagène subissent des modifications structurales induisant de ce fait une dénaturation de ces constituants essentiels. Cette dénaturation réduit significativement la qualité nutritionnelle des protéines (**Martens et al, 1982**)

6- Composition lipidique des muscles

6-1- Lipides totaux

Les teneurs en lipides et la composition de leurs acides gras (AG) issus de différents types de muscles varient chez le ruminant en fonction des facteurs d'élevage liés à l'animal (race, sexe, âge) et son alimentation (ration de base, suppléments lipidiques.....etc) (**Bauchart et Thomas, 2010**).

Les résultats obtenus, montrent que les muscles de gigots et de côtes gagnent des lipides lors de la cuisson. Cette teneur était de 2,62g dans le gigot cru progresse à 7,19g après cuisson et de 17,01g dans les côtes avant cuisson pour atteindre 19,65 g après cuisson. Ces résultats rejoignent ceux de nombreux auteurs (**Stadelman, 1978 ; Prusa et Louergan, 1987 ; Rabot, 1998**) qui ont constaté que la cuisson accroît la teneur en lipides des muscles de la viande du poulet.

Nos résultats corroborent ceux de **Nikmaram et al (2011)** qui ont trouvé que la cuisson de type rôti de la viande de dromadaire entraîne une augmentation du taux de lipides qui passe de 5,4 à 6,16 g/100g soit un gain de 12%.

L'élévation de la teneur en lipides totaux des deux muscles après cuisson est due à la déshydratation de la viande. Au cours du traitement thermique, l'aliment subit des déformations thermomécaniques. Il est le siège de transferts couplés de chaleur et d'eau. Ces phénomènes, génèrent une pression qui fait migrer le jus du centre du muscle de la viande vers sa surface d'où la formation d'une croûte qui freine la migration de l'eau, modifie profondément l'évolution de la température de surface et détermine la qualité finale du produit (**Kondjoyan et Peynon, 2006**).

Selon **El affifi et al (2011)**, la cuisson augmente la concentration des lipides totaux dans la viande d'agneau d'herbe. Cette teneur était de 8,3 g/100g pour progresser à 12 g/100g après cuisson. Cette conséquence est liée à la perte d'eau durant la cuisson.

Après cuisson, la teneur en lipides observée dans le muscle de la côte est plus élevée par rapport à celle du gigot, cela peut être expliqué par la richesse de la côte en lipides contrairement au gigot. Cependant, l'augmentation de la teneur en lipides inhérente à la cuisson est plus importante sur le muscle du gigot que dans la côte.

Comparativement à d'autres études de recherche sur la teneur en lipides des produits carnés après cuisson, un gain de 30% était observé pour la côte du porc, 22% pour la saucisse et 100% (teneur la plus importante) pour la viande de lapin (**Mourot et al, 2006**).

La teneur élevée de lipide chez le lapin après cuisson peut être expliquée par la nature de sa viande qui contient peu de lipides et donc plus riche en eau (**Mourot et al, 2006**).

6-2- Acides gras

L'influence des lipides contenus dans les pâturages sur la composition des dépôts adipeux dans le muscle des ruminants est moins élevée que chez les monogastriques. Ceci est dû aux phénomènes de biohydrogénation spécifiques à ces ruminants.

Plusieurs études ont démontré que l'alimentation influe sur le profil en acides gras de la viande d'agneau (**Vasta et al., 2009; Nuernberg et al., 2008; Aurousseau et al., 2004, 2007; Diaz et al., 2002; Santos-Silva et al., 2002; Velasco et al., 2001**). La viande des animaux alimentés au pâturage se distingue par un profil en acide gras fortement bénéfique pour la santé du consommateur.

Concernant les acides gras saturés, les résultats obtenus (AGS) ont révélé que l'acide stéarique (C18 :0) est en proportion élevée dans le gigot ainsi que dans la côte crus ou après cuisson avec des teneurs comprises entre 17 et 22%. Nos résultats sont similaires à ceux de **Prache et al (2009)** qui ont démontré que la consommation d'herbes par les agneaux induit une augmentation de la teneur en acide stéarique (+ 7.9%, $P < 0.05$), acide gras saturé neutre voire bénéfique du point de vue de l'impact sur les maladies cardiovasculaires chez l'homme.

En outre, dans notre étude de recherche, l'apport quantitatif en AGPI est mieux représenté dans les deux muscles étudiés avec des teneurs globales comprises entre 4,81 et 16,78%. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Jacques et Villeneuve (2008)** qui ont révélé que la viande issue d'agneaux ayant consommé de l'herbe est riche en AGPI notamment ceux de la série n-3 et n-6.

Selon **El Affifi et al (2011)**, la viande issue de pâturage est d'autant plus riche en AGPI n-3 que celle obtenue à partir d'agneau ayant reçu du concentré (133 mg Vs 51 mg/100g). Ces teneurs sont relatives à la richesse de l'herbe en AG n-3 et la fuite des AGPI n-3 au processus de la biohydrogénation.

De même, la proportion élevée de l'acide linoléique (C18 : 2 n-6) chez les agneaux de notre expérimentation peut être attribuée à un apport intéressant en AGPI (principalement en C18 : 2 n-6) provenant de l'herbe (**Geay et al, 2002**).

Les résultats de nos travaux ont permis de dégager que l'acide linoléique conjugué (CLA : C18 : 2 n-6t) est en proportion appréciable dans les deux muscles étudiés (crus et cuits) avec des teneurs comprises entre 0,13 et 0,37%. Nos résultats sont similaires à ceux de

Rondia et al (2003) qui ont constaté que les agneaux finis à l'herbe présentent des proportions élevées en CLA. Les mêmes résultats ont été observés dans l'étude menée par **Jacques et Villeneuve (2008)** qui ont démontré que les agneaux alimentés à l'herbe ont une viande plus riche en CLA (C18 :2 n-6t) que les agneaux alimentés aux concentrés ($P < 0,0001$). **Selon Pariza et al (2004)**, les CLA de conformation cis-9 et trans-11 peuvent réduire le risque de maladie cardiovasculaire.

Par ailleurs, les résultats obtenus ont permis de déduire que le ratio n-6/n-3 reste dans la norme recommandée par les nutritionnistes, qui est de l'ordre de 5. Nos résultats vont de paire avec ceux de **Rondia et al (2003)** qui ont relevé que le pâturage entraîne une diminution du ratio n-6/n-3 (entre 4,5 et 5) dans la viande d'agneau belge, ce qui reste favorable pour la santé du consommateur.

Il est bien évident que lors de la cuisson, les muscles s'enrichissent de lipides. Il n'est donc pas étonnant de constater que les AGS, les AGMI et les AGPI soient directement proportionnels à la quantité de lipides gagnés ou perdus au cours de la cuisson.

Les proportions en acides gras obtenues ont permis de déduire que le gigot ainsi que la côte ont présenté des teneurs élevées ($P < 0,05$) en acides gras saturés, crus ou cuits, (44,24 Vs 50,16% pour le gigot et 48,45 Vs 54,61% pour la côte). Ces résultats sont similaires à ceux de **Vautier et al (2010)** qui ont trouvé que la cuisson entraîne une augmentation significative du taux d'acides gras saturés dans la viande de porc au détriment des acides gras polyinsaturés qui subissent une oxydation.

Bauchart et al (2010), ont constaté que la cuisson de type friture ou rôti induit une élévation significative de la teneur en AGS du rumsteck (+1,5 à +1,7 g/100 g de tissu sec pour le traitement « friture » et +0,5 à +0,8 pour le traitement « rôti »)

Comme pour les acides gras saturés, mais à un degré moindre, la teneur en acides gras monoinsaturés, seconde famille majeure des AG de la viande tend à augmenter après cuisson.

Nos résultats corroborent ceux de **Bauchart et al (2010)** qui ont constaté que la cuisson de type rôti et braisé entraîne une augmentation des AGMI dans la viande de bœuf.

Cependant, les travaux de **Vautier et al (2010)** sur la viande de porc ont révélé que la cuisson entraîne une diminution non significative du taux des AGMI qui, de 49% dans la viande crue, passe à 47% après cuisson à 75°C.

En ce qui concerne les AGPI, le traitement thermique occasionne une dégradation partielle de ces acides gras, voire même leur perte (16,78% dans le gigot cru Vs 8,25% après

cuisson ; 10,66% dans la côte crue Vs 4,81% après cuisson). La proportion d'AGPI détruite au cours de la cuisson augmente avec le nombre de doubles liaisons des acides gras (**Kim, 1989**).

S'agissant des AGPI de la famille des n-6 et n-3, notre étude a fait apparaître que la cuisson ainsi que la nature du muscle influent d'une manière significative (**P < 0,05**) sur les teneurs de ces acides gras dans le gigot et dans la côte. Le traitement thermique engendre une baisse (**P < 0,05**) des n-6 et n-3. Ces résultats concordent avec ceux de **bauchart et al (2010)** pour qui la cuisson de type « friture » et « grillé » de la viande de bœuf provoque une baisse (**P < 0,05**) des AGPI n-3 et n-6. La diminution des AGPI de la série n-6 et n-3 au cours du traitement thermique, peut être expliquée par leur oxydation.

Par ailleurs, la proportion en acide linoléique (C18 :2 n-6) et linoléique (C18 :3 n-3) reste plus élevée dans le gigot que dans la côte soit avant ou après cuisson. Cependant, la cuisson a entraîné une perte (**P < 0,05**) de l'acide linoléique (C18 :2 n-6) alors que ce même traitement thermique a provoqué une augmentation significative de la teneur en acide linoléique (C18 :3 n-3). Ces résultats sont accord avec ceux de **Bauchart et al (2010)** qui ont révélé que la cuisson de type « braisé » du paleron entraîne une augmentation significative de l'acide linoléique (C18 :3 n-3) (+0,06 à 0,09 g/100 g tissu sec).

En outre, les études de recherche menées par **Kim (1989)** sur l'oxydation des AGPI lors de la cuisson, ont démontré que chez le poulet « label » 20% à 50% de l'acide arachidonique (C20 :4 n-6) disparaît en cours de cuisson. Cette observation corrobore nos résultats où les pertes étaient estimées à 60% dans le gigot et à 82% dans la côte après cuisson.

Notre travail met en évidence que le rapport n-6/n-3 n'est pas influencé par la cuisson. Selon **Normand (2008)**, le rapport n-6/n-3 dans la viande d'agneau est de 5, tandis qu'il peut dépasser 10 dans des viandes traditionnelles (animaux nourris notamment au maïs, riche en oméga 6). Dans notre étude, le ratio n-6/n-3 était de 5,28 dans le gigot cuit et de 5,08 dans la côte cuite ; il reste proche de la norme admise qui est de l'ordre de 5.

Enfin, notre étude a révélé que le rapport AGPI/AGS est d'autant plus élevé dans le gigot que dans la côte soit avant ou après cuisson (0,39 Vs 0,22 et 0,17 Vs 0,08). Cela est dû à la richesse des côtes en acides gras saturés, car plus la proportion des AGS est élevée plus le rapport AGPI/AGS tend à diminuer. Il est remarqué que le gigot présente un rapport AGPI/AGS égal à 0,39 est resté très proche de celui recommandé par les nutritionnistes et qui est de l'ordre de 0,4 (**Kouba et al, 2002**)

7- Degré de peroxydation des lipides de la viande d'agneau

Quel que soit le type de muscle, la teneur en MDA a évolué positivement après cuisson dans le gigot ainsi que dans la côte (0,22 Vs 0,39 mg pour le gigot et 0,49 Vs 0,61 mg pour la côte). Selon **Durand et al (2006)**, la peroxydation des lipides est une des causes majeures de cette élévation. Les produits de l'oxydation des lipides sont associés à une diminution de la valeur santé de la viande en générant des produits toxiques dont le malondialdéhyde (**Gandemer et al, 1999**).

Il importe de noter que les niveaux d'évolution du MDA après cuisson permettent de déduire que la peroxydation des lipides était faible dans les deux muscles étudiés. Cela pourrait s'expliquer en grande partie par l'intervention de la vitamine E, principal antioxydant présent dans l'herbe consommée par les agneaux de notre expérimentation. Nos résultats sont en accord avec ceux de **Gatellier et al (2001)** qui ont trouvé que le taux de malondialdéhyde (MDA) est beaucoup plus importante ($P < 0.001$) dans la viande des génisses charolaise finies à l'auge que dans celle finies à l'herbe avec des indices respectifs de TBA-rs de l'ordre de 2,5 et de 1. Autrement dit, la consommation de l'herbe par les agneaux limiterait les processus de lipopéroxydation dans la viande.

Enfin, les proportions élevées de MDA dans les côtes par rapport aux gigots (0,49 Vs 0,22 mg avant cuisson ; 0,61 Vs 0,39 mg après cuisson) peuvent s'expliquer par la richesse de la côte en matière grasse notamment en AGPI susceptibles aux phénomènes de peroxydation, favorisant par la suite l'accroissement des taux des composés toxiques en particulier le malondialdéhyde (**Combes et Dalle Zotte., 2005**). En outre, le chauffage de la viande stimule la peroxydation lipidique donnant naissance de ce fait à des aldéhydes réagissant avec les groupements amines des protéines pour donner des bases de « shiff ». Ces oxydations vont entraîner des dénaturations importantes des protéines qui peuvent modifier leurs propriétés fonctionnelles et leur digestibilité.

Conclusion et Perspectives

Conclusion générale

Le but de la présente expérimentation est de caractériser la viande d'agneau locale issu de pâturage de la région steppique d'Oum el Bouaghi et de souk Ahras et de mettre en relief l'effet du traitement thermique sur les principaux nutriments de la viande principalement sur les acides gras.

L'analyse détaillée de la composition biochimique et de l'oxydation lipidique de la viande crue et cuite, nous a permis d'établir des différences très nette entre les deux types de muscles étudiés (gigot et côte).

La teneur en matière minérale ainsi que le taux en matière sèche sont plus élevés dans le gigot que dans la côte. Quelque soit le type de muscle, la cuisson de type rôti entraîne une perte en eau, un gain en matière sèche (18,14% gigot ; 14,91% côte), en matière minérale (1,45% gigot ; 0,93% côte), en lipide totaux (4,57% gigot ; 2,64% côte) et en protéine (2,93% gigot ; 1,32% côte).

En ce qui concerne le fer total, le gigot demeure plus riche que la côte ($P < 0,05$) (3,04 Vs 2,07 mg/100g) soit avant ou après cuisson. Il est ainsi remarqué que la cuisson induit un gain en fer total dans les deux muscles étudiés avec une teneur de 1,27 mg pour le gigot avant cuisson contre 2,72 mg/100g après. Il est de même pour la côte avec une proportion égale à 1,14 mg avant cuisson pour progresser à 2,07 mg/100g après.

Cependant, les deux muscles étudiés, se caractérisent par leurs teneurs différentes en lipides. En effet, les lipides totaux apparaissent dans des proportions relativement élevés dans le muscle *longissimus dorsi* que dans les muscles *biceps femoris* (17,01% Vs 2,62% avant cuisson ; 19,65% Vs 7,19% après cuisson) respectivement.

Pour ce qui est des acides gras, leurs composition différent entre les deux muscles étudiés (*Biceps femoris* et *Longissimus dorsi*). En effet, la côte contient une proportion plus élevée en AGS et AGPI et une proportion relativement faible d'AGMI que ceux du gigot. Ces différences de composition en acides gras peuvent s'expliquer par l'intervention de la nature du muscle dont le taux d'AG varie considérablement selon le site anatomique de la viande.

Dans notre expérimentation, des différences très nettes entre les deux muscles se sont manifestées après la cuisson. Quelque soit la nature du muscle, la cuisson de type rôti entraîne

un gain en AGS (44,24% Vs 50,16% gigot après cuisson et 48,45% Vs 54,61% côte après cuisson) et en AGMI (38,97% Vs 41,33% pour le gigot après cuisson et 40,56% Vs 40,88% pour la côte après cuisson). Cependant, nous avons remarqué que les deux muscles perdent des AGPI après la cuisson. Ces pertes peuvent être expliquées par l'oxydation des AGPI lors de la cuisson.

Présentement, le muscle *longissimus dorsi* est très sensible à l'oxydation lipidique due à sa richesse en lipides, ce qui explique la teneur élevée en MDA générée sur ce muscle par rapport à celle du muscle *biceps femoris* (0,49 mg Vs 0,22 mg avant cuisson ; 0,61 mg Vs 0,39 mg après cuisson) respectivement.

Par ailleurs, la teneur en protéines demeure plus élevée dans le gigot que dans la côte (19,07% vs 16,18% avant cuisson ; 21,61% vs 17,05% après) respectivement.

Enfin, et à travers ces résultats il nous est permis de penser que la viande d'agneau de la région d'Oum el Bouaghi et de Souk-Ahras serait une source très importante de nutriments essentiels aux besoins nutritionnels de l'homme. Le choix et la maîtrise du mode de cuisson de la viande est une opération nécessaire en vue de préserver les meilleures qualités de la viande.

Dans l'éventualité d'une poursuite des recherches sur « l'effet de la cuisson sur la qualité diététique et nutritionnelle de la viande d'agneau issu de pâturage », il conviendrait de tenter d'établir d'autres paramètres : l'état de l'animal avant l'abattage (cas de l'animal stressé), couples de temps de chauffage/température, l'âge et leurs effets sur les caractéristiques sensorielles et organoleptique de la viande d'agneau.

Références bibliographiques

- ❖ Ackman R.G., Lamothe F., Hulan H., Proudfoot F.G., 1988. The broiler chicken its current and potential role as a source of long chain n-3 fatty acids in our diets. N-3 news unsaturated fatty acids and health., 3, 1-4.
- ❖ Adams CE, Erdman JW (1988). Effects of home food preparation practices on nutrient content of foods. In: *Nutritional Evaluation of Food Processing*. Edited by Karmas E, Harris RS. New York : Van Nostrand Reinhold Co; pp 557-595.
- ❖ ADIV (Association pour le Développement de l'Institut de la Viande) - Statut et comportement à la cuisson de deux oligoéléments de la viande bovine : le fer et le selenium, respectivement pro et antioxydant. Projet interbev/ofival, 2007-communication personnelle.
- ❖ AFNOR NF ISO 10-390 de novembre 1994
- ❖ AFNOR. (1985). (Association Française de Normalisation). Aliments des animaux, méthodes d'analyses française et communautaire. 2eme édition, 200p.
- ❖ Aidoud A, 1989. Contributiouon à l'étude des écosystèmes pâturés. Hautes plaines Algéro-Oranaises (Algérie). Thèse de doctorat USTHB, Alger, 240p.
- ❖ Aidoud A et Nedjraoui D., 1992.- The steppes of alfa (*Stipa tenacissima* L) and their utilisation by sheeps. In Plant animal interactions in Mediterrean-type ecosystems .MEDECOS VI, Grèce. 62-67.
- ❖ Alipour Hakimeh Jannat, Bahareh Shabanpoor, Ali Shabani ,Alireza Sadeghi Mahoonak., 2010. Effects of cooking methods on physico-chemical and nutritional properties of Persian sturgeon *Acipenser persicus* fillet. Int Aquat Res (2010) 2: 15-23 ISSN 2008-4935
- ❖ Ames J. M., Bates L., Mcdougal L D.B., 1993. Colour development in an intermediate moisture Maillard model system. In The Maillard reactions in chemistry, food and health. Labuza T.P., Reineccius G.A., Monnier V.M., O'BRIEN J., BAYNES J.W., Ed., Roy. Soc. Chem., London, 120-126.
- ❖ Antoine Vautier, Martine Carlier, Jean-Luc Martin, Eric Gault, Jean-Luc Vendevre., 2010 Impact de la cuisson et de la température à cœur sur les valeurs nutritionnelles du rôti filet de porc.
- ❖ Armstrong S. G. & Bergan J. G. 1992. Factors affecting stability and nutritive value of fatty acids : culinary practices. In C. K. Chow (Ed) "Fatty acids in Foods and their Health Implications" New York, M Decker editor, 353-363.
- ❖ Arnoldi A., Arnoldi C., Baldi O., Ghizzoni C., 1990. Effect of lipids in the Maillard reaction. In The Maillard reactions in food processing, human nutrition and

physiology. Finot P.A., Aeschbacher H.U., Hurrell R.F., Liardon R., Ed., Birkhäuser, 133-138.

- ❖ Asherio A., Katan M.B., Zock P.L., Stampfer M.J., Willet W.C.- Trans fatty acids and coronary heart disease. *N. Engl. J. Med.*, 1999, 340, 1994-8.
- ❖ ASHOOR S.H., ZENT J.B., 1984. MAILLARD browning of common amino-acid. *J. Food Sci.*, 49, 1206-1207.
- ❖ Assoumani M.B., Maxime D., N'guyen N.P., 1993. Evaluation of a lysine-glucose Maillard model system using three rapid analytical methods. In *The Maillard reactions in chemistry, food and health*. Labuza T.P., Reineccius G.A., Monnier V.M., O'Brien J., Baynes J.W., Ed., Roy. Soc. Chem., London, 43-48.
- ❖ Asturc T., 2007. Unité : qualité des produits animaux (QuaPA)- INRA de Clermont-Ferrand-Theix.
- ❖ Arousseau, B., D. Bauchart, E. Calichon, D. Micol et A. Priolo. 2004. Effet of grass or concentrate feeding systems and rates of growth on triglyceride and phospholipid and fatty acids in the *M. longissimus thoracis* of lambs. *Meat. Sci.* 66: 531-541
- ❖ Arousseau, B., D. Bauchart, X. Faure, A.L. Galot, S. Prache, D. Micol et A. Priolo. 2007. Indoor fattening of lambs raised on pasture : (1) Influence of stall finishing duration on lipids classes and fatty acids. *Meat. Sci.* 76: 241-252.
- ❖ Badiani A., Stipa S., Bitossi F., Gatta P. P., Vignola G., & Chizzolini R. 2002. Lipid composition, retention and oxidation in fresh and completely trimmed beef muscles as affected by common culinary practices. *Meat Science*, 60, 169-186.
- ❖ Bauchart D. & Thomas A. 2010. Facteurs d'élevage et valeur santé des acides gras des viandes. Dans « *Muscle et Viande de Ruminant* », Editions Quae, Versailles (D. Bauchart et B. Picard, coordinateurs), pp 131-142.
- ❖ Bauchart D. , Thomas A. , Durand D. , Parafita E. 2001. Qualité nutritionnelle des lipides et acides gras des viandes bovines : Influence des conditions de cuisson des viandes,.
- ❖ Bauchart D., 2004, Rapport de fin de contrat Interbev -101p.
- ❖ Bauchart D., Chantelot F., Gandemer G., - qualité nutritionnelle de la viande et des abats chez le bovin, 2008.
- ❖ Bauchart D. et Picard B., 2010. Viande et muscle de ruminant. édition Quae. ISSN : 1777-4624.

- ❖ Bavera, Guillermo Alejandro (éd.). 2003. Producción bovina de carne. Río Cuarto (Argentine); Universidad Nacional de Río Cuarto. Consulté en mai 2003.
- ❖ Bedrani S. , 1996.- Foncier et gestion des ressources naturelles en Afrique du Nord. Cas de l'Algérie. Actes de l'atelier : Le foncier et la gestion des ressources naturelles dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord. OSS., 3-32.
- ❖ Benrebiha A et Bouabdellah E, 1988. Note sur l'état des parcours steppiques en Algérie. Rapport du ministère de l'agriculture, 16p.
- ❖ Benrebiha A, 1984. Contribution à l'étude de l'amménagement pastoral dans les zones steppiques, cas de la coopérative pastorale Ain Ouassara. Thèse magister, INA, Alger, 160p.
- ❖ Berchiche T., Chassany JP., Yakhlef H., 1993.- Evolution des systèmes de production ovins en zone steppique algérienne. Sem. Intern. Réseau Parcours. Ifrane (Maroc), 157-167.
- ❖ Bergman E.N., 1990. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiol. Rev.* 70, 567-590.
- ❖ Beriain M., Horcada A., Purroy A., Lizado G., Chasco J., Mendizabal J., 2000. Characteristics of lacha and rasa aragonesa lambs slaughtered at their live weight. *Journal of Animal Science.* 78, 3070-3077.
- ❖ BNF (British Nutrition Foundation) (2002). Nutrition labelling and health claims. British Nutrition Foundation : London.
- ❖ Boleman S.J., Boleman S.L., Miller R.K., Taylor J.F., Cross H.R., Wheeler T.L., Koohmaraie M., Shackelford S.D., Miller M.F., West R.L., Johnson D.D., Savell J.W., 1997. *J. Animal Sci.*, 75, 6, 1521-1524.
- ❖ Boukhobza M., 1982.- *L'agropastoralisme traditionnel en Algérie: de l'ordre tribal au désordre colonial.* OPU; Alger, 458p.
- ❖ Bramley P.M., Elmadfa I., Kafatos A., Kelly F.J., Manios Y., Roxborough H.E., Schuch W., Sheehy P.J.A, Wagner K.H. 2000. *J Sci. Food Agric.*, 80 : 913-938.
- ❖ Broyart B., (1998). Modélisation des phénomènes de transferts et des modifications de qualité induites lors de la cuisson d'un biscuit sec en continu. Thèse de doctorat, spécialité génie des procédés (ENSIA)
- ❖ Buera P., Chirife J., Resnik S.L., Wetzler G., 1987. Non enzymatic browning in liquid model systems of high water activity, kinetics of color changes due to MAILLARD's reaction between different single sugars and glycine and comparison with caramelization browning. *J. Food Sci.*, 52, 1063-1067.

- ❖ Byrne D.V., Bredie W.L.P., Mottram D.S., Martens M., 2002. Meat Sci. 61, 127-139.
- ❖ C.N.T.S., 1989, Cartographie et inventaire des nappes alfatières sur l'ensemble des Wilayas.
- ❖ Campo M.M., Nute G.R., Hughes S.I., Enser M., Wood J.D., Richardson R.I. 2006. Meat Science ,72 : 303-311.
- ❖ Cazeau, Olivier. 1997. Rapport sur la tendreté de la viande. [en ligne]. 19 p.. Consulté en juin 2004.
- ❖ Chan W., Brown J., Lee S.M., Buss D.H., (1995). Meat, poultry and game. Supplement to msCance and Windowson's the composition of foods. The royal society of chemistry and ministry of agriculture, fishiers and food.
- ❖ Cheftel J.C et Cheftel H, 1980. Introduction a la biochimie des aliments.p 63,303.Ed TEC et DOC.lavoisier-Paris.
- ❖ Chellig R., 1984. Cours de pastoralisme INA. Alger, 40P.
- ❖ Chellig R., 1992. Les races ovines algériennes. Office des publications universitaires.80.P.
- ❖ Chiche J., 1999. L'élevage pastoral, historique, suivi, évaluation. Cours international de pastoralisme, IAMM-IAV Hassan II.
- ❖ Chyau C.-C., Mau J.-L., 1999 Release of volatile compounds from microwave heating of garlic juice with 2,4-decadienals. Food Chem., 64 (4), 531-535
- ❖ Cillard J., 2011. Radicaux libres et vieillissement : Des aspects fondamentaux aux applications cliniques. 4eme Symposium International de Nutrition, Biologie de l'oxygène • et de Médecine.
- ❖ Cillard J., Cillard P., 2006. Mécanisme de la peroxydation lipidique et des antioxydants. Ocl, oléagineux corps gras lipides, 24-29.
- ❖ CIV (Centre d'Information des Viandes). Valeurs nutritionnelles des viandes - civ - inra, 2006-2009.
- ❖ Clarck R., Frost C., Collins R., Appleby P., Peto R., Dietaru lipids blood cholesterol : quantitative meta-analysis of metabolic wards studies.BMJ, 1997, 314, 112-7.
- ❖ CNTS (Centre National de Télédétection Spatiale, Arzew). 1989. Inventaire des nappes alfatières des wilayates. Rapp CNTS, 15p. + cartes.
- ❖ Combes, S., Lepetit, J., Darce, B., Lebas, F., 2003. Meat Sci., 66, 91-96.
- ❖ Combes. S, Dalle Zotte .A. La viande de lapin : valeur nutritionnelle et particularités technologiques. 11èmes Journées de la Recherche Cunicole, 29-30 novembre 2005, Paris. P167-180.

- ❖ Cosgrove J.P., Church D.F., Pryor W.A., 1987. The kinetics of the autooxidation of polyunsaturated fatty acids. *Lipids*, 22 (5), 299-304.
- ❖ Coulon, A. Priolo, 2002. La qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande dépend des fourrages consommés par les animaux. *INRA Prod. Anim.*, 15, PP333-342.
- ❖ Culioli J., Berri C., Mourot J., 2003. *Sci. Alim.*, 23, 13-34.
- ❖ Cuvilier C, Cabareaux J.F, Dufrasne I, Istasse L., Hornick J.L (2004). Acides gras : nomenclature et source alimentaire . *Ann. Med. Vet.* 148, 133-040.
- ❖ Dallongeville J., Grusson E., Dauchet L., 2008. Acides gras alimentaires et risque cardiovasculaire. *Cahier de nutrition et de diététique.*, 43.P53
- ❖ David S., 2000. L'apport de la chimie des sucres à la stéréochimie contemporaine de 1939 à nos jours. *L'Actualité chimique*, mars, 25-30
- ❖ Deghrouche Kahramen, 2011. Etude de certains paramètres zootechniques et du métabolisme énergétique de la brebis dans les régions arides (Biskra).
- ❖ Descalzo A.M., Insani E.M., Biolatto A., Sancho A.M., Garcia 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 (1), 35-44.
- ❖ Descalzo A.M., Rossetti L., Biolatto A., Carduza F., Garcia P.T., Grigioni G.M., 2008. Antioxidant consumption and development of oxidation during ageing of buffalo meat in Argentina. *Meat Science*, 79 (3), 582-588.
- ❖ Diaz, M.T., S. Velasco, V. Caneque, S. Lauzurica, F. Ruiz de Huidobro, C. Pérez, J. Gonzalez et C. Manzanares. 2002. Use of concentrate or pasture for fattening lambs and its effect on carcass and meat quality. *Small Ruminant Res.* 43: 257-268.
- ❖ Dills W.L., 1993. Protein fructosylation : fructose and the MAILLARD reaction. *Am. J. Clin. Nutr.*, 58, 779-787.
- ❖ Djebaili S, 1984. La steppe Algérienne. *Phytosociologie et phyto-ecologie*. Ed. OPU, Alger, 177.
- ❖ Douh M., 1993. Essai sur la productivité fouragère des parcours d'Atriplex dans la région stéppique de Djelfa. Thèse de magister I.N de Blida. 68-89p.
- ❖ Dozias D, B Picard, 1997. Caractérisation de l'aptitude à valoriser l'herbe et étude des caractéristiques musculaires en race Blonde d'Aquitaine. *Renc. Rech. Ruminants*, 4, p321

- ❖ Dozias, D Micol, JR Peccatte, 1994. Extensification de la production de viande bovine en zone herbagère normande. *Ann Zootech*, 46, 58s
- ❖ Durand D., Gruffat D., Ortigues-Marty I., Savary-Auzelou X I., Thomas E.2, Peyron A.2, Bauchart D., 2006. Impact de différents modes de cuisson de la viande bovine sur les processus de peroxydations lipidiques. 11èmes JSMTV - Clermont Fd - 2006 - Page 104.
- ❖ ElAffifi M., Bouderoua K., Mourot J., 2011. Effet de la cuisson sur les lipides et la composition en acides gras de la viande d'agneau d'herbe. Université de Mostaganem. Nutrition clinique et métabolisme S52-S153/ cahier de nutrition et de diététique.
- ❖ Esterbauer H., 1993. Cytotoxicity and genotoxicity of lipids-oxidation products. *Am J Clin Nutr*, 57 (5), S779-S786.
- ❖ FAO, Perspectives de l'alimentation « Analyse des marchés mondiaux », (Novembre 2010)
- ❖ FAO. 2007. - Protein and amino acid requirements in human nutrition. Technical Report Series 935. Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation.
- ❖ Faucouynau G. (1997). Aspects nutritionnels de la consommation des viandes. Perspective d'avenir , viande prod. *Carnés*. 18., 79-83.
- ❖ Faustman C, Chan W.K.M, Schaefer D.M., Havens A., 1998. Beef color update : the role of vitamin E. *J anim Sci*, 76 (4), 1019-1026.
- ❖ Favier J.C., Ireland-Ripert J., Toque C., Feinberg M. (1995). Répertoire général des aliments. Tables de comparaison. INRA Edition, 879p.
- ❖ Favier, A. (1997). Le stress oxydant: intérêt de sa mise en évidence en biologie médicale et problèmes posés par le choix d'un marqueur. *Ann. Biol. Clin.* 55, (1), 9-16.
- ❖ Felton J.S., Knize M.G., 1990. New mutagens from cooked food. *Mutagens and carcinogens in the diet*, © WILEY-LISS, Inc., 19-38.
- ❖ Felton J.S., Knize M.G., Shen N.H., Andresen B.D., BJeldanes L.F., Hatch F.T., 1986. Identification of the mutagens in cooked beef. *Environ. Health Perspect.*, 67, 17-24.
- ❖ Fernandez X., Kerverdo S., Dunach E., Lizzani-Cuvelier L., 2002. Les hétérocycles dans la chimie des arômes. *L'actualité Chimique*, 4-14.
- ❖ Finot P.A (1994). Effets des microondes sur les qualités nutritionnelles et l'innocuité des aliments. Centre de recherche Nestlé.

- ❖ Flourie F., Arab K., Rossary A., Steghens J.P., 2006. A model of OH-mediated in vitro lipid peroxidation : application to the evaluation of four antioxidants. *Immuno-analyse et biologie spécialisée*, 21, 229-233.
- ❖ Fogarty AC, Whitfield FB, Svoronos D, Ford GL (1990). Effect of heat on the fatty acids and aldehydes of meat lipids after heating. *Int J Food Sci Technol*, 25 : 304-12.
- ❖ Folch J., Lees M. & Sloane-Stanley G H. 5. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-509.
- ❖ Frankel E.N., 2005. Lipid oxidation. In the oily press, 470p.
- ❖ Friedman M., 1996. Food browning and its prevention: an overview. *J. Agric. Food Chem.*, 44, 631-653.
- ❖ Gandemer G, (1997). La filière oléagineux, *Corps Gras, Lipides*. Volume 4, Numéro 1, 19-25, Janvier - Février 1997.
- ❖ Gandemer G, 1998. Lipids and meat quality. Lypolysis oxidation and flavour, *Proc.44th,OCO MST,Barcelona*.p 106,119.
- ❖ Gandemer G. 1999. Lipids and meat quality: lipolysis, oxidation, Maillard reaction and flavour. *Science des Aliments*, 19, 439-458.
- ❖ Gandemer G. 1999. *Science des Aliments*, 19 : 439-458.
- ❖ Garcia-Segovia, P., Andres-Bello, A., Martinez-Monzo, J., 2007. *Journal of Food Engineering*, 80, 813-821.
- ❖ Garg A. treatment of diabetic dyslipidemia. *Am. J. Cardiol.*, 1998, 81, 47B-51B.
- ❖ Gatellier P., Mercier Y., Renner M., 2002. Influence de mode de finition (herbe/auge) sur l'oxydation des lipides de la viande de génisse charolaise. Station de recherche sur les viandes, INRA de Theix, 63122 St Genès-Champanelle. Institut charolais, 71120 Charolles.
- ❖ Gatellier P., Santé-Lhoutellier V., Portanguen S. and Kondjoyan A. 2009. *Meat Sci.*, 83, 651-656.
- ❖ Gatellier, p., Yoon, k., Greve, e., Portanguen, s., Kondjoyan, a., Santé-Lhoutellier, v. Effet de la cuisson de la viande sur l'oxydation des protéines, 2008, INRA, UR370 QuaPA, 63122 Saint Genès Champanelle.
- ❖ Geay Y ;Bauchart ;,Hocquette J.F ;Culioli J, (2002).valeur diététique et qualité sensorielle des viandes des ruminants. Incidence de l'alimentation sur les anormaux. *INRA Prod.Anim.* p 15,35-52.

- ❖ Genot, C. (1996) Some factors influencing TBA test. Report of diet-ox project (AIRIII-CT- 92-1577).
- ❖ Gigaud V, Combes S. Les atouts nutritionnels de la viande de lapin : comparaison avec les autres produits carnés 12èmes Journées de la Recherche Cunicole 27-28 novembre 2007, Le Mans, France.
- ❖ Givens (2005). The role of animal nutrition in improving the nutritive value of animal-derived foods in relation to chronic disease . preceding of the nutrition society , 64, 395-402.
- ❖ Gladine C., Rock E., Gruffat D., Bauchart D., Durand D., 2007b. the antioxydative effect of plant extracts rich in polyphenols is tissue specific in rats fed a n-3 PUFA rich diet. Animal Feed Science Technology, 139 (3-4), 257-272.
- ❖ Hadjiat K, 1997. Etude de dégradation des sols en Algérie. Rapport d'expert PNAE, Banque mondiale, 45p.
- ❖ Hallé H (2002), consommation de viande et cancer colorectal chez l'homme : une revue de l'épidémiologie et des mécanismes. Ecole Nationale de Veterinaire de Toulouse. France
- ❖ Harkat, S ., Lafri, M., 2007. Effet des traitements hormonaux sur les paramètres de reproduction chez des brebis «Ouled-Djellal». Courrier du Savoir – N°08, Juin 2007, pp.125-132.
- ❖ Harkati A, 2007. Etude des parametres biologiques intervenant dans l'attendrissage naturel de la viande ovine et leurs relations au facteur type de muscle. Thèse de magister.
- ❖ Hedwing S.C., 2006. Pourquoi la viande a-t-elle si bon gout ?. 7eme symposium : « la viande dans l'alimentation » : viande et gras. kultur-casino, Berne. 43-48.
- ❖ Higgs J.D, (2000). Learner meat : an overviw of the compositionel changes in red meat over the last 20 years and how these have been archieved. Food Science and Technology today.14, 22-26.
- ❖ Howe C.J., Trainer D., Holden J., 2006. The revised USDA Nutrient Data Set for Fresh Pork.
- ❖ Hu F. B., Stampfer M. J., Manson J. E., Aschiero A., Colditz G. A., Speizer F. E., Hennekens C. H., Willet W. C. (1999). Effet de l'age sur la composition lipidique de la viande d'agneau, P 75-76.
- ❖ Hu F.B., Stampfer M.J., Manson J.E, et al- dietary fat intake and the risk of coronary heart disease in women. N.Engl. J. Med., 1997, 337, 1491-1.

- ❖ Hu F.B., Stampfer M.J., Manson J.E, et al- dietary saturated fats and their food sources in relation to the risk of coronary heart disease in women. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1999, 70, 1001-8.
- ❖ Hu F.B., Willet W.C.,- Optimal diets for prevention of coronary heart disease. *JAMA*, 2002, 288, 2569-78.
- ❖ I.T. Kadim, M.R. Al-Ani, R.S. Al-Maqbaly, M.H. Mansour, O. Mahgoub, E.H. Johnson, (2011) "Proximate, amino acid, fatty acid and mineral composition of raw and cooked camel (*Camelus dromedarius*) meat", *British Food Journal*, Vol. 113 Iss: 4, pp.482 – 493.
- ❖ Ishibe N., Sinha R., Hein DW., Kulldorff M., Strickland P., Fretland AJ., Chow WH., Kadlubar FF., Lang NP., Rothman N., 2002. Genetic polymorphisms in heterocyclic amine metabolism and risk of colorectal adenomas. *Pharmacogenetics*, 12, 145-150.
- ❖ Jacques J, agr. et Villeneuve L, 2010. Valorisation des ressources fourragères chez les
- ❖ Jakobson M.U., Overvad K., Dyerberg J., Heitmann BL.,- Intake of ruminant trans fatty acids and risk of coronary heart disease. *Int. J. Epidemiol* ?; 2008, 37, 173-82.
- ❖ Jarrige R, Grennet E, Demarquilly C, Besle J.M. les constituants d'appareil végétatif des plantes fourragères. (1995). Institut National de Recherche Agronomique. Paris, 25-81.
- ❖ Josiane Cillard, 2001. Physiopathologie du Stress Oxydant. Faculté de Pharmacie Université de Rennes. 4eme Symposium International de Nutrition, de Biologie de l'oxygène et de Médecine. •
- ❖ Judd J.T., Clevidence B.A., Muesing R.A., et al.- dietary trans fatty acids : effects on plasma lipids and lipoproteins of healthy men and women. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1994, 59, 861-8.
- ❖ Kanoun A, Kanoun M, Yakhlef H, Cherfaoui MA: Pastoralisme en Algérie : Systèmes d'élevage et stratégies d'adaptation des éleveurs ovins. *Renc. Rech. Ruminants*, 2007,
- ❖ Khaldoun A., 1995.- *Les mutations récentes de la région steppique d'El Aricha*. Réseau Parcours, 59-54.
- ❖ Kim E.K., 1989. Contribution à la croissance de la fraction lipidique du muscle chez le poulet. Thèse de doctorat. Université de Nantes., 14, 17-25, 95.
- ❖ Kinsma, Kotula, Breidenstein. *Muscle food*. Chapman et Hall, 1994, 430-455.
- ❖ Kjeldahl, J.T. (1883), *Z. Anal Chem.*, 22: 366. Commission Canadienne des Grains.
- ❖ Kojima M.1998. *Jap. J. Nutr. Fd. Sci.*, 51: 94-100.

- ❖ Kondjoyan A (2008). La cuisson des viandes et produits carnes et le couplage avec les réactions à l'origine de la qualité. UR370 Qualité des Produits Animaux, INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle.
- ❖ Kondjoyan A., Peyron A., 2006. Comment modéliser la cuisson de la viande. 11^{ème} JSMTV. Clermont Fd., 247p.
- ❖ KONG Z.L., SHINOHARA K., MITSUKI M., MURRAKAMI H., OMURA H., 1989. Desmutagenicity of furan compounds towards some mutagens. *Agric. Biol. Chem.*, 53, 2073-2079.
- ❖ Kouba M., Enser M., Whittington F.M., Nute G.R., Wood J.D., 2002. Effet d'un régime riche en acide linoléique sur les activités d'enzymes lipogéniques, la composition en acides gras et la qualité de la viande chez le porc en croissance. 9^{ème} journée des sciences des muscles et technologies de la viande. 15-16/10/2002., Clermont Ferrand.
- ❖ Kris-Etherton P.M. AHA science advisory. Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease. American heart association. Nutrition committee. *Circulation*, 1999. 100, 1253-8.
- ❖ Kris-Etherton P.M., Yu S.- Individual fatty acid effects on plasma lipids and lipoproteins : human studies. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1997, 65, 1628S-44S.
- ❖ Kristensen N.B., 2005. Splanchnic metabolism of volatile fatty acids in the dairy cow. *Anim. Sci.* 80, 3-10.
- ❖ Kubow S., 1992. Routes of formation and toxic consequences of lipid oxidation-products in foods. *Free radic biol Med*, 12 (1), 63-81.
- ❖ Kurien B.T., Scofield R.H., 2007. Curcumin/Turmeric solubilized in sodium hydroxide inhibits Hne protein modification- an in vitro study. *J Ethnopharmacol*, 110 (2), 368-373.
- ❖ Lafri. M, 2006. Les races ovines algériennes : état de la recherche et perspectives. *Recueil des Journées Vétérinaires de Blida*, vol 4.
- ❖ Lawrie R.A., 1985, *Meat Sci.* Pergamon Press, Oxford.
- ❖ Lawrie, R. A. (1998). *Lawrie's Meat Science*, 6th Ed. Suffolk: Edmundsbury Press.
- ❖ LE HOUEROU H.N., 2000.- Utilisation of fodder trees and shrubs in the arid and semi-arid zones of West Asia and North Africa. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. 14: 101-135
- ❖ Lee K, Clydesdale FM (1981) Effect of thermal processing on endogenous and added iron in canned spinach. *J Food Sci* 46: 1064-1067.

- ❖ Lefevre G., Beljean-Leymarie M., Beyerel F., Bonnefont—Rousselot D., Cristol J.P., Therond P., Torreilles J., 1998. Evaluation of lipid peroxydation by assaying the thiobarbituric acid-reactive substances. *Ann Biol Clin (paris)*, 56 (3), 305-319.
- ❖ Lehouerou H.N, 1980. Les fourrages ligneux en afrique : etat actuel des connaissances , centre international pour l'élevage en afrique, Addis-Abéba, colloque du 8-12 Avril 1973.
- ❖ Linseise J., Kesse E, Slimani N., (2002). Meat consumption in the european prospective investigation into cancer and nutrition (EPIC) cohorts : result from 24 hour dietary recalls . *public health nutrition*, 5. 245-251.
- ❖ Lirette, A., Seoane, J.R., Minvielle, F. et Froehlich, D. (1984). Effects of breed and castration on conformation, classification, tissue distribution composition and quality of lamb carcasses. *J. Anim. Sci.*, 58, 6, 1343- 1357.
- ❖ Lombardi-Borcia G., Martinez-Dominiguez B., Aguzzi A.,-Total heme and non-heme iron in raw and cooked meat. *J. Food Sci.*, 2002, 67, 1738-41.
- ❖ Luis Cuq. Qualite de nos aliments et technologie in dupin h., cuq j. l., malewiak m.i., leynaud-rouaud c. alimentation et nutrition humaine. esf. paris, 1992 :1236-64p (1533).
- ❖ Lynch M.P., Faustman C , Silbart L. K., Rood D., Furr H. C, 2001. Detection of lipid-derived aldehydes and aldehyde : proteine adducts in vitro and in beef. *Journal of food Science*, 66 (8), 1093-1099.
- ❖ Martens, H., Stabursvik, E. & Martens, M. 1982. Texture and colour changes in meat during cooking related to thermal denaturation of muscle proteins. *Journal of Texture Studies* 13, 291-309.
- ❖ Mazouz M., 2011. Pastoralisme de steppe en Algérie : etude systémique et valorisation des ressources fourragères locales. Thèse de magister. Université de Mostaganem.
- ❖ McCrae, Paul. Rate of heating as it affects the solubilization of beef muscle
- ❖ Mensink R.P ; Katan M.B., effect of dietary fatty acids on serum lipids and lipoproteins . a meta-analysis of 27 trials. *Arterioscler. Thromb.*, 1992. 12, 911-9.
- ❖ Micol D. B. Picard, I Ortigues-Marty., 2012. Viandes bovines de montagne produites à base d'herbe. INRA-URH, 63122 Saint Genès Champanelle
- ❖ Micol, P. Berge, D. Dozias, J. Lepetit, G. Liénard, B. Picard, M. Renerre, J. Robelin, C. Touraille and Y. Geay, 1992. Effect of pregnancy and calving on muscle

characteristics in cattle. 38th International Congress of Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand.

- ❖ Mikami M., Whitng A .H ., Taylor A. J., Maciewicz R. A., Etherington D .J., 1987. Degradation of myofibrils from rabbit, chicken and beef by cathepsine L and lysosomal lysates. In : les calpaines musculaires Fernandez E .memoire de l' ecole pratique des hautes etudes.
- ❖ Mohammedi Halima, Labani Abderrahmane et Benabdeli Khéloufi, 2006. « Essai sur le rôle d'une espèce végétale rustique pour un développement durable de la steppe algérienne », Développement durable et territoires.
- ❖ Montchaussé G, 1972. La steppe Algérienne : cadre d'interactions entre l'homme et son milieu P55-56.
- ❖ Moonen HJ., Briede JJ., Van Maane JM., Kleinjans JC, De kok TM, 2002. Generation of free radicals and induction of DNA adducts by activation of heterocyclic amines via different metabolic pathways in vitro. *Mol. Carcinog.*, 35, 196-203.
- ❖ Morisson W., Smith M.L., 1964. Transmethylation des lipides par chromatographie en phase gaz. *Lipid* 5., 600-608.
- ❖ Morris G.J.Jr. (1996) Current trends in human diseases associated with foods of animal origin. *JAVMA* 12:2045-2047.
- ❖ Mourot J., Guillevic M., Mounier A., Kerhoas N., Weill P. ; 2006. Effet de la cuisson ou de la transformation sur la teneur en acides gras n-3 de quelques produits animaux. 11ème JSMTV. Clermont Fd. 99-100p.
- ❖ Mozaffarian D., Katan M.B., Asgerio A., Stampfer M.J., Willet W.C.- Trans fatty acids and cardiovascular disease. *N.Engl. J. Med.*, 2006, 354, 1601-13.
- ❖ Mulvihill B. 2001. Ruminant meat as a source of conjugated linoleic acid (CLA). *Nutrition Bulletin*, 26 (4), 295-299.
- ❖ Munasinghe D. M. S., Ichimaru K.I., Ryuno M., Ueki N., Matsui T., Sugamoto K., Kawahara S., Sakai T., 2003b. lipid peroxidation-derived hepatotoxic aldehydes, 4-hydroxy-2^e-Hexanal in smoked fish meat products. *Fisheries Science*, 71 (2), 462-464.
- ❖ Nagao M., Fujita Y., Wakabayashi K., Nukaya H., Kosuge T., Sugimura T., 1986. Mutagens in coffee and other beverages. *Environ. Health Perspect.*, 67, 89-91.
- ❖ Nagao M., Yahagi T., Kawachi T., Seino Y., Honda M., Matsukura N., Sugimura T., Wakabayashi K., Tsuji K., Kosuge T., 1977. Progress in genetic toxicology. Elsevier/ North Holland, 259-264.

- ❖ Nedjraoui D, 2001. Contry pasture forage resource profiles Algeria. FAO.org. Algérie.
- ❖ Nedjraoui D et Bédrani S, 2008. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *vertigo.revues*. Volume 8 Numéro 1.
- ❖ Ngah E, Genot C, Meynier A, Viau M, Gandemer G (1993). Phospholipid oxidation in Turkey precooked meat. 39th Int. Congress Meat Sci Technol, proceeding on disks, 5, August 1-8, Calgary - Canada.
- ❖ NikmaramP, Mohamad Said Yarmand and Zahra Emamjomeh., 2011. Effect of cooking methods on chemical composition, quality and cook loss of camel muscle (*Longissimus dorsi*) in comparison with veal. *African Journal of Biotechnology* Vol. 10(51), pp. 10478-10483
- ❖ Normand J., 2008. Technique de traitement de la graine qui est mise sous pression afin de la broyer très finement. Institut de l'élevage et Laurence Sagot, Ciirpo/Institut de l'élevage.
- ❖ Nuernberg, K., A. Fischer, G. Nuernberg, K. Ender et D. Dannenberger. 2008. Meat quality and fatty acid composition of lipids in muscle and fatty tissue of Skudde lambs fed grass versus concentrate. *Small. Ruminant. Res.* 74: 279-283.
- ❖ Okuyama et Ikemoto 1999 : Geay Y., Bauchart D., Hocquette J-F., Culioli J, (2002). Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. *INRA Prod. Anim.*, 15, 37-52.
- ❖ Papageorgiou G., Botsoglou N., Govaris A., Giannenas I., Iliadis S., Botsoglou E., 2003. Effect of dietary oregano oil and alpha-tocopherol acetate supplementation on iron-induced lipid oxidation of Turkey Breast, thigh, Liver and heart tissues. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 87 (9-10), 324-335.
- ❖ Pariza M. W. 2004. Perspective on the safety and effectiveness of conjugated linoleic acid. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79, 1132S-1136S.
- ❖ Picgirard.L, 2010. Cuisson industrielle des viandes : Mécanismes et contraintes. *Revue bimestrielle fondée par l'Association pour le Développement de l'Institut de la Viande (ADIV) ISSN : 0241.0389.*
- ❖ Pierre F. ; Peiro G., Tache S., CrossA.,J., Bingham S.A., Gasc, Gottardi G., Corpet D.E., Gueraud F., 2006. New marker of colon cancer risk associated with herme intake : 1,4-Dihydroxynonane marcapturic acid. *Cancer ans Epidemiology Biomarkers and prevention*, 15 (11), 2274-2279.

- ❖ Poli G., Shaur R.J., Siems W.G., Leonarduzzi G, 2008. 4-hydroxynonenal : a membrane lipid oxidation products of medicinal interest. *Med Res Rev*, 28 (4), 569-631.
- ❖ Pontanier R., 1982. Perturbations anthropiques et aridification en zone présaharienne.
- ❖ Posati L.P, 1979. Composition of foods : poultry raw-processed-prepared. ; 41-71.
- ❖ Prache, S., Aurousseau, B., Theriez, M., Rennerre, M., 1990. Les défauts de couleur du tissu adipeux sous-cutané des carcasses d'ovins. *INRA Prod. Anim.* 3, 275-285.
- ❖ Pre J., 1991. Lipid peroxydation . *pathol Biol (Paris)*, 39 (7), 716-736.
- ❖ Promeprat A., Gatellier P., Leuret B., Kajak-Siemaszko., Aubry L., Santé-Lhoutellier V., 2010. *Food Chem.*, 121, 412-417 properties of ram lamb carcasses from four fat-tailed genotypes. *Small Rum. Res.*, 39, 99-105.
- ❖ Prusa K.J., and Lonergan M.M., 1987. Cholesterol content of broiler breast filets heated with and without the skin in convection and conventional ovens. *Poultry Science.*, 66 : 990-994.
- ❖ Rabot C., 1998. Vitesse de croissance et caractéristiques lipidiques et sensorielles des muscles de poulet. Thèse de doctorat de l'Institut National Agronomique de Paris Grignon., 168.
- ❖ Remond D et al. – Propriétés nutritionnelles des peptides et protéines de la viande : impact des procédés de transformation. 12èmes Journées « Sciences du muscle et technologies des Viandes » 8 et 9 octobre 2008 à Tours, Hors Série Viandes & Produits carnés, 2008.
- ❖ Richard H., Giampaoli P., Morillon V., Bocco A., Philip M., Sionneau D., 1997 Flaveurs et traitements thermiques. Actes des 15èmes Journées Internationales Huiles Essentielles. *Rivista Italiana A.P.P.O.S.*, numéro spécial, 140-164.
- ❖ robbana-barnat S., Rabache M., Rialland E., Fradin J., 1996. Heterocyclic amines : occurrence and prevention in cooked food. *Environ. Health Perspect.*, 104, 280-288.
- ❖ Rondia P (1), Ch. Delmotte (2), F. Dehareng (3), D. Maene (3), J-F. Toussaint (4), N. BArtiaux-Thill (1), 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. *Renc. Rech. Ruminants*, 2003, 10
- ❖ Russel R/W., Gahr S.A. 2000. Glucose availability and associated metabolism. *Farm animal metabolism and nutrition. CABI publishing Oxon*, 121-147..

- ❖ S. Prache¹, J. Ballet², R. Jailler¹, K. Meteau³, B. Picard¹, M. Renerre⁴, D. Bauchart¹, 2009. Comparaison des qualités de la viande et de la carcasse d'agneaux produits en élevage biologique ou conventionnel. *Innovations Agronomiques* (2009) 4, 289-296
- ❖ Santé-Lhoutellier V., Astruc T., Marinova P., Grève E., Gatellier, P., 2008. *J. Agric. Food Chem.*, 56 1788-1494.
- ❖ Santé-Lhoutellier V., Aubry L., Gatellier P., 2007. *J. Agric. Food Chem.*, 55, 5343-5348
- ❖ Santos-Silva, J., R.J.B. Bessa et F. Santos-Silva. 2002. Effect of genotype, feeding and slaughter weight on quality of light of lambs II. fatty acid composition of meat. *Lives. Prod. Sci.*: 197-194.
- ❖ Sanudo, C., Sanchez, A. et Alfonso, M. 1998. Small ruminant production systems and factors affecting lamb meat quality. *Meat Sci.* 49: s29-s64.
- ❖ Shinohara K., Kim E., Omura H., 1986. Furans as the mutagens formed by amino-carbonyl reactions. Fujimaki M., Namiki M., Kato H., Ed., Kodansha Ltd, Tokyo, 353-362. slaughtered at different weights. *Meat Sci.*, 65, 1247-1255.
- ❖ Société Française de Nutrition 2008. Cahiers de nutrition et de diététique ISSN 0007-9960. 2S1-2S62.
- ❖ Soucheyre V (2008). Teneur et biodisponibilité du fer héminique et non héminique dans la viande et les abats de bœuf : influence de la conservation et de la cuisson.
- ❖ Stadelman W.J., 1978. Some factors influencing- tenderness, flavour and nutritive value of chickens. *Food Technology.*, 32, 80-82.
- ❖ Stadelman W.J., 1978. Some factors influencing- tenderness, flavour and nutritive value of chickens. *Food Technology.*, 32, 80-82.
- ❖ Surh J., Kwon H., 2005. Estimation of daily exposure to 4-hydroxy(2-Alkenals in Korean foods containing N-3 and N-6 polyunsaturated fatty acids. *Food Addit Contam.*, 22 (8), 701-708.
- ❖ Tajima T., Ito T., Arakawa N., Parrish JR F.C., 2001. *J. Food Sci.*, 66, 223-237
- ❖ Tomé D. - Qualité nutritionnelle des protéines de la viande. *Cah. Nut. Diét.*, 2008, 43, hors-série 1, 1S40-1S45.
- ❖ Tressl R., Rewicki D., 1999 Heat generated flavors and precursors In *Flavor Chemistry. Thirsty years of progress*, Teranishi R., Wick E.L. et Horstein I. (Ed.), Kluwer Academic/Plenum Publishers, New-York, Chapter 26, 305-325
- ❖ Turner T., Lundström K., Pickova J., 2007. Influence of hempseed cake on lipid fractions in bovine M. *Longissimus Dorsi* of fresh and cooked tissue. *Proceedings of*

the 53rd International Congress of Meat Science and Technology, Beijing, China. Pp. 355-356.

- ❖ Uchida.K., 2003. 4-hydroxy-2-nonenal : a product and mediator of oxidative stress. *Prog Lipid Res*, 42 (4), 318-343.
- ❖ Ulbricht, T. L. V., and Southgate, D. A. T. 1991. Coronary heart disease: Seven dietary factors. *Lancet* 338: 985–992.
- ❖ Vasta, V., A. Priolo, M. Scerra, K.G. Hallett, J.D. Wood et O. Doran. 2009. Delta 9 desaturase protein expression and fatty acid composition of longissimus dorsi muscle in lambs fed green herbage or concentrate with or without added tannins. *Meat. Sci.* 82: 357-364.
- ❖ Vautier A, Martine Carlier, Jean-Luc Martin, Eric Gault, Jean-Luc Vendevre., 2010. Impact de la cuisson et de la température à cœur sur les valeurs nutritionnelles du rôti filet de porc. *Journées Recherche Porcine*, 225, IFIP-Institut du porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu Cedex
- ❖ Velasco, S., V. Caneque, C. Pérez, S. Lauzurica, M.T. Diaz, F. Huidobro, C. Manzanares et J. Gonzalez. 2001. Fatty acid composition of adipose depots of suckling lambs raised under different production systems. *Meat. Sci.* 59: 325-333.
- ❖ Wattanachant S., Benjakul S., Ledward D.A., 2005. *Food Chem.*, 93, 337-348
- ❖ WEISBURGER JH., 2002. Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health. *Mutat. Res.*, 506, 9-20.
- ❖ Williams, P.G, Nutritional composition of red meat, *Nutrition & Dietetics*, 2007, 64(Suppl 4), .S113-S119.
- ❖ Williamson C.S., Foster R.K., Stanner S.A., Buttriss J.L., (2005). Rev : Red meat in the diet. *British Nutrition Foundation*. 30, 323-355.
- ❖ Winterbourn C., 2008. Reconciling the chemistry and biology of reactive oxygen species. *Nature Chemical Biology*.
- ❖ Wong J.W., Shibamoto T., 1996. Genotoxicity of Maillard reaction products. In *The Maillard reaction : consequences for the chemical and life sciences*. Ikan R., Ed., John Wiley & Sons Ltd, 129-159.
- ❖ Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R., Richardson R.I., Sheard P.R. (1999). Manipulating meat quality and composition, *porc. Nutr.Soc.* 58, 363-370.
- ❖ YEN G.C., LAI Y.H., 1987. Influence of antioxidant on MAILLARD browning reaction in a caseine model system. *J. Food Sci.*, 52, 1115-1116.

- ❖ Yerro H., 1998. Essai de caractérisation des systèmes d'élevage ovins en zone steppique, cas de la commune de Maamora. Thèse de magister INA, 1998. Alger.
- ❖ Yongsawatdigul J and Patk J.W., 2003. Food Chem., 83, 409-416.
- ❖ Young J.F., Rosenvold K., Stagsted J., Nielsen J.H., Anderson H.J., 2005. Significance of vitamine E supplementation, dietary content of polyunsaturated fatty acids, and preslaughter stress on oxydative status in pig as reflected in cell integrity and antioxydative enzyme activities in porcine muscle. J Agric Food Chem, 53 (3), 745-749.
- ❖ Young J.F., Stagsted J., Jensen S.K., Karlsson A.H., Henkel P., 2003a. ascorbic acid, alpha-tocopherol, and oregano supplements reduce stress-induced deterioration of chicken meat quality. Poult Sci, 82 (8), 1343-1351.
- ❖ Zanardi E., Jagersma C.G., Ghidini S., Chizzolini R, 2002. Solid phase extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the evaluation of 4-hydroxy-2-ninenal in porks products. J Agric Food Chem, 50 (19), 5268-5272.
- ❖ Ziad A., 2006. Un espace de nomade et d'élevage ovins. Le quotidien : la tribune (Alger). 13 Mars 2006.