

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS – MOSTAGANEM



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Sciences et Technologies Alimentaires

THÈSE

PRESENTEE POUR L'OBTENTION DE DIPLOME DE
DOCTORAT 3^{ème} cycle LMD

Par
M^{elle} KHAOUCHENE Asma

THÈME

Effets du Stress Avant Abattage sur les Qualités Nutritionnelles de la Viande de Poulet de Chair nourri avec des Régimes riches en Acides Gras Insaturés Additionnés d'Antioxydants Naturels

Soutenu publiquement le : 30/10/2017

Membres de Jury

M. SELSELET-ATTOU	Ghalem	Pr	Président	Univ. Mostaganem
M. BELAHCEN	Miloud	Pr	Examineur	Centre Univ. A.-Témouchent
M. BEKADA	Ahmed. M. Ali	Pr	Examineur	Centre Univ. Tissemsilet
M. HALBOUCHE	Miloud	Pr	Examineur	Univ. Mostaganem
M. AIT SAADA	Djamel	MCA	Examineur	Univ. Mostaganem
M. BOUDEROUA	Kaddour	Pr	Directeur de thèse	Univ. Mostaganem

Laboratoire de technologie alimentaire et nutrition
Année universitaire 2017/2018

Remerciements

Ce travail a été effectué conjointement au Laboratoire Technologie Alimentaire et Nutrition à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Algérie, et l'unité mixte de recherches sur l'alimentation humaine et animale Laboratoire du métabolisme des lipides St Gilles INRA de Rennes, France.

Je tiens particulièrement à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de thèse Monsieur **Bouderoua. K**, Professeur et directeur du laboratoire de technologie alimentaire et nutrition, Université de Mostaganem. Je tiens ici à le remercier pour sa très grande disponibilité et son soutien, sans ses orientations, ses conseils judicieux et les encouragements qu'il n'a cessé de me prodiguer tout au long de mon travail cette thèse n'aurait pas vue le jour. Je le remercie de m'avoir fait bénéficier de son expérience ainsi que de son enthousiasme pour la recherche.

Je tiens à formuler ma profonde reconnaissance et mes remerciements les plus sincères à Monsieur **Mourot. J**, Directeur de recherches et responsable du laboratoire des lipides à PEGASE St Gille l'INRA (Rennes, France), pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire et m'avoir aidé, conseillé et consacré de son temps.

Mes remerciements s'adressent à Monsieur **Selselet-Attou. G**, Professeur à l'université de Mostaganem, pour avoir accepté de présider ce jury. Qu'il trouve ici toute ma gratitude.

Je remercie Monsieur **Belahcen. M**, Professeur au Centre Universitaire de Ain Témouchent de m'avoir fait l'honneur en acceptant de juger mon travail, je lui adresse mes sincères remerciements.

J'adresse mes sincères et profonds remerciements à Monsieur **Bekada. A**, Professeur au Centre Universitaire de Tisssilet d'avoir bien voulu évaluer ce travail et de faire partie de mon jury.

Je tiens à remercier Monsieur **Halbouche. M**, Professeur à l'Université de Mostaganem pour l'honneur qu'il me fait en acceptant d'examiner ce travail. Je lui exprime ici mes sincères respects.

Mes profonds remerciements vont également Monsieur **Ait Saada. D**, Maître de Conférences à l'Université de Mostaganem tout d'abord d'avoir participé à ma formation et ensuite de m'avoir fait l'honneur de faire partie de mon jury.

Mes vifs remerciements vont également à Monsieur **El Afffi. M**, Maître de Conférences à l'Université de Tlemcen, à Monsieur **Kridech. A**, Directeur technique et commercial à l'ORAVIO Mostaganem, et à Monsieur **Kaddam. R**, Maître de Conférences à l'Université de Mostaganem pour leur aide, encouragement et disponibilité tout au long de notre expérimentation. Je les remercie profondément.

Mes sincères remerciements vont aussi au personnel du laboratoire de biochimie et métabolisme des lipides à l'INRA de St Gilles et tout particulièrement à **Robin Gwennola**, et **Perrier Cécile**, je voudrais vous dire un grand merci pour votre aide précieuse.

Je voudrais également remercier Madame **Attou Nesrine** pour m'avoir initié aux techniques de dosage des polyphénols et des flavonoïdes et surtout pour sa gentillesse, sa disponibilité et son aide très précieuse.

Je tiens à remercier Madame **Fatima Belkabir**, Technicienne du laboratoire de Technologie alimentaire et Nutrition pour son aide, son soutien, son écoute et sa disponibilité.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur **Nabil Berrahal**, Technicien au sein du laboratoire de Protection des végétaux pour son aide, sa gentillesse et sa disponibilité.

Une pensée particulière s'adresse à mes amis et collègues, **Bendif Lamia**, **Berber Nadia**, **Bouderoua Yousra**, **Berighi Nabila**, **Latroch Mohammed** et **Belabess Mohamed** qui m'ont toujours soutenu et aidé à avancer lors de ces quatre années. Un grand merci pour votre présence constante et amicale, votre soutien moral, votre bonne humeur permanente et votre oreille attentive.

Je souhaite remercier **Barkane Fathia** et **Allahi Nadjjet** pour leur participation et contribution à ce travail.

Je remercie également tout le personnel de l'atelier d'élevage de Hassi Mamèche.

Un très grand merci à mes parents, mes frères et sœurs pour tout ce qu'ils m'apportent et notamment pour leur confiance, leur soutien, leur aide, leur patience, leur compréhension...

Je voudrais adresser mes hommages respectueux à tous les enseignants, qui m'ont dispensé des cours et prodigué des conseils durant ma formation.

Un grand merci à toutes les personnes ayant de près ou de loin participé au bon déroulement de ce travail de recherche....

Dédicaces

Je voudrais dédier ce travail :

A mes très chers parents

Pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation. Vous m'avez appris à me battre jusqu'au bout pour réussir, je n'ai été guidée jusqu'à présent que par le désir de vous honorer. Que dieu vous garde pour moi !

A la mémoire de mes grands-parents maternels

Vous resterez à jamais présents dans mon cœur. Que le paradis soit votre demeure éternelle!

A ma grand-mère paternelle

A mes chers frères et sœurs

A tous les membres de ma famille

A mes amis (es) et à tous ceux qui me sont chers

A tous ceux qui de près ou de loin m'ont apporté leur encouragement et leur soutien

Asma

Valorisation des travaux

Ce travail a fait l'objet de publications et communications nationales et internationales suivantes :

- **Asma Khaouchene^{1*}, Kaddour Boudroua¹, and Jacques Mourot².** Effects of Dietary Canola Seed with Rosemary Supplementation on Growth Performance, Lipid Oxidation and Meat Fatty Acid Composition of Broilers. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*. 11 (12) : 815-823, (2016).

Communications Nationales

- **Asma Khaouchene, Kaddour Boudroua, et Jacques Mourot.** Effets d'une alimentation additionnée de la graine de colza et des feuilles du romarin sur les performances de croissance, la composition en acides gras et la stabilité oxydative de la viande de la cuisse de poulet de chair. VI^{ème} Journées Scientifiques de la faculté des sciences de la nature et de la vie (Mostaganem, les 27 et 28 Avril 2016).
- **Asma Khaouchene, Kaddour Boudroua, et Jacques Mourot.** Effets du transport sur la qualité technologique de la viande de poulet de chair nourri avec un régime enrichi en acides gras polyinsaturés et additionné des feuilles d'olivier. VII^{ème} Journées Scientifiques de la faculté des sciences de la nature et de la vie (Mostaganem, les 26 et 27 Avril 2017).

Communications Internationales

- **Asma Khaouchene, Kaddour Boudroua, et Jacques Mourot.** Effets du transport avant abattage sur le profil en acides gras de la viande de poulet de chair nourri avec une alimentation additionnée de la graine de colza. *Journées Francophones de la Nutrition* (2016). Livre des résumés P041, p.165.
- **Asma Khaouchene, Kaddour Boudroua, et Jacques Mourot.** Effets du transport avant abattage sur la peroxydation lipidique de la viande de poulet de chair nourri avec un régime additionné des feuilles d'olivier. 28^{ème} Forum des Sciences Biologiques et de Biotechnologie (21-24 Mars 2017), Hammamet. Organisé par l'Association Tunisienne des Sciences Biologiques.

Liste des Abréviations

ACTH	Adrénocorticotropine
AG	Acides gras
ALA	Alpha linolénique acid
AGS	Acides gras saturés
AGPI	Acides gras polyinsaturés
BHT	Butylhydroxytoluène
BHA	Butylhydroxyanisole
CBG	Corticosteroid Binding Globulin
CETIOM	Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains
CK	Créatine kinase
CPG	Chromatographie gazeuse
Cs	Corticostérone
CRF	Corticotropin releasing factor
DFD	Dark Firm and Dry
DHA	Died on arrivage
DOA	Acide docosahexaénoïque
EAG	Equivalent acide gallique
EM	Enzyme malique
EM	Energie métabolisable
EPA	Acide écosapentaénoïque
ERO	Espèces réactives oxygénées
EQ	Equivalent quercétine
FO	Feuilles d'olivier
G6PDH	Glucose-6-phosphate déshydrogénase
GP	Gain de poids
G6P	Glucose-6-phosphate
GSH	Gluthation
GST	Glutathion transférase

H ₂ O ₂	Peroxyde d'hydrogène
HHE	4-hydroxy-hexénal
HHN	4-HNE 4-hydroxy-nonénal
HO°	Radical hydroxyle
IC	Indice de consommation
LA	Acide linoléique
LDH	Lactate déshydrogénase
LT	Lipides totaux
MDA	Malondialdéhyde
MM	Matière minérale
MS	Matière sèche
n3 ou ω3	Acides gras oméga 3
n6 ou ω6	Acides gras oméga 6
O ₂ ^{o-}	Anion superoxyde
¹ O ₂	Oxygène singulet
pHu	Potential d'hydrogène ultime
PV	Poids vif
PVA	Poids vif à l'abattage
SOD	Superoxide dismutase
Se	Sélénium
TBA	Acide thiobarbituric
TBARS	Thiobarbituric acid reactive substances
TCA	Acide trichloroacétique
QI	Quantité ingérée
USDA	United States Department of Agriculture
vit C	Vitamine C
vit E	Vitamine E
vs.	Versus

Liste des figures

Figure 1: Schéma décrivant le processus de l'oxydation des lipides	7
Figure 2: Principaux indicateurs de réponses au stress intervenant au niveau du système nerveux orthosympatique et de l'axe corticotrope.....	19
Figure 3: Mécanismes par lesquels le stress modifie l'évolution biochimique <i>post mortem</i>	20
Figure 4: Plante et graines de colza	28
Figure 5: Proportions des différents composés de la graine de colza	29
Figure 6: Enclos d'élevage des poussins	37
Figure 7: Pesée d'un poussin.....	37
Figure 8: Pesée d'un poulet.....	37
Figure 9: Evolution du poids vif des poulets de chair.	49
Figure 10: Evolution du gain de poids des poulets de chair.	50
Figure 11: Quantité d'aliment ingérée des poulets de chair.	52
Figure 12: Evolution de l'indice de consommation.	53
Figure 13: Teneur en % C18 :3, n-3, AGS et AGPI de la viande de poulet de chair ..	57
Figure 14: Rapports LA/ALA, n-6 : n-3 et AGPI : AGS de la viande de poulet de chair.....	57
Figure 15: Concentrations du MDA dans la viande de poulet de chair en fonction des régimes.	58
Figure 16: Evolution du poids vif des poulets de chair.	77
Figure 17: Evolution du gain de poids des poulets de chair.	78
Figure 18: Quantité d'aliment ingérée des poulets de chair.	79
Figure 19: Variations de l'indice de consommation.....	80
Figure 20: Variations de poids vif à l'abattage des poulets.....	81
Figure 21: Effets du transport avant abattage sur les variations des concentrations du glucose sérique exprimées en mg/dl.	83
Figure 22: Effets du transport avant abattage sur les variations des concentrations de la LDH des poulets exprimées en UI/L.....	85
Figure 23: Effets du transport avant abattage sur les variations des concentrations de la CK des poulets exprimées en UI/L.	85
Figure 24: Effets du transport avant abattage sur la proportion des AGS de muscle de la cuisse.	90
Figure 25: Effets du transport avant abattage sur la proportion des AGPI de muscle de la cuisse.	90
Figure 26: Effets du transport avant abattage sur le rapport AGPI : AGS de muscle de la cuisse.	92

Figure 27: Effets du transport avant abattage et la supplémentation alimentaire en vit E et feuilles d'olivier sur la peroxydation lipidique de la viande de muscle de la cuisse93

Liste des tableaux

Tableau 1: Production mondiale de la graine de colza.....	29
Tableau 2: Composition de la graine de colza en acides gras	30
Tableau 3: Effets biologiques des glucosinolates sur les volailles	30
Tableau 4: Différents produits vétérinaires administrés aux animaux pendant la période d'élevage	38
Tableau 5: Composition chimique des aliments	40
Tableau 6: Dispositif expérimental	41
Tableau 7: Barèmes de notations des critères d'appréciation de la qualité de la viande	46
Tableau 8: Taux de polyphénols et flavonoïdes des feuilles du romarin	48
Tableau 9: Evolution hebdomadaire des poids vifs des poulets de chair	49
Tableau 10: Gain de poids des poulets de chair	50
Tableau 11: Evolution de la quantité d'aliment ingérée.....	51
Tableau 12: Evolution de l'indice de consommation.....	52
Tableau 13: Paramètres pondéraux des carcasses	54
Tableau 14: Teneurs en MS, MM et en humidité	54
Tableau 15: Teneur en lipides et composition en acides gras du muscle <i>Sartorius</i> (en % des AG totaux).....	56
Tableau 16: Concentrations du MDA dans la viande de muscle de la cuisse	58
Tableau 17: Activités des enzymes hépatiques de la lipogenèse en fonction du régime	59
Tableau 18: Evaluation sensorielle de la qualité de la viande de poulet de chair	59
Tableau 19: Traitement prophylactique pendant la période d'élevage	69
Tableau 20: Dispositif expérimental	71
Tableau 21: Concentrations en polyphénols et flavonoïdes des feuilles d'olivier	76
Tableau 22: Evolution du poids vif des poulets	76
Tableau 23: Gain de poids des poulets	77
Tableau 24: Quantité d'aliment ingérée	78
Tableau 25: Variations de l'indice de consommation	79
Tableau 26: Paramètres pondéraux de carcasses	82
Tableau 27: Paramètres sériques mesurés	84
Tableau 28: Teneurs en MS, MM et en humidité	86
Tableau 29 : Valeurs de pH ultime et paramètres de couleur de la viande de la cuisse	88
Tableau 30 : Concentrations en vitamine E de la viande de la cuisse.....	88
Tableau 31: Teneurs en lipides et profil en acides gras du muscle <i>Sartorius</i> de la cuisse (en % des AG totaux)	91
Tableau 32: Concentrations du MDA dans la viande de muscle de la cuisse	94

Résumé

En nutrition, augmenter les teneurs des acides gras polyinsaturés (AGPI) dans la viande est un objectif primordial des nutritionnistes. Mais le souci majeur que pose cet enrichissement est la grande susceptibilité de ces AGPI à la peroxydation, pendant le stockage de la viande ou si elle est issue d'un animal ayant subi un stress avant son abattage comme celui du transport, et donc le recours à l'utilisation d'antioxydants naturels s'avère nécessaire pour limiter la lipoperoxydation des viandes. L'objectif de la première étude est d'évaluer l'impact d'un régime additionné de la graine de colza et supplémenté en vitamine C ou feuilles du romarin sur les performances de croissance, la composition en acides gras et la peroxydation lipidique de la viande de la cuisse pendant le stockage à 4°C. L'expérimentation avait lieu pendant la période d'avril-Juin 2014, et elle a concernée 220 poussins de la souche ISA F15 qui ont été répartis en deux groupes et nourris avec deux régimes différents (aliment standard (T) et celui additionné de 5% de la graine de colza "00" (GC)). Pendant la phase de finition, le groupe (GC) a été divisé en deux sous groupes dont l'aliment a été supplémenté soit par 200 mg/kg de vit C (GCC) ou de 10 g/kg de feuilles du romarin (GCR). Nous avons montré que l'incorporation de 5% de la graine de colza dans l'aliment augmente de plus de deux fois ($p<0,05$) la proportion des AGPI n-3 dans la viande de la cuisse, mais elle affecte négativement ($p<0,05$) la performance des poulets. Cependant, le retard de croissance observé en début d'élevage est rattrapé en fin de phase de finition (J56) par la supplémentation du deuxième régime par 200mg/kg de vit C et 10g/kg de feuilles du romarin. Les concentrations du Malondialdéhyde (MDA) augmentent davantage ($p<0,05$) pour le groupe T par rapport aux deux autres groupes (GCC et GCR) au cours du stockage à 4°C, ainsi la dose de 10g/kg du romarin présentait un effet antioxydant supérieur à celui de 200mg/kg de vit C. L'objectif visé de la deuxième expérience est d'étudier les effets des réponses au stress lié au transport sur la glycémie et les activités de la lactate déshydrogénase (LDH) et de la créatine kinase (CK) sériques de poulet de chair, la composition en acides gras et les différents indicateurs de qualité de la viande (pH, couleur, concentration du MDA), et améliorer la stabilité oxydative de la viande par la supplémentation alimentaire en vitamine E et feuilles d'olivier. L'essai a été effectué pendant la période Avril-Mai 2015, sur 160 poussins de la souche ISA F15 qui ont consommé un régime additionné de 5% de la graine de colza "00", et ils ont été répartis en quatre groupes pendant la phase de finition : Groupe 1 : a été nourri avec le régime sans addition d'antioxydant (T), groupe 2 : a reçu le régime supplémenté en 200 mg/kg de vit E (VE), groupe 3 : a consommé l'aliment supplémenté en 10g/kg de feuilles d'olivier (FO), groupe 4 : dont l'alimentation a été additionnée de 200 mg/kg de vit E et de 10g/kg de feuilles d'olivier (VE+FO). Le jour de l'abattage, chaque groupe d'animaux a été divisé en deux sous groupes; l'un est placé en situation de repos et l'autre a été soumis à un stress de transport pendant 2 heures. Au terme de cet essai, le transport de pré-abattage a causé une diminution significative ($p<0,05$) des poids vifs des animaux et un accroissement important ($p<0,05$) de la glycémie et des activités de la LDH et de la CK sériques. En outre, une augmentation significative des valeurs du pHu de la viande accompagnée d'une baisse remarquable ($p<0,05$) de la luminance et de la proportion des AGPI ont aussi été observées chez les animaux soumis au transport. De plus, un accroissement important ($p<0,05$) des concentrations du MDA est constaté dans la viande des poulets transportés, toutefois, l'addition de 200mg/kg de vit E et 10g/kg de feuilles d'olivier à l'aliment des poulets permet de réduire de 23% et de 18% les valeurs du MDA respectivement. Ainsi, l'apport combiné de ces deux antioxydants était plus efficace en diminuant de 30 % la lipoperoxydation. Enfin, la supplémentation alimentaire en antioxydants naturels comme les feuilles du romarin et d'olivier semble être une alternative intéressante à l'utilisation des produits synthétiques (vit C et E) permettant d'augmenter la stabilité oxydative de la viande.

Mots clés : Viande de poulet, AGPI, antioxydant, stress de transport, peroxydation, qualité.

Abstract

Effects of Stress Before Slaughter on Nutritional Qualities of Chicken Meat Fed with Diets Rich in Unsaturated Fatty Acids Supplemented with Natural Antioxidants

In nutrition, increasing the levels of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in meat is a primary goal of nutritionists. But, the major concern of this enrichment is the high susceptibility of these (PUFAs) to peroxidation, during the storage of the meat or if it comes from an animal that has undergone stress before its slaughter as that of transport, and therefore the use of natural antioxidants is necessary to limit the lipoperoxidation of meat. The objective of the first study is to evaluate the impact of a diet added with canola seed and supplemented with vitamin C or rosemary leaves on growth performance, fatty acid composition and lipid peroxidation of thigh meat during storage at 4°C. The experiment was carried out during the period of April-June 2014, and involved 220 chicks of the ISA F15 strain, which were divided into two groups and fed two different diets (standard diet (T) and diet added 5% of canola seed (GC)), during the finishing phase the group (GC) was divided into two subgroups whose diet was supplemented either with 200 mg/kg of vitamin C (GCC) or 10 g/kg of rosemary leaves (GCR). We have demonstrated that the incorporation of 5% of canola seed in the diet increases by more than twice the proportion of n-3 PUFAs in thigh meat ($p < 0.05$), but affects negatively ($P < 0.05$) the chickens performance. However, the growth retardation observed at the beginning of the breeding is compensated at the end of the finishing phase (J56) by the supplementation of the second diet with 200mg/kg of vit C and 10g/kg of rosemary leaves. Malondialdehyde (MDA) concentrations increased further ($p < 0.05$) for the (T) group compared to the other two groups (GCC and GCR) during storage at 4°C, and the dose of 10 g/kg rosemary had a higher antioxidant effect than that of 200mg/kg of vit C. The aim of the second experiment was to study the effects of transport stress responses on chicken serum glucose and lactic dehydrogenase (LDH) and creatine kinase (CK) activities, fatty acid composition and different meat quality indicators (pH, color, MDA concentration), and improve the meat oxidative stability by dietary supplementation with vitamin E and olive leaves. The experiment was carried out during the period April-May 2015, on 160 chicks of the ISA F15 strain which consumed a diet added 5% of the canola seed "00" and were divided into four groups in finishing phase: Group 1: was fed with the diet without addition of antioxidant (T), group 2: received diet supplemented with 200 mg/kg of vitamin E (VE), group 3: consumed diet supplemented with 10g/kg of olive leaves, (group 4): in which 200 mg/kg of vit E and 10 g/kg of olive leaves (VE + FO) were added to the diet. On the day of slaughter, each group of animals was divided into two subgroups; one was placed in a rest situation and the other was subjected to transport stress for 2 hours. At the end of this trial, pre-slaughter transport resulted in a significant ($p < 0.05$) decrease in live weights and a significant ($p < 0.05$) increase in serum glucose and LDH and CK activities. In addition, a significant increase in the pHu values of the meat accompanied by a remarkable decrease ($p < 0.05$) in the luminance and in the proportion of PUFAs was also observed in transported animals. In addition, there was a significant ($p < 0.05$) increase in MDA concentrations in the meat of chickens transported, however, the addition of 200 mg/kg of vit E and 10g/kg of olive leaves to chickens diet reduces MDA values by 23% and 18% respectively. Thus, the combined intake of these two antioxidants was more effective in reducing by 30% the lipoperoxidation. Finally, dietary supplementation with natural antioxidants such as rosemary and olive leaves seems an interesting alternative to the use of synthetic products (vit C and E) to increase the oxidative stability of meat.

Key words: Chicken meat, PUFA, antioxidant, transport stress, peroxidation, quality.

ملخص

آثار الإجهاد قبل الذبح على النوعيات الغذائية للحم الدجاج المغذى بأنظمة غذائية غنية بالأحماض الدهنية الغير المشبعة و مستكملة بمضادات الأكسدة الطبيعية

في التغذية، زيادة مستويات الأحماض الدهنية الغير المشبعة (AGPI) في اللحم هو هدف الأخصائيين الأولي. ولكن، المشكل الرئيسي لهذا الإثراء هو قابلية هذه الأحماض الكبيرة (AGPI) للبيروأكسدة خلال تخزين اللحم أو إذا كان مصدرها حيوان قد خضع لضغوط وقلق قبل الذبح مثل النقل وبالتالي فإن اللجوء إلى استخدام مضادات الأكسدة الطبيعية ضروري للحد من بيروأكسدة دهون اللحم. الهدف من الدراسة الأولى هو تقييم تأثير إتباع نظام غذائي يحتوي على بذور اللفت ومستكمل بالفيتامين C أو أوراق إكليل الجبل على النمو، تكوين الأحماض الدهنية وبيروأكسدة دهون لحم الفخذ أثناء التخزين في 4 درجة مئوية. جرت التجربة خلال فترة ابريل- جوان 2014، وشملت 220 فرخ من سلالة ISA F15، تم تقسيمهم إلى مجموعتين وتعد ينهم بحميتين مختلفتين (نظام غذائي عادي (T) وآخر يحتوي على 5٪ من بذور اللفت "00" ((GC)) خلال المرحلة النهائية تم تقسيم المجموعة (GC) إلى مجموعتين فرعيتين حيث استكمل النظام الغذائي إما ب 200 ملغ/كغ من الفيتامين C (CCG) أو 10غ/كغ من أوراق إكليل الجبل (GCR). أظهرنا أن إدماج 5٪ من بذور اللفت في النظام الغذائي أدى إلى الزيادة بأكثر من مرتين ($p<0.05$) في نسبة الأحماض الدهنية الغير المشبعة (n-3) في لحم الفخذ، ولكنه يؤثر سلبا ($p<0.05$) على نمو الدجاج. ومع ذلك، التأخر في النمو الملاحظ في بداية تربية الدجاج استدرك في نهاية مرحلة النهاية (يوم 56) من خلال إضافة 200 ملغ/كغ من فيتامين C (CCG) و 10غ/كغ من أوراق إكليل الجبل إلى النظام الغذائي الثاني. تركيزات MDA ارتفعت كثيرا ($p<0.05$) بالنسبة للمجموعة (T) مقارنة مع المجموعتين الأخرويتين (CCG و GCR) أثناء التخزين في 4 درجة مئوية، و نسبة 10غ/كغ من أوراق إكليل الجبل أظهرت تأثير مضاد للأكسدة أعلى من 200 ملغ/كغ من فيتامين C. الهدف من التجربة الثانية هو دراسة آثار الاستجابات للقلق المتعلق بالنقل على نسبة الجلوكوز وأنشطة الانزيم النازع لهيدروجين الاكتات LDH و كيناز الكرياتين CK المصلية للدجاج، تكوين الأحماض الدهنية، مختلف مؤشرات جودة اللحم (درجة الحموضة، واللون، وتركيز MDA)، وحماية اللحم ضد بيروأكسدة الدهون من خلال إضافة الفيتامين E وأوراق الزيتون إلى النظام الغذائي. أجريت التجربة خلال فترة أبريل- ماي 2015، 160 فرخ من السلالة ISA F15 استهلكوا غذاء يحتوي على 5٪ من بذور اللفت "00"، وقسموا إلى أربع مجموعات في المرحلة النهائية من تربية الدجاج: مجموعة 1 غذيت بالغذاء دون إضافة مضادات الأكسدة (T)، تلقت المجموعة 2 النظام الغذائي مستكمل ب 200 ملغ/كغ من الفيتامين E (VE)، مجموعة 3: استهلكت الغذاء مستكمل ب 10غ/كغ من أوراق الزيتون (FO)، مجموعة 4: استكملت التغذية ب 200 ملغ/كغ من الفيتامين E و 10غ/كغ من أوراق الزيتون (VE + FO). في يوم الذبح، تم تقسيم كل مجموعة من الحيوانات إلى مجموعتين فرعيتين، حيث أن المجموعة الأولى تم وضعها في راحة (دون نقل) وأما الأخرى فقد وضعت تحت تأثير ضغط وقلق النقل لمدة ساعتين. تسبب النقل ما قبل الذبح بانخفاض ($p<0.05$) في أوزان الدجاج وزيادة كبيرة ($p<0.05$) في مستويات السكر في الدم وأنشطة CK و LDH المصلية. وأدى أيضا إلى زيادة كبيرة في درجة حموضة اللحم والتي يرافقها انخفاض ملحوظ ($p<0.05$) في الإنارة ونسبة الأحماض الدهنية الغير المشبعة (AGPI). وبالإضافة إلى ذلك، زيادة كبيرة ($p<0.05$) في تركيزات MDA لوحظت في لحم الدجاج الموضوع تحت تأثير قلق النقل، ولكن إضافة 200 ملغ/كغ من الفيتامين E و 10غ/كغ من أوراق الزيتون لغذاء الدجاج قلل بنسبة 23٪ و 18٪ على التوالي من قيم MDA. زيادة على ذلك، إن إضافة المواد المضادة للأكسدة معا كان أكثر فعالية في الحد من البيروأكسدة بنسبة 30٪. وأخيرا، استعمال مضادات الأكسدة الطبيعية مثل أوراق إكليل الجبل والزيتون يبدو بديلا مثيرا للاهتمام لاستخدام المنتجات الصناعية (فيتامين C و E) لزيادة استقرار اللحم ألتأكسدي.

الكلمات المفتاحية: لحم الدجاج، الأحماض الدهنية الغير المشبعة، مضادات الأكسدة، قلق النقل، جودة، بيروأكسدة.

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Valorisation des travaux	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Résumé	
Introduction générale	1

Partie Bibliographique

Chapitre I : Impact du stress oxydatif sur la qualité de la viande et l'utilisation des antioxydants naturels comme un moyen de lutte

1. Impact des AGPI sur la santé humaine.....	5
2. Stress oxydant	6
3. Dommages oxydatifs	6
3.1. Lésions cellulaires.....	6
3.2. Oxydation des protéines	6
3.3. Oxydation de l'ADN	7
3.4. Peroxydation lipidique	7
3.4.1. Marqueurs de la peroxydation lipidique.....	8
4. Effets de l'oxydation des lipides et des protéines sur la qualité de la viande	8
5. Impact de la consommation des aliments oxydés sur la santé humaine	9
6. Systèmes antioxydants.....	10
7. Supplémentation du régime des animaux en antioxydants comme un moyen de lutte contre le stress	10
7.1. Antioxydants synthétiques.....	10
7.1.1. Vitamine C.....	10
7.1.2. Vitamine E.....	11

7.2. Antioxydants naturels.....	13
7.2.1. Romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>).....	13
7.2.2. Feuilles d'olivier (<i>Olea europea</i>).....	15

Chapitre II : Stress avant abattage et qualité de la viande de poulet de chair

1. Notion de bien-être animal.....	17
2. Notion de stress	18
3. Indicateurs physiologiques d'évaluation de la réponse au stress chez les oiseaux..	18
4. Effets du stress <i>ante-mortem</i> sur l'évolution biochimique <i>post mortem</i> du muscle	20
5. Effets des réponses au stress sur les qualités de la viande	21
5.1. Effet de la mise à jeun	21
5.2. Effet du ramassage	23
5.3. Effet du transport et des changements thermiques environnementaux	23
5.4. Effet de l'accrochage sur la chaîne d'abattage	26

Chapitre III : Utilisation de la graine de colza dans l'alimentation des poulets de chair

1. Le colza	28
2. Composition chimique de la graine	29
2.1. Principaux composés.....	29
2.2. Autres composés « les glucosinolates »	30
3. Utilisation.....	31
4. La graine de colza dans l'alimentation des poulets de chair	31
4.1. Effets sur les performances de croissance.....	31
4.2. Effets sur la qualité de la viande.....	32

Partie expérimentale

Introduction	34
Etude I : Effets d'un régime additionné de la graine de colza et supplémenté en vitamine C et romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>) sur les performances de croissance, la composition en acides gras et la peroxydation lipidique de la viande de muscle de la cuisse de poulet de chair	
1. Objectifs	36
2. Matériels et méthodes	37
2.1. Conditions d'élevage.....	37

2.1.1. Prophylaxie sanitaire	38
2.1.2. Prophylaxie médicale	38
2.2. Animaux et régimes alimentaires	38
2.3. Prélèvements des tissus	41
2.4. Paramètres zootechniques	42
2.5. Différents rendements à l'abattage	43
2.6. Analyses biochimiques des aliments et de la viande	43
2.6.1. Détermination de la teneur en matière sèche (MS).....	43
2.6.2. Détermination de la teneur en matière minérale (MM)	43
2.6.3. Détermination de la teneur en matières grasses.....	43
2.6.4. Détermination du profil en acides gras	44
2.6.5. Peroxydation lipidique des viandes	45
2.6.6. Dosage des polyphénols et flavonoïdes des feuilles du romarin.....	46
2.7. Analyse sensorielle de la viande.....	46
2.8. Détermination de l'activité des enzymes de la lipogenèse dans le foie.....	47
2.9. Analyses statistiques des résultats	47
3. Résultats et discussion	48
3.1. Résultats	48
3.1.1. Caractéristiques biochimiques des régimes.....	48
3.1.2. Teneurs en polyphénols et en flavonoïdes du romarin	48
3.1.3. Performances de croissance.....	49
3.1.3.1. Evolution du poids vif.....	49
3.1.3.2. Evolution du gain de poids.....	50
3.1.3.3. Consommation alimentaire	51
3.1.3.4. Indice de consommation	52
3.1.3.5. Taux de mortalité	53
3.1.4. Paramètres de carcasse	54
3.1.5. Caractéristiques biochimiques de la viande	54
3.1.5.1. Teneurs en MS, MM et humidité du muscle <i>Sartorius</i> de la cuisse.....	54
3.1.5.2. Teneurs en lipides et composition en AG	55
3.1.5.3. Peroxydation des lipides de la viande.....	58

3.1.6. Activités des enzymes de la lipogenèse hépatique	59
3.1.7. Résultats de l'analyse sensorielle de la viande.....	59
3.2. Discussion	61
3.2.1. Performance de croissance et paramètres pondéraux de carcasse.....	61
3.2.2. Résultats des analyses biochimiques de la viande de muscle de la cuisse.....	63
3.2.2.1. Teneurs en lipides et composition en acides gras.....	63
3.2.2.2. Peroxydation lipidique	64
3.2.3. Résultats du dosage des enzymes de la lipogenèse hépatique.....	65
3.2.4. Analyse sensorielle de la viande	66
4. Conclusion	66

Etude II : Effets du stress avant abattage sur la composition en acides gras et les indicateurs de qualité de la viande de poulet de chair nourri avec une alimentation additionnée de la graine de colza et supplémentée en vitamine E et feuilles d'olivier (*Olea europea*)

1. Objectifs	67
2. Matériels et méthodes	69
2.1. Conduite de l'expérimentation	69
2.2. Animaux et régimes alimentaires	69
2.3. Prélèvements sanguins	72
2.4. Préparation des carcasses et prélèvements musculaires.....	72
2.5. Analyses biochimiques du régime	72
2.6. Analyses biochimiques du sérum	73
2.6.1. Dosage du glucose.....	73
2.6.2. Dosage de la lactate déshydrogénase (LDH).....	73
2.6.3. Dosage de la créatine kinase (CK).....	73
2.7. Analyses biochimiques de la viande	74
2.7.1. Mesure du pH musculaire.....	74
2.7.2. Mesure de la couleur de la viande.....	74
2.7.3. Mesure de la vitamine E musculaire	74
2.7.4. Détermination du degré d'oxydation des lipides par HPLC	74
2.8. Analyses statistiques des résultats	75
3. Résultats et discussion	76

3.1. Résultats	76
3.1.1. Teneurs en polyphénols et flavonoïdes des feuilles d'olivier (<i>Olea europea</i>)...	76
3.1.2. Performances de croissance	76
3.1.2.1. Poids vif.....	76
3.1.2.2. Gain de poids	77
3.1.2.3. Consommation alimentaire	78
3.1.2.4. Indice de consommation	79
3.1.2.5. Taux de mortalité.....	80
3.1.3. Paramètres pondéraux de carcasses	81
3.1.4. Analyses sériques	83
3.1.5. Caractéristiques biochimiques de la viande	86
3.1.5.1. Teneur en MS, MM et humidité du muscle <i>Sartorius</i> de la cuisse	86
3.1.5.2. Potentiel hydrogène (pH) et couleur de la viande de muscle de la cuisse....	86
3.1.5.3. Teneurs en vitamine E	87
3.1.5.4. Teneur en lipides et composition en AG du muscle <i>Sartorius</i> de la cuisse..	89
3.1.5.5. Peroxydation des lipides de muscle de la cuisse	92
3.2. Discussion	95
3.2.1. Performance de croissance et paramètres de carcasse	95
3.2.2. Paramètres sériques	97
3.2.3. Caractéristiques biochimiques qualitatives de la viande.....	99
3.2.3.1. pH et couleur de la viande de muscle de la cuisse	99
3.2.3.2. Teneurs en vitamine E musculaire.....	100
3.2.3.3. Teneur en lipides et profil en AG de muscle de la cuisse.....	101
3.2.3.4. Peroxydation lipidique de la viande de muscle de la cuisse	102
4. Conclusion	106
Discussion générale	107
Conclusion générale	111
Références bibliographiques	113
Annexes	

Introduction générale

La filière poulet de chair reste parmi les moyens les plus rapides susceptibles de couvrir le déséquilibre alimentaire, puisqu'elle représente le cycle de production de viande le plus court (56 jours en moyenne). De plus, la volaille avec ses propres atouts diététiques, et économiques fait figure de viande à part entière à une forte croissance. Il n'est pas étonnant qu'elle rentre dans les stratégies de développement de plusieurs pays; ce qui a fait installer en Algérie une politique en matière de production orientée vers l'accroissement du cheptel et l'intensification de l'aviculture.

Cependant, la qualité de la viande de volailles est sous l'influence de plusieurs facteurs intrinsèques comme l'espèce, le type de muscles, le sexe, l'origine génétique et l'âge à l'abattage, et autres extrinsèques qui regroupent les facteurs alimentaires et environnementaux (le transport et les manipulations qui précèdent l'abattage).

Dans le secteur avicole le transport des volailles des bâtiments d'élevage vers les abattoirs est l'étape finale et inévitable du système de production animale et représente une composante très importante pouvant contribuer à un état de stress des animaux susceptible de détériorer la qualité des viandes tout en diminuant leur durée de conservation et conduisant donc à des pertes économiques et financières importantes.

Plusieurs auteurs rapportent que le transport est un facteur de stress complexe parce qu'il englobe plusieurs sources de stress telles que la manutention, le chargement, le déchargement, les fluctuations de la température et de la densité, la mise à jeun, les mouvements, les vibrations et les bruits (**Schwartzkopf-Genswein et al., 2012; Vimiso et Muchenje, 2013; Pereira et al., 2015**).

En outre, le transport de pré-abattage induit tout d'abord une perte de poids des animaux (**Jayaprakash et al., 2016**). Ainsi, il peut causer de la mortalité s'il est associé à un stress thermique et une longue durée du transit (**Von Keyserlingk et al., 2009; Melesse et al., 2011**).

Certaines hormones plasmatiques, enzymes et métabolites tels que la corticostérone, la créatine kinase, la lactate déshydrogénase et le glucose ont été suggérés comme des paramètres sensibles indiquant le niveau de stress et des dommages musculaires chez les volailles (**Savenije et al., 2002; Nijdam et al., 2005**).

En général, une augmentation du stress physiologique ou de l'activité physique chez les animaux de ferme pendant le transport et la manipulation avant l'abattage entraîne l'épuisement des réserves de glycogène musculaire avant l'abattage, ce qui peut entraîner un pH supérieur de la viande, une plus grande capacité de rétention d'eau et une couleur de viande plus foncée.

Le stress de transport est aussi associé à la surproduction des espèces réactives de l'oxygène dans les tissus musculaires conduisant au phénomène du stress oxydatif (**Aschbacher *et al.*, 2013**) qui en résulte la peroxydation lipidique des acides gras polyinsaturés (AGPI), nous devons toutefois souligner que cela peut empêcher les professionnels de la filière viande d'atteindre les objectifs des recommandations nutritionnelles actuelles qui préconisent d'améliorer la qualité nutritionnelle et enrichir les produits animaux en augmentant la part relative des (AGPI) surtout ceux de la série n-3 dans la viande connus pour avoir un rôle bénéfique vis-à-vis de plusieurs pathologies chez l'homme notamment les maladies cardiovasculaires.

Cependant, le risque de peroxydation est réduit par les actions conjuguées des molécules bioactives antioxydantes, capables de retarder les réactions d'initiation et de propagation d'oxydation et assurer une stabilité oxydative appréciable.

Une grande attention a été portée ces dernières années aux sources d'antioxydants naturels pouvant remplacer les produits chimiques, telles que les feuilles du romarin et d'olivier connues par leur forte activité antioxydante, celles-ci ont été testées dans de nombreux travaux afin de protéger la viande contre la lipoperoxydation pendant la conservation (**Yesilbag *et al.*, 2011 ; Botsoglou *et al.*, 2014**).

Ainsi, l'objectif de ce travail de thèse, est d'étudier les effets des réponses au stress de transport sur la composition en acides gras et les différents indicateurs de la qualité de la viande (pH, couleur, concentration du Malondialdéhyde) de poulet de chair nourri avec un régime enrichi en AGPI, en utilisant la graine de colza comme une source lipidique, ainsi que pour répondre au souci d'améliorer la stabilité oxydative et limiter la lipoperoxydation de la viande par la supplémentation alimentaire en feuilles du romarin et d'olivier choisies comme antioxydants naturels.

Le présent travail comporte une étude bibliographique avec une description des impacts d'utilisation de la graine de colza dans l'alimentation des poulets de chair et des effets du stress avant abattage sur la qualité de la viande et la supplémentation alimentaire en feuilles de romarin (*Rosmarinus officinalis*) et d'olivier (*Olea europea*) comme un moyen de lutte contre la peroxydation.

La partie expérimentale comprend deux études, dont la première approche consiste essentiellement à étudier les effets d'incorporation de la graine de colza, de la vitamine C et les feuilles de romarin dans le régime alimentaire des poulets de chair sur les performances, la composition en acides gras et la stabilité oxydative de la viande. Dans la deuxième approche, nous avons traité les effets du stress de transport avant abattage sur les performances de croissance et la qualité de la viande de poulet de chair nourri avec une alimentation additionnée de la graine de colza et supplémentée en vitamine E et feuilles d'olivier.

Partie bibliographique

Chapitre I : Impact du stress oxydatif sur la qualité de la viande et l'utilisation des antioxydants naturels comme un moyen de lutte

Le consommateur est de plus en plus attentif et averti du lien existant entre les acides gras (AG) consommés apportés par les aliments et la santé de l'homme. Si les matières grasses d'origine végétale apportent exclusivement les AGPI précurseurs, celles provenant des produits animaux apportent à la fois les précurseurs et les dérivés à longue chaîne.

Ainsi, dans le but de fournir au consommateur une viande maigre et diététique, une stratégie consiste à utiliser les animaux d'élevage pour enrichir les produits de consommation. En effet, l'utilisation de la graine de colza, par exemple permet d'enrichir les lipides des animaux en oméga 3 et diminuer le rapport n-6/n-3 dans la viande des volailles. Les effets d'incorporation de cette graine oléagineuse dans le régime alimentaire des poulets de chair sur les performances et la qualité de la viande seront développés dans le troisième chapitre.

Cependant, l'intérêt de cet enrichissement peut être contrecarré par le problème du stress oxydatif chez les animaux qui augmente avec l'augmentation de la teneur en acides gras polyinsaturés alimentaires (**Vazquez-Anon et al., 2008 ; Andrews et al., 2006**) et génère des dommages oxydatifs importants surtout la peroxydation lipidique.

De plus, lorsque l'animal est stressé par des conditions environnementales inhabituelles, la concentration des espèces réactives de l'oxygène augmente et la balance redox ou l'homéostasie redox est déséquilibrée conduisant également à un stress oxydatif (**Aschbacher et al., 2013**). Aussi, la sélection génétique des poulets de chair pour leur poids corporel et le rendement en filet élevé augmente leur susceptibilité au stress oxydatif (**Sihvo et al., 2013**) qui dénaturent les protéines, les acides nucléiques et les lipides (**Chulayo et Muchenje, 2015**).

Ainsi, le stress subi par l'animal avant l'abattage (transport et différentes manipulations) augmente la susceptibilité de la viande aux réactions oxydatives (**Min et Ahn, 2005**), les conséquences des différentes sources de stress *ante-mortem* ainsi que leurs effets sur la qualité de la viande seront présentés dans le deuxième chapitre.

Le contenu de ce chapitre sera consacré dans un premier temps à l'impact des AGPI sur la santé humaine, ainsi qu'aux stress oxydant et les dommages qu'il génère surtout la peroxydation lipidique. A la fin de ce chapitre, il sera développée la lutte contre ce phénomène oxydatif par le moyen d'antioxydants.

1. Impact des AGPI sur la santé humaine

Un apport accru d'acides gras polyinsaturés de la famille n-3 (AGPI n-3) par les viandes, associé à un rapport AGPI n-6/AGPI n-3 égal ou inférieur à 5, serait bénéfique à la santé humaine (ANC, 2001).

En effet, de nombreux travaux menés sur l'homme et différents modèles animaux pour l'homme montrent que les AGPI $\omega 3$ et $\omega 6$ ont des effets antagonistes sur le plan cardiovasculaire (Schmitz et Ecker, 2008). Ainsi, les écosanoïdes issus de l'acide arachidonique sont pro-inflammatoires, et ceux provenant de la série oméga 3 sont anti-inflammatoires (Wertz, 2009). Les oméga 3 ont une influence bénéfique sur les facteurs du risque cardiovasculaire ayant une origine alimentaire comme le taux des triglycérides, les arythmies, et l'hypertension artérielle (Von Schacky, 2006).

C'est notamment par incorporation dans les membranes cellulaires du muscle cardiaque que les acides gras oméga 3 pourraient influencer favorablement le fonctionnement du cœur (Brouwer, 2005). Plusieurs travaux montrent le rôle de ces acides gras vis-à-vis des problèmes cardiovasculaires tels que la baisse de l'hypertension artérielle (Morris *et al.*, 1993 ; Torrejon *et al.*, 2007), la réduction du rythme cardiaque (Kris-Etherton *et al.*, 2002 ; Breslow, 2006), la diminution du taux des triglycérides plasmatiques (Weber et Raederstorff, 2000), la diminution de l'agrégation plaquettaire, notamment en ce qui concerne l'EPA et le DHA qui favorisent la dilatation des vaisseaux sanguins.

Plusieurs travaux montrent que les AGPI n-6 stimulent en général la croissance tumorale, tandis que leur homologue n-3 semblent l'inhiber ou s'opposer aux effets stimulants des AGPI n-6, donc ayant un effet protecteur (Bougnoux et Menanteau, 2005 ; Berquin *et al.*, 2008). Les AGPI n-3 réduisent le taux de certains cancers des intestins (Kimura *et al.*, 2007), de sein (Kim *et al.*, 2009) et de la prostate (Augustsson *et al.*, 2003).

En renforçant la fluidité et la souplesse des membranes cellulaires du cerveau, les oméga 3 à longue chaîne assurent une amélioration des performances cognitives. De nombreux travaux ont montré une relation entre statut AGPI-LC et dysfonctionnement du système nerveux tels que les maladies neurodégénératives comme les maladies d'Alzheimer et de Parkinson (Corrigan *et al.*, 1998 ; Barberger-Gateau *et al.*, 2002 ; Bousquet *et al.*, 2011).

2. Stress oxydant

Le stress oxydant est un type d'agression des constituants cellulaires résultant d'un déséquilibre entre les systèmes de défense antioxydants et la production d'espèces réactives oxygénées (ERO) et azotées (l'anion superoxyde ($O_2^{\circ-}$), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), l'oxygène singulet (1O_2)...etc) dans la cellule animale (**Gobert et al., 2010**).

Le stress oxydant n'est pas une maladie mais un mécanisme physiopathologique. Un excès d'espèces réactives mal maîtrisé favorisera une maladie ou un vieillissement accéléré (**Mercan et al., 2010**).

3. Dommages oxydatifs

3.1. Lésions cellulaires

La toxicité cellulaire des radicaux libres se manifeste par la survenue progressive de processus lésionnels sur différents éléments constitutifs de la cellule pouvant conduire à la mort de celle-ci. Les radicaux libres sont également responsables de lésions secondaires dues au caractère cytotoxique et mutagène des produits libérés, notamment lors de la peroxydation des lipides membranaires (**Favier, 1997**).

3.2. Oxydation des protéines

Les espèces réactives oxygénées sont reconnues pour causer des modifications oxydatives au niveau des acides aminés et des protéines des milieux extra et intracellulaires (**Stadtman, 1993**).

L'attaque des protéines par le radical hydroxyle (HO°) ou par l'oxygène singulet (1O_2) peut générer des produits finaux très variés. Par contre, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et l'anion superoxyde ($O_2^{\circ-}$) ne semblent oxyder que des protéines présentant des groupements sulfhydryles (-SH) facilement oxydables et accessibles ; c'est le cas de nombreuses enzymes cellulaires et protéines de transport qui vont ainsi être oxydées et inactivées (**Favier, 2003**). Ces changements conduisent à une modification structurale des protéines dont les conséquences sont majeures (perte de fonction catalytique, augmentation de la sensibilité aux protéases...) (**Stadtman et Levine, 2000**). Ces réactions d'oxydation, fréquemment influencées par les cations métalliques comme le Cu^{2+} et le Fe^{2+} , peuvent être classées en deux catégories : celles qui cassent les liaisons peptidiques et modifient la chaîne protéique et celles qui induisent des modifications des peptides par l'addition de produits issus de la peroxydation lipidique comme le 4-HNE. Lors de ces oxydations, il se forme des composés carbonylés qui peuvent être dosés et constituent ainsi un des marqueurs les plus communs des oxydations protéiques tel que le semialdéhyde α -aminoadipique (**Stadtman, 1993 ; Estevez, 2011**).

3.3. Oxydation de l'ADN

Bien que l'ADN soit la mémoire de toute la composition biochimique des êtres vivants, il s'agit d'une molécule très sensible à l'attaque par les radicaux de l'oxygène. Les bases qui composent la molécule d'ADN, et particulièrement la guanine, sont très sensibles à l'oxydation (Cadet *et al.*, 2002). Les catégories principales de dommages oxydants de l'ADN sont les modifications des bases puriques (Adénine, Guanine) et pyrimidiques (Cytosine, Thymine, Uracile), les cassures simples et double-brin, la création des adduits (addition d'un produit à la molécule d'ADN) qui pourraient se former entre les bases aminées de l'ADN et des aldéhydes (MDA ou le 4-HNE) tel que le malonaldéhyde-guanine et favoriser des mutations de l'ADN (Favier, 2003 ; Grandjean, 2005). Les attaques radicalaires sur l'ADN se manifestent principalement par des mutations carcinogènes engendrant la synthèse de séquences protéiques incorrectes et des fonctions cellulaires détériorées (Radak *et coll.*, 2002).

3.4. Peroxydation lipidique

Les lipides et principalement leurs acides gras polyinsaturés sont la cible privilégiée de phénomène de l'oxydation, et ce d'autant plus que leur degré d'insaturation est élevé. La peroxydation lipidique est une conséquence du stress oxydant et elle représente un phénomène très important car elle entraîne des dommages tissulaires et cellulaires dus à la formation de produits d'oxydation plus réactifs conduisant à l'apparition de nombreuses pathologies. L'agent initiateur est l'oxygène, et elle est également favorisée par une élévation de température, la présence d'ions métalliques et de systèmes enzymatiques produisant des radicaux libres (Awada, 2012). La peroxydation lipidique (figure1) forme un enchainement de réactions radicalaires qui se déroule en trois étapes : initiation, propagation et terminaison (Genot et Michalski, 2010 ; Awada, 2012 ; Estevez, 2015).

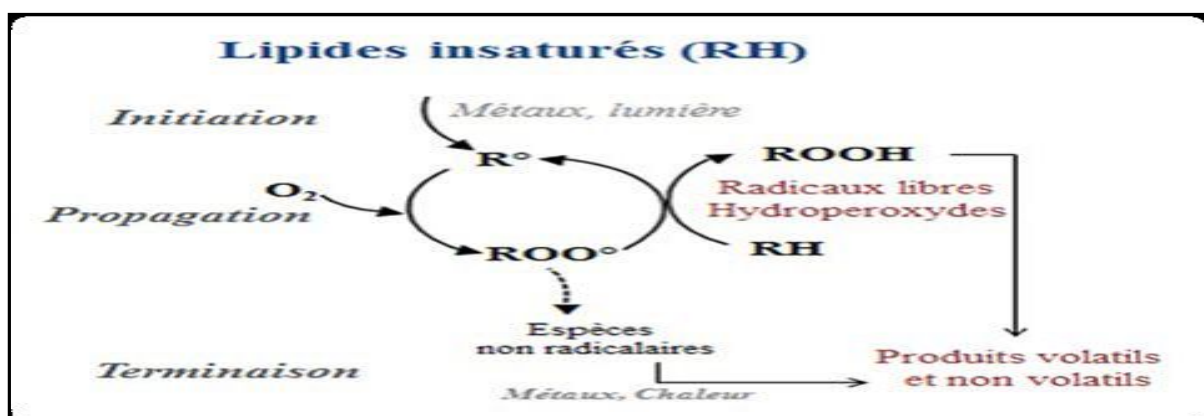


Figure 1: Schéma décrivant le processus de l'oxydation des lipides (adapté de (Genot et Michalski, 2010)).

3.4.1. Marqueurs de la peroxydation lipidique

Les hydroperoxydes représentent les premiers produits de l'oxydation lipidique formés qui peuvent se décomposer par la suite et subir une scission pour former des composés à faible poids moléculaire volatils ou non-volatils (les produits secondaires de l'oxydation) tels que les carbonyles, les alcools, les hydrocarbures et les furanes (**Min et Ahn, 2005 ; Estevez, 2015**). Parmi ceux-ci, les aldéhydes sont les produits de l'oxydation lipidique les plus abondants trouvés dans la viande ; le dialdéhyde malonique (MDA) (**Mateos et Lecumberri, 2005**), et les 4-hydroxyalkénals, 4-HHE (4-hydroxy-hexéнал) et 4-HNE (4-hydroxy-nonéнал) qui sont étudiés et reconnus comme marqueurs de la peroxydation lipidique. Ces produits finaux d'oxydation des AGPI sont issus de la peroxydation dans l'organisme des AGPI présents plus particulièrement dans les phospholipides composants des membranes cellulaires (**Guichardant et al., 2006; Guichardant et Lagarde, 2009**). Le 4-HNE est particulièrement issu de la dégradation oxydative des acides linoléique et arachidonique des membranes (acides gras de la série n-6 ou oméga-6), tandis que le 4-HHE est issu des AGPI de la série n-3 (oméga-3). Le 4-HNE est accumulé dans les membranes cellulaires à des concentrations allant jusqu'à 10 à 20 μM en réponse à des dommages oxydatifs (**Esterbauer et al., 1991; Uchida, 2003**).

D'un point de vue biologique, les 4-HHE et 4-HNE sont susceptibles d'exercer différents effets plus ou moins délétères, les effets biologiques du 4-HNE étant à ce jour beaucoup plus étudiés que ceux du 4-HHE. Les alkénals sont des réactifs fortement électrophiles, pouvant réagir facilement avec les groupes neutrophiles des protéines, les acides nucléiques, les lipides ou avec les thiols de faible poids moléculaire (ex : le glutathion, GSH). Une protéine telle une enzyme sur laquelle a réagi un alkénal peut ainsi voir sa fonction biologique altérée (**Genot et Michalski, 2010**).

4. Effets de l'oxydation des lipides et des protéines sur la qualité de la viande

La peroxydation des lipides est le facteur le plus important dans la détérioration de la qualité de la viande. Parmi les effets néfastes qu'elle présente est : la perte des acides gras essentiels, la destruction des vitamines pouvant entraîner une carence en vitamine E, la modification de la texture en raison d'une dystrophie de la chair, la diminution de la coloration de la chair et surtout l'altération de la flaveur par le rancissement (**Ladikos et Lougovois, 1990; Min et Ahn, 2005**).

L'oxydation des protéines est connue par son effet néfaste sur la qualité de la viande des volailles. Cependant, elle peut affecter l'aptitude de la viande à la transformation en modifiant la fonctionnalité des protéines. En outre, elle conduit à la perte de la capacité de la viande à capter l'eau pendant le stockage réfrigéré (**Zhang et al., 2011; Chan et al., 2011 ; Leygonie et al., 2012**) et au changement de la couleur et la texture résultant de la dégradation des pigments de l'hème et la formation des liaisons. L'oxydation des protéines induit également à une dégradation irréversible des acides aminés et une diminution de la valeur nutritionnelle de la viande car les protéines des aliments oxydés peuvent ne pas être complètement dégradées par les enzymes de la digestion telle que la trypsine (**Lund et al., 2011; Estevez, 2011**).

5. Impact de la consommation des aliments oxydés sur la santé humaine

Par ailleurs, les réactions oxydatives dans les aliments sont liées à la sécurité et la santé humaine. La consommation des produits oxydés peut contribuer à l'augmentation du risque des conditions pathologiques. Des études ont montré que les lipides et les protéines oxydés contenus dans l'alimentation augmentent les marqueurs de l'oxydation dans le sang et le muscle de l'homme et des animaux expérimentaux (**Esterbauer et al., 1993; Corsinovi et al., 2011; Li et al., 2014**). Selon ces études, la consommation des aliments oxydés provoque un stress oxydatif dans les tissus vivants, et cela peut contribuer par la suite à certaines maladies soit pendant des périodes à long terme ou même à court terme (**Estevez, 2015**). Chez l'homme adulte, la consommation d'un repas comportant des triglycérides incluant des AGPI oxydés hydroxylés aboutit à la présence de ces acides gras hydroxylés dans les chylomicrons, lipoprotéines circulant dans le sang et transportant les triglycérides d'origine alimentaire dans les heures suivant le repas (**Wilson et al., 2002**). Du point de vue de produits secondaires d'oxydation, lorsque des aldéhydes issus de l'oxydation de l'acide linoléique sont consommés par des rats, on observe une lente absorption intestinale et une accumulation dans le foie de différents produits d'oxydation dont le 4-HNE (**Kanazawa et Ashida, 1998a; Kanazawa et Ashida, 1998b**) qui peut causer la mort de cellules neuronales étant impliqué dans les maladies neurodégénératives tels que les maladies d'Alzheimer et de Parkinson.

Cependant, plusieurs travaux font apparaître que les composés peroxydés apportés par le bol alimentaire peuvent s'accumuler dans le lumen intestinal et contribuer au développement de désordres intestinaux chroniques ou de pathologies tels que des cancers (**Kanazawa et Ashida, 1998a; Kanazawa et Ashida, 1998b; Kanazawa et al., 2002**). D'après la revue de Sanders (**Sanders, 1994**), dès les années 1920, des effets néfastes au niveau cardiaque ont été observés suite à un apport continu de petites quantités d'huile de foie de morue oxydée à des animaux voire des enfants (**Genot et Michalski, 2010**).

6. Systèmes antioxydants

L'organisme est doté d'un ensemble de systèmes de défenses très efficaces contre la surproduction d'ERO. Le terme d'antioxydant désigne toute substance capable, à concentration faible par rapport à celle du substrat oxydable, de retarder ou empêcher l'oxydation de ce substrat (**Powers et Lennon, 1999**). Cette définition fonctionnelle s'applique à un grand nombre de substances, comprenant des enzymes aux propriétés catalytiques spécifiques telles que les superoxydes dismutase, la catalase et les glutathions peroxydases. Mais aussi à des petites molécules hydro- ou liposolubles comme le Béta Carotène, la vitamine C et la vitamine E.

7. Supplémentation du régime des animaux en antioxydants comme un moyen de lutte contre le stress

Pour fournir aux poulets de chair des aliments de haute qualité avec une bonne utilisation des nutriments permettant une augmentation de la performance, divers antioxydants doivent être incorporés dans le régime alimentaire. De plus, la supplémentation de l'alimentation en antioxydants est l'une des méthodes typiques pour inhiber les réactions d'oxydation et donc optimiser les qualités de la viande et des produits animaux (**Durand et al., 2012 ; Kim et al., 2013**).

Plusieurs études ont été menées avec différents niveaux de butylhydroxytoluène (BHT) et de vitamines comme la vitamine C et E. Cependant, en raison des effets toxiques d'antioxydants synthétiques, les consommateurs et les autorités de santé ont créé une demande d'utilisation d'antioxydants naturels comme alternatives efficaces (**Falowo et al., 2014**). Une grande attention a été portée ces dernières années aux sources d'antioxydants naturels telles que les feuilles d'olivier (**Benavente-Garcia et al., 2000**) ; Et les plantes aromatiques comme l'origan et le romarin connues par leur activité antioxydante.

7.1. Antioxydants synthétiques

7.1.1. Vitamine C

Les poulets de chair sont en stress continu à cause de la vitesse de croissance rapide, la présence de pathogènes et même le changement des conditions environnementales. En effet, les volailles ont la capacité de synthétiser l'acide ascorbique, ou vitamine C, dans leur organisme (reins) (**McDowell, 2000**). Cependant, les facteurs de stress pathologiques et environnementaux altèrent la synthèse et/ou l'utilisation de cette vitamine chez les volailles (**Pardue et al., 1986**).

La vitamine C joue un rôle important dans la synthèse des hormones stéroïdiennes. Celles-ci sont responsables de la mobilisation de l'énergie nécessaire pour les différentes fonctions vitales comme le maintien de la température du corps (**Konca et al., 2008**). Cette vitamine est aussi impliquée dans la croissance par la synthèse du collagène, le métabolisme du calcium et de la vitamine D3, la synthèse de carnitine pour l'oxydation des acides gras, l'oxydation des acides aminés, et le transport des électrons dans la cellule (**Combs, 1992**).

Les suppléments de la vitamine C avec des doses modérées (200 à 250 mg/kg d'aliment) donnés dans l'alimentation ou dans l'eau réduisent les effets négatifs du stress thermique sur le gain de poids des poulets de chair et la qualité de la viande (**Imik et al., 2012**). Ils diminuent également les niveaux de la corticostérone dans le sang et maintiennent le nombre normal des leucocytes (**Pardue et al., 1985 ; Attia et al., 2009**).

D'autres travaux ont trouvé que l'addition de la vitamine C au régime alimentaire des animaux améliore la productivité, la réponse immunitaire, et la résistance aux maladies sous des conditions stressantes comme la haute température, le transport et le jeûne (**Pardue et al., 1985 ; Gross, 1988 ; Zulkifli et al., 1996 ; Ibiyo et al., 2006**). Aussi, l'acide ascorbique appartenant au groupe de vitamines hydrosolubles possède des propriétés antioxydantes, quoiqu'il peut agir comme un antioxydant ou un pro oxydant selon la concentration, la présence des ions métalliques et la quantité de tocophérol (**Schaefer et al., 1995**) ; il agit également comme un catalyseur des réactions d'oxydo-réduction et un agent réducteur qui neutralise les radicaux libres. Il a été montré que l'acide ascorbique a une forte activité synergétique avec la vitamine E (**Tsuchihashi et al., 1995**).

Lors de son oxydation en acide déhydroascorbique, il passe par une forme radicalaire intermédiaire (radical ascorbyl) qui joue un rôle essentiel dans la régénération de la vitamine E oxydée (**Chen et al., 2000**). De plus, en réduisant l'oxydation des lipides, il peut préserver la qualité de la viande de poulets de chair conservée pendant quelques jours (**Skřivan et al., 2011**).

7.1.2. Vitamine E

La vitamine E (vit E) est le nom commun utilisé pour toutes les molécules possédant des activités biologiques identiques à celles de la famille des tocophérols. La forme naturelle de la vitamine E inclut quatre tocophérols isomères α , β , γ , δ , avec une activité antioxydante variable. L'alpha-tocophérol est la forme la plus active de la classe des tocophérols. Sa structure moléculaire comporte une extrémité hydrophile et une extrémité hydrophobe. Il est admis que les radicaux tocophéryles sont régénérés par l'acide ascorbique et que, sans cette synergie, les tocophérols sont inactifs (**Carr et al., 2000**).

Les volailles ne peuvent pas synthétiser la vitamine E, donc, elle doit être apportée par les sources alimentaires (**Chan et Decker, 1994**). La supplémentation de l'alimentation en vit E améliore la performance de croissance, l'utilisation alimentaire, renforce le statut immunologique des oiseaux et améliore considérablement la stabilité de la qualité de la viande contre la détérioration oxydative tout en augmentant la teneur en vitamine E dans les aliments d'origine animale (**Flachowsky, 2000 ; Guo et al., 2001; Skřivan et al., 2010**). **Attia et al. (2001)** rapporte que la supplémentation en vit E augmente significativement le poids vif à un âge de six semaines, tandis que, le gain de poids, la consommation alimentaire et l'indice de consommation ne sont pas influencés par le traitement alimentaire.

La vitamine E est essentielle pour l'intégrité de tous les systèmes (reproducteur, musculaire, circulatoire, nerveux et immunologique) des animaux (**Habibian et al., 2014**). L'amélioration de la capacité antioxydative protège contre le stress de pré-abattage qui induit une augmentation de l'oxydation des lipides dans le muscle squelettique (**Young et al., 2003b**). Ainsi, l'incorporation de la vit E avec des doses élevées dans l'alimentation des poulets de chair pendant le stress thermique présente des effets positifs sur la performance de croissance.

La vit E et le Se agissent en synergie et améliorent le système immunitaire ; **Leshchinsky et Klasing (2001)** rapportent qu'un niveau de 50 UI vit E + 0.1mg de Se par kg d'aliment suffit pour produire un bon effet immuno-modulateur contre les infections au virus de la bronchite infectieuses et à *Brucella abortus*.

La vit E est connue comme un antioxydant très puissant et elle semble être la première ligne de défense contre la peroxydation des phospholipides cellulaires. Elle agit comme un agent protecteur contre les radicaux libres (**Avanzo et al., 2001; Singh et al., 2006**) en empêchant les dommages générés par l'attaque radicalaire des tissus, spécifiquement des AGPI. Lors de l'initiation de la peroxydation lipidique, suite à une attaque radicalaire, l' α -Tocophérol, connu comme inhibiteur de la propagation de la peroxydation lipidique, cède son hydrogène situé dans le noyau phénolique, réduisant ainsi le radical RO_2^- et constitue par ce biais le seul antioxydant liposoluble assurant cette protection (**Khalil, 2002**).

Plusieurs auteurs proposent différentes concentrations de vit E comme étant nécessaire pour empêcher le stress oxydatif qui augmente avec l'augmentation de la teneur des acides gras polyinsaturés dans le régime alimentaire des volailles. Des recommandations ont été suggérées par **Muggli (1994)** prenant en considération la composition en acides gras de l'aliment (0.13 IU/g d'acide oléique, 0.9 IU/g de l'acide linoléique, 1.34 IU/g d'acide linoléique). Ainsi, **Leeson et Summers (2001)** ont recommandé 3 IU de vitamine E pour chaque gramme d'AGPI additionné dans 1 kg d'aliment.

Dans une étude chez les poulets, **Cortinas et al. (2005)** montrent qu'à un niveau de supplémentation de 200 à 400 mg d' α -tocophérol/kg d'aliment, il n'y avait plus d'oxydation de lipides dans la viande de poulets qui avaient reçu de 15 à 61 g par kg d'AGPI. **Bou et al. (2006)** rapportent qu'un apport de 150 mg de vit E par kg d'aliment pendant 32 jours était optimal pour lutter contre les peroxydations lipidiques et assurer une stabilité des muscles chez le poulet de chair. **Sahin et al. (2001, 2002)** rapportent que les poulets de chair supplémentés en vit E présentent une réduction significative des valeurs du MDA (malondialdéhyde), indicateur de la peroxydation lipidique dans le sérum et les tissus des volailles.

Des effets positifs de la supplémentation en vit E avec des taux élevés (100 à 200 mg/kg) sont trouvés sur la qualité de la viande des poulets exposés à un stress oxydatif (**Sahin et al., 2001; Gao et al., 2010**). De plus, l'addition de la vit E au régime alimentaire des animaux n'a aucune influence sur le profil lipidique du muscle (**Daza et al., 2005**). Aussi, **Monahan et al. (1992a)** concluent que la supplémentation en acétate d' α -tocophérol n'influe pas la déposition des acides gras dans le muscle et augmente significativement la stabilité oxydative des lipides et la couleur de la viande des poulets de chair et réduit la rancidité (**Coetzee et Hoffman, 2001 ; Rey et al., 2001**).

7.2. Antioxydants naturels

7.2.1. Romarin (*Rosmarinus officinalis*)

Les additifs alimentaires naturels d'origine végétale sont généralement jugés être sûrs et sains. Les herbes et les produits à base de plantes sont incorporés dans l'alimentation des animaux de bétail au lieu des produits chimiques dans le but de stimuler ou promouvoir l'utilisation efficace des nutriments alimentaires qui se traduit par un gain plus rapide, une production élevée et une meilleure efficacité alimentaire. Par ailleurs, les herbes contiennent des substances actives qui peuvent améliorer la digestion et le métabolisme et possèdent des actions immunostimulantes pour les animaux (**Sabra et Metha, 1990**).

Les principales molécules responsables des propriétés antioxydantes des herbes sont les substances phénoliques (flavonoïdes, tannins hydrolysables, acides phénoliques, terpènes phénoliques) et certaines vitamines (E, C et A) (**Frankič et al., 2009**).

Le romarin (*Rosmarinus officinalis*) appartient à la famille des *Lamiaceae*, il est obtenu après séchage des feuilles et des fleurs de la plante. Le romarin est très connu par ses propriétés antioxydantes, il est le plus couramment utilisé pour aromatiser et préserver les aliments, et même dans plusieurs applications pharmaceutiques. Ainsi, il a été largement utilisé comme un supplément alimentaire dans l'alimentation des volailles permettant de stimuler les fonctions digestives (**Basmacioglu et al., 2004 ;**

Bulbul et al., 2012), en particulier le travail de la vésicule biliaire (**Kahouli et al., 2010**).

Le romarin contient des substances antioxydantes actives comme les diterpènes phénoliques, les flavonoïdes, les acides phénoliques (**Ho et al., 2000**) et les huiles volatiles (**Begum et al., 2013**). Son effet antioxydant est basé sur sa capacité d'inactiver les radicaux libres pendant le processus d'auto-oxydation (**Pokorný et al., 1998**). L'inhibition de l'oxydation lipidique peut être liée à sa richesse en polyphénols (**Yesilbag et al., 2011**) qui piègent les radicaux libres, et agissent comme donneurs d'atome d'hydrogène (**Shan et al., 2005**); les constituants responsables de son activité antioxydante sont : l'acide rosmarinique, le carnosol, et l'acide carnosique. (**Samman et al., 2001**), ce dernier est le constituant le plus actif, il a montré dans des études *in vitro* une activité antioxyante approximativement trois fois plus supérieure que le carnosol et sept fois plus supérieure que celle des additifs synthétiques (BHT et BHA) (**Cuvelier et al., 1996; Richheimer et al., 1996; Offord et al., 1997**). Les polyphénols possèdent également des activités biologiques *in vitro* importantes (anti-tumeur et anti-inflammatoire) (**Shuang-sheng et Rong-liang, 2006, Cheung et Tai, 2007**).

Loetscher et al. (2013) rapportent que le romarin supplémenté avec une dose de 25g/kg avait un effet clair sur la stabilité oxydative de la viande de filet, cet effet était similaire que celui de la dose supra nutritionnelle de la vitamine E. Cependant, **Yesilbag et al. (2011)** trouvent que le romarin additionné sous forme broyée à raison de 11,5g/kg contenant 62.5 mg équivalent acide gallique/g de polyphénols était encore plus efficace que 200 UI de l'acétate de l' α -tocophérol/kg d'aliment dans la prévention de l'oxydation de la viande de filet des poulets de chair. En outre, **Govaris et al. (2010)** montrent que l'incorporation du romarin contenant un taux de polyphénols de 29.4 mg EAG/g était encore plus efficace en retardant l'oxydation des lipides des filets de la dinde comparée de 150 mg/kg de l'acétate de l' α -tocophérol pendant le stockage réfrigéré.

L'alimentation additionnée de l'huile essentielle et les extraits du romarin ont été utilisés avec succès dans plusieurs études, sur la dinde (**Govaris et al., 2007**), le poulet (**López-Bote et al., 1998**) et le lapin (**Cardinali et al., 2015**) où ils ont permis de réduire significativement l'oxydation des lipides de la viande. De plus, la supplémentation en extrait du romarin a permis d'améliorer l'efficacité alimentaire des poulets de chair (**Singleton et Rokusek, 1997**).

Ainsi, **Hernandez et al. (2004)** ont démontré que l'addition de 5000 ppm d'un mélange à base de plantes de la famille de *Labiatae* tel que le romarin permet d'améliorer le gain de poids.

7.2.2. Feuilles d'olivier

En comparaison avec les plantes aromatiques, une attention limitée a été dirigée vers d'autres sources potentielles d'antioxydants phytochimiques telles que les feuilles d'oliviers (*Olea europea L*) (**Botsoglou et al., 2010**) qui représentent un sous produit d'oliviers et peuvent être trouvées en grande quantité dans les industries des huiles (**Govaris et al., 2010**). Traditionnellement, les feuilles d'olivier ont été utilisées dans la médecine traditionnelle comme remède pour les maladies (**Benavente-Garcia et al., 2000**).

Les feuilles d'olivier sont une bonne source de plusieurs antioxydants y compris les composés oleuropéosides comme l'oleuropéine et verbacoside, les flavonoïdes comme la lutéoline, l'apigénine, la rutine, la catéchine, et les simples composés phénoliques comme le tyrosol, l'hydroxytyrosol, l'acide vanillique et l'acide caféique (**Govaris et al., 2010**) les feuilles contiennent également une quantité importante de tocophérols (**Paiva-Martins et al., 2009**).

La plupart de ces composés phénoliques possèdent des propriétés antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires considérables (**Kubo et al., 1995; Benavente – Garcia et al., 2000 ; Markin et al., 2002**) et des activités hypoglycémique et hypocholestérolémique (**Romani et al., 1999**), tandis que les autres composants non-phénoliques tels que les aldéhydes ont également été étudiés pour leur propriétés antimicrobiennes (**Kubo et al., 1995; Bisignano et al., 2001**). Il a été montré que l'oleuropéine, est le composé le plus important, sa concentration peut atteindre 60 - 90 mg/g de feuilles sèches (**Ryan et al., 2002 ; Lee et al., 2009**), il a des propriétés antioxydantes plus fortes que le BHT, vitamine C et vitamine E (**Özdemir et Azman , 2016**).

Botsoglou et al. (2010) et **Martins et al. (2009)** démontrent que l'utilisation des feuilles dans l'alimentation des animaux améliore la qualité de la viande, ainsi, elle réduit l'oxydation des lipides. Par conséquent, les feuilles d'olivier peuvent être considérées comme un matériel brut important qui a le potentiel d'être utilisé comme un antioxydant naturel et comme un ingrédient pour la stabilisation des aliments destinés aux animaux (**Molina-Alcaide et Yanez-Ruiz, 2008; Botsoglou et al., 2014; Paiva-Martins et al., 2014**). Par ailleurs, l'extrait des feuilles d'olivier était efficace en minimisant les effets du stress oxydatif chez le lapin, spécialement pour le taux de cholestérol, des triglycérides, des substances réactives à l'acide thiobarbiturique, de superoxyde dismutase (SOD) et de glutathion transférase (GST) plasmatiques (**El-damrawy, 2011**).

Par ailleurs, il paraît bénéfique d'enrichir les rations des animaux à l'aide de plusieurs sources d'antioxydants. L'association de différentes sources d'antioxydants (lipophile et/ou hydrophile) a été testée pour, d'une part, limiter les apports d'un seul type d'antioxydant, pouvant avoir des effets nocifs à des doses supra nutritionnelles, et d'autre part, améliorer la stabilité oxydative des tissus. Ainsi, chez le poulet l'apport conjoint de vit E lipophile (200 ppm) et de vitamine C hydrophile (1000 ppm) ou d'origan (3%) diminue l'intensité des détériorations oxydatives dues à un stress (transport, étourdissement électrique) (**Young et al., 2003**).

Chez la dinde, l'association de vit E (100mg/kg) et d'huile d'origan (100 mg d'huile/kg) s'avère plus efficace dans la protection de la viande vis-à-vis de la lipoperoxydation que l'apport de l'un de ces antioxydants seul (**Papageorgiou et al., 2003**).

Les antioxydants provenant d'extraits végétaux pourraient aussi moduler les systèmes enzymatiques endogènes en améliorant l'activité d'enzymes antioxydantes tissulaires (catalase, superoxyde dismutase, glutathion peroxydase) (**Durand et al., 2012**). Ainsi, chez un animal modèle, le rat, **Gladine et al. (2007)** montrent que l'apport alimentaire d'extraits végétaux riches en polyphénols augmente l'activité de la catalase dans le foie.

La vitamine C renforce l'efficacité biologique de la vitamine E (**Hoehler et Maequardt, 1996**). Ainsi, **Rajmane et Ranade (1994)** trouvent que l'incorporation de la vitamine E et C ensemble à raison de 150 mg/kg et 200 mg/kg d'aliment respectivement, aide à améliorer la croissance des poulets et leur réponse immunitaire à la vaccination. De plus, la combinaison entre l'acide ascorbique et l' α -tocophérol peut réduire la réponse au stress, qui suit le stress environnemental inévitable imposé aux animaux pendant le transport et la procédure d'abattage (**Young et al., 2003**).

Selon **Cardinali et al. (2015)**, la combinaison de l'extrait du romarin avec l'extrait d'origan (1g/kg pour chacun) est très efficace en retardant l'oxydation des lipides dans la viande de lapin. Ainsi, **Marcinčák et al. (2005)** montrent que l'association de la vitamine E et le romarin est possible pour supprimer significativement le processus de l'oxydation des lipides dans la viande des poulets de chair.

(**Basmacioğlu et al., 2004**) rapportent que l'utilisation de 150 mg/kg de l'huile essentielle d'origan combinée avec 150 mg/kg de l'huile essentielle du romarin avait un effet plus efficace sur la stabilité oxydative de la viande de la cuisse pendant le stockage que l'utilisation de 200 mg/kg d'acétate de l'alpha-tocophérol ou de chaque traitement antioxydant seul.

Chapitre II : Stress avant abattage et qualité de la viande de poulet de chair

Le stress est un mot de plus en plus employé dans le langage courant et dans des circonstances diverses. Aussi, il nous est apparu nécessaire dans un premier temps dans ce chapitre de faire un rappel sur le concept de bien être animal et du mot stress. La deuxième partie de ce chapitre sera consacrée à l'étude de l'état des connaissances concernant les divers indicateurs physiologiques d'évaluation de la réponse au stress chez les oiseaux.

En dernier lieu nous nous sommes focalisés sur les effets du stress avant l'abattage sur l'évolution biochimique *post mortem* du muscle et les qualités de la viande.

1. Notion de bien-être animal

La notion de bien-être consiste à connaître la relation qui existe entre l'animal et son environnement physique, et elle peut se définir comme un état d'harmonie entre l'animal et l'environnement dans lequel il évolue, aboutissant à une parfaite santé mentale et physique de celui-ci (**Hughes, 1976; Yeates, 2010; Probst et al., 2012**). Cependant, cette notion est multifactorielle et les définitions sont nombreuses en raison des différentes interprétations et évaluations morales entre les cultures, les régions, et les individus (**Hughes, 1976; Yeates, 2010; Probst et al., 2012**). La plupart des réglementations et cahiers des charges visant à protéger les animaux sont basées sur les « 5 libertés » du **Farm Animal Welfare Council (1992)** :

- Absence de faim, de soif et de malnutrition ;
- Absence d'inconfort physique ;
- Absence de douleur, de blessure et de maladie ;
- Possibilité d'exprimer les comportements normaux de l'espèce ;
- Absence de peur et de détresse.

D'autres définitions intègrent la notion d'ajustement de l'animal à son milieu. Ainsi, selon certains auteurs, le niveau de bien-être dépend des efforts que l'animal doit fournir pour s'adapter à son environnement (**Broom, 1987**). Si ces efforts sont trop « coûteux », alors le niveau de bien-être sera faible. La troisième catégorie de définitions est basée sur la reconnaissance d'états émotionnels chez l'animal. Le bien-être animal correspondrait alors à l'absence de souffrance, c'est-à-dire d'émotion négative (**Dawkins, 1983**). Les approches présentées ici pour définir le bien-être animal ne sont pas forcément à opposer, et au contraire, elles peuvent se compléter pour aboutir à une conception synthétique du bien-être animal (**Veissier et al., 2000; Veissieret Boissy, 2007**).

2. Notion de stress

Le stress est un terme difficile à définir, mais il peut être considéré comme tous facteurs externes de perturbation de l'animal. Il regroupe l'ensemble des réactions comportementales et physiologiques en réponse à une menace réelle ou imaginaire, associées à un état émotionnel négatif (**Terlouw *et al.*, 2015**).

Les conditions auxquelles sont soumis les animaux durant la période qui précède immédiatement l'abattage comme la capture, la contention en caisse, les conditions de transport, l'élévation ou la diminution de la température, l'accrochage, sont autant de sources de stress qui peuvent affecter notablement la qualité des viandes (**Gregory, 1994 ; Debut *et al.*, 2003 ; Aksit *et al.*, 2006 ; Chulayo *et al.*, 2013**). Par ailleurs, les conséquences d'un stress peuvent varier en fonction de ses caractéristiques (nature, intensité et durée), mais aussi selon la perception qu'aura l'animal, perception qui va évoluer en fonction de l'âge, du sexe, mais aussi du génotype (**Rémignon *et coll.*, 1998 ; Hazard *et coll.*, 2005**).

3. Indicateurs physiologiques d'évaluation de la réponse au stress chez les oiseaux

La réaction de stress a pour objet de rétablir l'homéostasie de l'organisme agressé, afin de le maintenir dans les limites des normes vitales (**Brisville, 2006**). Lorsque l'animal est confronté à une situation stressante, son système nerveux orthosympathique est immédiatement activé et un peu plus tardivement l'axe corticotrope (**Debut *et al.*, 2004**). La plupart des hormones intervenant au niveau de ces deux voies peuvent en fait être considérées comme des indicateurs de réponses au stress des oiseaux. Les étapes et hormones intervenant au niveau de ces deux voies sont représentées dans la figure 2.

Le stress va être perçu puis intégré au niveau du système nerveux central extra-hypothalamique, cette information va ensuite être transmise via la voie nerveuse à l'hypothalamus et au système orthosympathique. L'activation de ce système nerveux entraîne la sécrétion, à partir des glandes surrénales des catécholamines (la noradrénaline et de l'adrénaline) qui stimulent la glycogénolyse hépatique, la lipolyse et la néoglucogenèse et inhibent la sécrétion de l'insuline et de la synthèse du glycogène (**Berne, 2015**). Ces hormones peuvent ainsi être considérées comme les premiers indicateurs de la réponse immédiate au stress. L'adrénaline a pour effet d'augmenter la glycémie et la pression sanguine ou encore le rythme cardiaque et respiratoire qui sont des paramètres mesurables pour estimer le niveau du stress chez les oiseaux (**Hill, 1983; Lefcourt et Elsasser, 2014**). L'axe corticotrope ou axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien représente la deuxième voie utilisée lors de la réponse au stress, elle fait intervenir la corticolibérine qui activera la sécrétion d'adrénocorticotropine ou ACTH dont la concentration sanguine pourra alors être

mesurée. Le rôle de l'ACTH réside dans la stimulation des glandes surrénales qui vont libérer les corticostéroïdes comme la corticostérone, dont l'élévation de la concentration sanguine est utilisée comme indicateur de stress (Hill, 1983; Nijdam *et al.*, 2005; Nakagawa *et al.*, 2009). La corticostérone agit sur les organes lymphatiques provoquant ainsi un changement de la numération leucocytaire ou encore du ratio hétérophiles/ lymphocytes qui est parfois utilisé comme indicateur du stress (Mitchell, 1992 ; Zhang *et al.*, 2009; Vosmerova *et al.*, 2010 ; Voslarova *et al.*, 2011). Les poulets stressés présentent des taux sanguins de corticostérone élevés (CS) (Zhang *et al.*, 2009; Vosmerova *et al.*, 2010 ; Voslarova *et al.*, 2011), cette hormone va à son tour entraîner une augmentation des niveaux d'énergie en agissant sur le métabolisme intermédiaire des hydrates de carbone, protéines et graisses. Un des effets les plus importants de CS est une augmentation dans la production de glucose par le catabolisme des protéines du muscle. Ce catabolisme des protéines musculaires est entraîné directement par néoglucogenèse, les niveaux de glucose plasmatiques augmentent au cours de la néoglucogenèse, et concomitamment il existe une augmentation de l'acide urique excrété (Davison *et al.*, 1985). Par ailleurs, le pancréas peut également participer dans la réponse au stress, par la sécrétion du glucagon qui augmente la concentration sanguine des acides gras libres, cette hormone peut être considérée comme un indicateur d'évaluation de la réponse au stress chez les volailles (Freeman *et al.*, 1984).

Un autre indicateur de la réponse au stress des oiseaux est la mesure de l'activité de la créatine kinase plasmatique, enzyme importante des muscles squelettiques, l'activité élevée de cette enzyme au niveau plasmatique est indicatrice de dommages musculaires (Zhang *et al.*, 2009; Vosmerova *et al.*, 2010; Voslarova *et al.*, 2011) et est parfois associée à des myopathies induites par un stress de chaleur (Mitchell et Sandercock, 1995 ; Sandercock *et al.*, 2001) ou encore de transport (Mitchell, 1992).

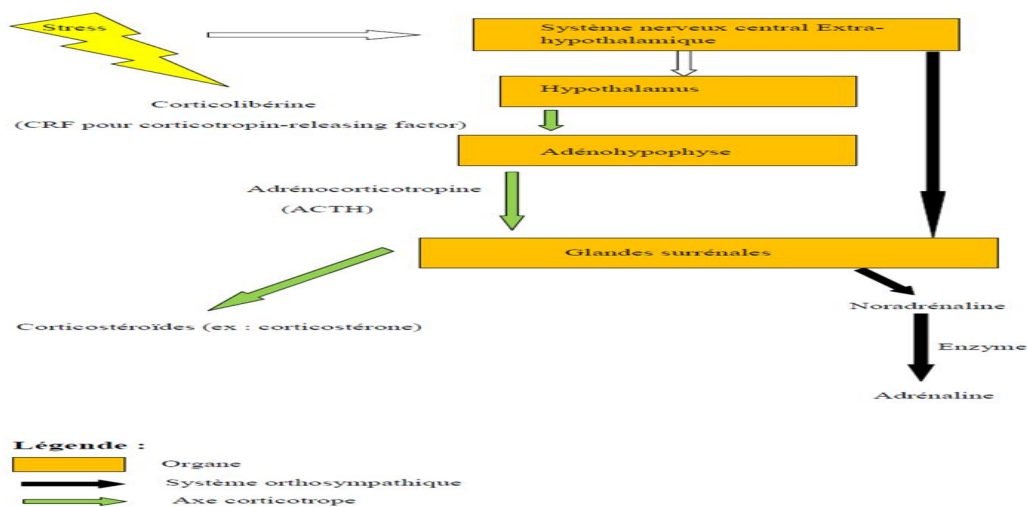


Figure 2 : Principaux indicateurs de réponses au stress intervenant au niveau du système nerveux orthosympathique et de l'axe corticotrope, d'après Siegel (1971).

4. Effets du stress *ante-mortem* sur l'évolution biochimique *post mortem* du muscle

Après la saignée, les mécanismes biochimiques de maintien de l'homéostasie continuent et les cellules musculaires consomment de l'énergie pendant un certain temps. Cependant, la circulation sanguine est interrompue, et les nutriments ainsi que l'oxygène ne sont plus fournis aux muscles. Les seules réactions biochimiques qui persistent sont les réactions anaérobies telles que la glycogénolyse et la glycolyse. La glycogénolyse produit du glucose-6-phosphate (G6P) à partir du glycogène musculaire. Le G6P est ensuite utilisé pour former de l'ATP lors de la glycolyse. Cette dernière réaction est génératrice de protons et d'acide lactique responsables de l'acidification progressive du muscle jusqu'à une valeur dite pH ultime. L'amplitude et la vitesse de la diminution *post-mortem* du pH musculaire ont des conséquences notables sur les qualités technologiques et organoleptiques des viandes. Des travaux ont montré que l'état de stress de l'animal à l'abattage, influe sur le métabolisme musculaire *post-mortem* et les qualités des viandes (**Rosenvold et Andersen, 2003**).

Les réponses de stress qui surviennent au cours de la période qui précède (de quelques heures) et qui entoure l'abattage, peuvent contribuer à augmenter l'activité ATPasique du muscle, l'activité musculaire contractile, la température corporelle et la sécrétion de certaines hormones de stress (catécholamines et glucocorticoïdes) (**Cassens et al., 1975 ; Kannan et al., (1997) ; D'Souza et al., 1998**), ce qui peut affecter le métabolisme post mortem. Certains de ces facteurs susceptibles d'augmenter la concentration de calcium dans le sarcoplasme de la cellule avant l'abattage, conduisent à une accélération de la chute du pH post mortem par l'activation des ATPases (**Young et Lyon, 1997**). Les mécanismes par lesquels le stress modifie l'évolution biochimique post mortem du muscle sont illustrés dans la figure 3.

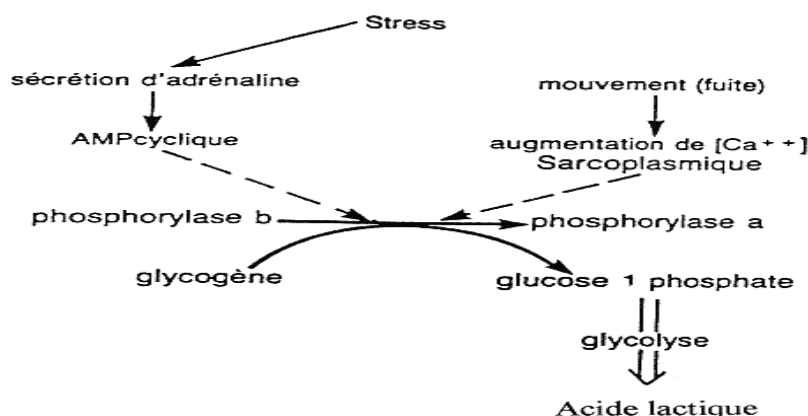


Figure 3 : Mécanismes par lesquels le stress modifie l'évolution biochimique *post mortem* (**Monin, 1988**).

En augmentant l'activité ATPasique du muscle de poulet, le stress avant l'abattage (le jeûne, les manipulations, le transport, l'attente en cage et les températures extrêmes) accélère la chute du pH (**Berri et Jehl, 2001**). En revanche, dans une étude antérieure réalisée sur le muscle de canard, **Chen et al., (1991)** suggèrent que le stress ante mortem accélère la chute du pH post mortem en augmentant l'activité de la lactate déshydrogénase, la créatine phosphokinase et la phosphatase alcaline et non pas celle de l'ATPase des protéines myofibrillaires.

Les deux auteurs (**Addis, 1986** et **Debut, 2004**) rapportent que le battement des ailes sur la chaîne d'accrochage augmente l'activité métabolique du muscle pectoral provoquant ainsi une accumulation d'acide lactique (animal toujours vivant) et une chute du pH post mortem plus rapide.

5. Effets des réponses au stress sur les qualités de la viande

Les qualités des viandes sont sous l'influence de plusieurs facteurs génétiques et environnementaux. La qualité des viandes et des carcasses des animaux peut être améliorée par une meilleure maîtrise des conditions de leur transport et de leur abattage. En effet, les stress de toutes natures qui surviennent au cours de ces opérations peuvent modifier le métabolisme musculaire avec des conséquences sur de nombreux critères de qualité (**Monin, 2003**).

5.1. Effet de la mise à jeun

La qualité sanitaire est une préoccupation majeure. En effet, les carcasses peuvent être contaminées par différents pathogènes telles que les bactéries *Salmonella* et *Compylobacter*. Cette contamination se fait le plus fréquemment à l'abattoir, la matière fécale contenue dans le tube digestif pouvant être répandue accidentellement lors de l'éviscération des animaux. Dans le but de diminuer le danger de contamination, les oiseaux sont mis à jeun quelques heures avant leur mise en caisse afin de réduire leur contenu intestinal (**Warriss et al., 1999; El Rammouz, 2005**). Une durée de jeûne courte (moins de 8 heures) augmente le risque de contamination fécale alors qu'une longue durée de jeûne (18 heures et plus) affecte le rendement de production (**Chen et al., 1983 ; Benibo et Farr, 1985 ; Veerkamp, 1986**). La durée de jeûne recommandée avant l'abattage varie en moyenne de 8 à 12 heures (**Farr, 1979**). Cette diète va également modifier les qualités des viandes, avec cependant des variations entre études en fonction des conditions expérimentales. Ainsi, **Buyse et al. (2002)** rapportent qu'elle cause un changement de l'anabolisme au catabolisme et de la lipogénèse à la lipolyse. **Nijdam et al. (2005)** notent aussi que la privation alimentaire avant la capture des animaux est susceptible d'augmenter le taux de la corticostérone et peut diminuer les teneurs en glycogène et influencer le pH, mais les résultats varient selon les muscles et les études (**Terlouw et al., 2015**) . De même, **Sams et Mills (1993)** observent une diminution progressive des réserves en glycogène estimées à 4,7

mg/g de muscle en absence de mise à jeun et à 3,08 mg/g de muscle après un jeûne de 10 h.

Kotula et Wang (1994) dénotent une réduction marquée et progressive de la quantité de glycogène dans le filet variant de 7,04 (sans mise à jeun) à 5,35 et 3,48 mg/g de muscle après 12 h et 36 h de diète respectivement. En ce qui concerne l'effet de la durée de la mise à jeun sur la quantité de glycogène dans le foie, ces deux auteurs rapportent que cette quantité est réduite d'environ 40% après 36 h de jeun.

Selon **Sams et Mills, (1993)** et **Warriss et al. (1999)** cette réduction drastique des réserves en glycogène pourrait rendre les animaux plus sensibles aux stress subis par la suite pendant le transport et à l'abattoir, occasionnant davantage de problèmes pathologiques et de la mort, mais ce fait n'est pas clairement établi.

En termes de qualité de la viande de poulet, **Kotula et Wang (1994)** observent une diminution significative du pH post mortem (3 minutes post mortem) (de 6,97 à 6,36) et de la tendreté de la viande après des jeûnes allant de 0 à 36 h. Cette acidification plus rapide des muscles des oiseaux mis à jeun peut s'expliquer en partie par de l'arrêt de l'apport en glucose alimentaire, ce qui entraîne l'initiation précoce de la glycolyse anaérobie musculaire avant même la mort de l'animal. A l'inverse, et malgré une diminution du glycogène musculaire en fonction du temps de jeun, ces derniers auteurs n'observent pas de différences significatives du pH ultime, de la couleur ou du pourcentage d'humidité (relié à la jutosité) de la viande. De même que **Savenije et al. (2002)** rapportent qu'il n'y a pas une influence du jeûne avant l'abattage (5 h de jeûne) sur la couleur de la viande de poulet mesurée à 96 h post mortem.

Selon une étude effectuée sur les filets de poulet, une durée de mise à jeun trop longue augmente le pHu et diminue la luminance. En conséquence, elle conduit à un risque plus important d'observer des filets ayant les caractéristiques des viandes de type DFD (Dark Firm and Dry) résultant d'une utilisation rapide du glycogène dans le muscle (**Gajana et al., 2013**). Ce type de viandes d'aspect sombre, fermes et sèches, pose des problèmes de conservation, puisqu'elles sont plus sensibles aux développements bactériens (**Gigaud et al., 2006**). Imposer une mise à jeun trop longue (jusqu'à 24 heures) constitue un stress et peut entraîner des pertes de poids, jusqu'à 10% du poids vif et 6% du poids de carcasse selon **Warriss et al. (1999)**. Par ailleurs, même avec des temps de mise à jeun prolongés, on n'évite pas le risque de contamination entre animaux par les défécations, elles mêmes dépendantes du niveau du stress des animaux au moment de leur mise en caisse et pendant le transport (**Debut et al., 2004**).

5.2. Effet du ramassage

Le ramassage tient compte des manipulations, de la mise en caisse et du convoyage des animaux vers le camion. Peu d'études se sont intéressées à un effet du ramassage sur la qualité de la viande de poulets. Durant cette phase, les animaux sont pourtant attrapés par les pattes et ramenés vers les conteneurs dans cette même position. **Kannan et Mench, (1996)** rapportent en effet que cette position très stressante entraîne le redressement des poulets et des battements d'ailes plus ou moins importants et longs, qui sollicitent les muscles du filet très glycolytiques (**Debut et al., 2005**).

Gigaud et al. (2006) rapportent que selon l'état de la litière, le convoyage des conteneurs vers le camion peut être plus ou moins difficile et augmente ainsi l'inconfort et probablement le niveau de stress des animaux. Et ils montrent également que l'allongement de la durée de ramassage induit une diminution du pHu de la viande qui pourrait suggérer des réserves énergétiques préservées chez les animaux ramassés sur une plus longue période.

Selon **Chloupek et al. (2008)**, **Voslarova et al. (2011)** la durée de mise en caisses augmente significativement le niveau de corticostérone plasmatique traduisant un état de stress accru des animaux.

Les principaux défauts de carcasses liés le plus souvent aux conditions de ramassage des volailles sont : les hématomes, les griffures ou encore, dans une moindre mesure, des fractures subies par les animaux, ceux-ci peuvent entraîner un déclassement des carcasses à l'abattoir, ou dans les cas sévères, la mort des animaux pendant le transport (**Debut et al., 2004**). En termes de qualité de la viande, **Kannan et al. (1997)** ne notent aucune différence de perte en eau à la cuisson, de texture, ou de couleur du filet entre des lots des poulets mis en caisse pendant des durées variant de 0 à 4 h.

5.3. Effet du transport et des changements thermiques environnementaux

Le transport est une composante essentielle de l'industrie de la volaille, et peut causer des différents degrés de stress pour les oiseaux, allant d'un léger inconfort jusqu'à la mort (**Schwartzkopf-Genswein et al., 2012**). Le transport est un facteur de stress complexe qui implique l'état des oiseaux à la grange (état de santé avant le transport), la manutention, le chargement, le déchargement, les fluctuations de la température et de la densité, la mise à jeun, les mouvements et vibrations, les bruits et la durée du transit (**Schwartzkopf-Genswein et al., 2012; Vimiso et Muchenje, 2013; Pereira et al., 2015**). En outre, l'effet de transport ne s'arrête pas à l'abattage, mais affecte la conversion du muscle en viande et les paramètres de qualité de la viande qui en résultent telles que la couleur, la texture et la fonctionnalité des protéines connexes qui pourraient avoir des effets négatifs sur l'acceptabilité du consommateur et la fonctionnalité de traitement des autres produits transformés, qui à son tour peut

provoquer des pertes supplémentaires pour l'industrie (**Schwartzkopf-Genswein et al., 2012**).

Le transport pour une longue distance induit tout d'abord une diminution du poids vif et poids de la carcasse (**Jayaprakash et al., 2016**). **Oba (2009)** observent que le poids vif des poulets de chair diminue de 2,11, 3,03 et 4,82 % pendant 30, 90 et 180 minutes de transport respectivement. **Karaman (2009)** rapporte une réduction significative du poids vif des poulets de chair pendant le transport. Ce même facteur peut causer aussi de la mortalité, dont le pourcentage augmente avec le stress thermique et les longues durées du transit sans repos (**Von Keyserlingk et al., 2009; Melesse et al., 2011**). Ainsi, **Nijdam et al. (2004)** rapportent une augmentation de 6% dans le *Died on arrival* (DOA) (morts à l'arrivée) pour chaque 15 minutes supplémentaires dans le temps de transport des poulets, et a conclu que l'effet de la température associé à celui de la durée du trajet est un déterminant important de DOA. Par contre, **Vosmerova et al. (2010)** fait remarquer que la durée plus courte des transports pourrait être plus stressante pour les oiseaux, car ils n'ont pas assez de temps pour se remettre du stress induit lors de la manipulation et de mise en caisse, ce qui s'est avéré être le plus élevé de toutes les sources de stress.

Dans une enquête anglaise portant sur plus de 3,2 millions de poulets et 1000 transports, **Warris et al. (1992)** observent que si le taux de mortalité reste relativement stable pour des transports de moins de 4 h (0,15 %), il augmente drastiquement (0,28%) pour des transports plus longs, traduisant une détérioration des conditions de maintien des animaux pour des durées longues de transport.

Le transport induit des changements dans la composition du sang, le rythme cardiaque, les concentrations des hormones, les enzymes métaboliques, le poids vif et la qualité de la viande (**Jayaprakash et al., 2016**). Ainsi, **Zhang et al. (2009)** rapportent que le transport des poulets de chair cause une augmentation de la glycolyse qui résulte de la diminution du taux du glycogène dans les deux muscles (le filet et la cuisse). De plus, il est associé à un accroissement du métabolisme énergétique de muscle squelettique, une accélération de la peroxydation lipidique, et à une apparition de dommages cellulaires (**Zhang et al. 2010**).

Chez les poulets, le stress et l'activité avant l'abattage sont impliqués dans les variations du pH (**Debut et al. 2003**). Tandis que, la valeur finale du pH de la viande dépend principalement de la quantité du glycogène au moment de l'abattage (**Berri et al. 2005, 2007**). Les effets du transport sur les qualités des viandes dépendent également du muscle. Ainsi, un transport de 6 h augmente le pH ultime du *Biceps* mais diminue celui du *Pectoralis* (**Warris et al., 1993**). Ces oppositions s'expliquent en partie par des différences de type métabolique et de fonction physiologique entre ces deux muscles : le *biceps* est moins riche en glycogène et probablement plus sollicité pendant le transport afin de maintenir l'équilibre, que le *pectoralis* (**Warris et al.,**

1993). En revanche, en étudiant la qualité de la viande du filet de dinde **Owens et Sams, (2000) trouvent que** les pH initiaux et ultimes sont significativement plus élevés et la luminance est plus faible pour des animaux (dindes) transportés pendant 3 h. Cependant, **Gigaud et al. (2006)** montrent que la luminance de la viande diminue et le pHu augmente de manière significative au-delà de 2 heures de transport.

Debut et al. (2003) observent que l'effet principal du transport d'une durée de 2 h augmente significativement le pH de muscle de la cuisse (6,21 vs 6,13) et diminue la luminance et l'indice de rouge. Cette augmentation peut être liée à l'épuisement des réserves hépatique et musculaire en glycogène mais également au ralentissement de l'acidification du muscle post mortem. En définitive ces résultats semblent indiquer que l'effet associé du stress et de l'épuisement des réserves en glycogène pourrait expliquer les niveaux de pHu plus élevés au-delà de 2 h 30 de transport (**Warris et al., 1999**). Par ailleurs, **Ehinger, (1977)** montre qu'après un transport de 2 h, la tendreté et le pouvoir de rétention d'eau de la viande sont significativement plus faibles par rapport à un transport plus long de 4 h. Cette variabilité dans les résultats pourrait s'expliquer par la différence des conditions du transport, mais aussi des génotypes utilisés (**Debut et al., 2004**).

Par ailleurs, les transports ayant lieu toute l'année, il arrive qu'en été les animaux subissent un "coup de chaleur" néfaste pour la qualité des carcasses et de la viande. Ainsi, **Petracci et al. (2001)** notent une baisse significative du poids des carcasses des animaux transportés à 34 C° par rapport à ceux transportés à 25 C° ou 29,5 C°. Des stress thermiques à 33 C° pendant 2 h et 35 C° pendant 2 h avant la mort conduisent à une diminution du pH ultime. Les conséquences en terme de qualité de la viande sont défavorables, allant vers une augmentation de la pâleur des viandes (**Debut et al., 2003**), une augmentation des pertes en eau de la viande crue ou cuite (**Petracci et al., 2001**) associée à une texture de la viande cuite plus dure (**Holm et Fletcher, 1997**) ou encore à une diminution du rendement technologique (**Debut et al., 2003**). A l'opposé, en hiver les transports peuvent produire des "coups de froid" dont les conséquences ont été relativement peu étudiées. (**Holm et Fletcher, 1997**) ont mesuré le pH ultime, la réflectance (L*), les indices de rouge (a*) et de jaune (b*), les pertes en eau à la cuisson et la résistance au cisaillement de la viande de poulets transportés à 7°C, 18°C ou 29°C. Ils ne mettent pas en évidence aucune différence significative du pH, de couleur, de pouvoir de rétention d'eau ou encore de dureté de la viande des animaux transportés à 7°C par rapport aux témoins maintenus à 18°C. Dans leur étude, seul le "coup de chaleur" affecterait significativement certains indicateurs de la qualité de la viande.

En ce qui concerne l'effet du transport sur les paramètres sanguins, **Mitchell et al. (1992)** observent chez les poulets standards une augmentation du taux plasmatique de créatine kinase, ainsi, que des changements dans la numération leucocytaire et le ratio hétérophiles/ lymphocytes après un transport de 3 h. Ainsi, **Freeman et al. (1984) et Zhang et al. (2009)** dénotent chez des poulets standards aussi, une augmentation de la concentration plasmatique de la corticostérone allant d'environ 1,4 ng/ml en situation contrôle à 4,5 et 5,5 ng/ml après un transport de 2 et 4 h, respectivement. De plus, ces mêmes auteurs observent une augmentation de la concentration d'acides gras libres chez les poulets transportés 2 et 4 h, qu'ils relient à la sécrétion par le pancréas de glucagon en réponse à un stress aigu. L'élévation des taux de glucocorticoïdes (telle que la corticostérone) est en effet associée, au niveau du muscle, à une augmentation de l'oxydation des lipides, une activation du transport du glucose (**Wang, 2005**), et à une augmentation de la protéolyse (**Menconi et al., 2007**). De même, le temps de transport pourrait affecter de manière significative le taux de glucose plasmatique (**Vosmerova et al., 2010; Zhang et al., 2009**). **Zhang et al. (2009)** décrivent une augmentation de la glycémie pour la première fois après 45 min de transport qui est expliquée comme le résultat de la dégradation du glycogène hépatique et une diminution substantielle qui suit le transport à long terme, montrant que les réserves de glycogène ne peuvent pas compenser l'épuisement de glucose plasmatique après une période prolongée de temps. Une réduction significative de la glycémie après 130 km de transport est également rapportée par **Vosmerova et al. (2010)** pour le transport en automne et en hiver, par rapport aux poulets de chair non transportés. D'autres auteurs observent aussi une diminution de niveau du glucose et une augmentation de la concentration de la corticostérone chez les poulets de chair après le transport (**Ondrašovičová et al., 2008; Pijarska et al., 2006**). Par contre, **Nijdam et al. (2005)** observent que le taux du glucose sanguin des poulets de chair augmente au début du processus de la capture et augmente davantage pendant le transport.

5.4. Effet de l'accrochage sur la chaîne d'abattage

L'accrochage est une source de douleur et de peur (**Kannan et al., 1997, Gentle et Tilston, 2000**). Un questionnement existe quant à la recommandation d'une durée "optimale" d'accrochage, qui doit être limitée en raison de la position inconfortable alors imposée à l'animal. Cependant, elle doit être suffisante pour permettre à l'animal de se calmer avant son abattage (**Debut et al., 2004**). L'accrochage met l'animal dans une position angoissante, et provoque des battements d'ailes qui peuvent induire des blessures et des fractures des ailes (**Gregory et Wilkins 1989, Debut et al., 2005**). La durée de l'accrochage est également positivement corrélée avec les niveaux plasmatiques de corticostérone, de glucose et de lactate (**Kannan et al., 1997, Debut et al., 2005, Bedanova et al., 2007**).

Par ailleurs, une étude britannique suggère quelques "facteurs déclenchants" des battements d'ailes, tel qu'un accrochage trop brutal, un bruit ou une lumière trop vive, des crochets de taille mal adaptée. L'activité sur la chaîne d'abattage apparaît défavorable en termes de qualité de la viande en comparant des dindes anesthésiées avant accrochage ou pouvant se débattre sans aucune contrainte (**Grandin, 1998**). D'autres études montrent des liens entre les réactions des animaux à l'accrochage et la couleur de la viande : chez le poulet, l'indice de rouge du *Pectoralis* augmente avec la durée d'accrochage (**Schneider et al., 2012**) et chez les dindes, la luminosité de ce muscle est plus basse lorsque celles-ci se débattent davantage pendant l'accrochage (**Ngoka et Froning, 1982**).

Dans une autre étude menée par **Debut et al. (2003)**, des poulets de souches Standard et Label ont été abattus soit après 2 h de transport, soit après 2 h d'exposition à la chaleur (35°C) et comparés à des poulets abattus dans des conditions « témoins », ces auteurs observent un impact important de l'activité des oiseaux sur la chaîne d'abattage sur les critères de la qualité de la viande, la diminution du pH est significativement plus rapide et la cinétique d'évolution du pH dépend plus des conditions d'abattage chez les poulets de souche Label, par rapport aux poulets de souche Standard. Ainsi, les facteurs qui favorisent une accélération de la diminution du pH sont d'ordre génétique (souche Label) et comportemental (battements des ailes) (**Terlouw et al., 2015**). Ces auteurs remarquent une acidification plus rapide des muscles de filet et de la cuisse chez les oiseaux se débattant le plus violemment sur la chaîne d'abattage. La coloration rouge du filet est augmentée par l'activité très probablement en raison d'un flux sanguin plus important au niveau des muscles. L'agitation des animaux sur la chaîne d'abattage peut donc être un facteur de risque dans l'apparition des phénomènes de "contracture au chaud" (ou "heat shortening") aboutissant à des viandes dures. Le filet est plus sensible que la cuisse au phénomène de contracture au chaud. Les résultats de **Debut et al. (2003)** précisent davantage les sensibilités différentes des différents types de muscle à ces phénomènes ; plus marquée dans le cas du filet du fait de son caractère glycolytique et son rôle primordial dans les battements d'ailes, la sensibilité est moins prononcée pour la cuisse du fait de son caractère plus oxydatif et sa moindre sollicitation par les mouvements des animaux sur la chaîne.

Chapitre III : Utilisation de la graine de colza dans l'alimentation des poulets de chair

Les hausses de prix des graisses et des huiles sont dues à l'augmentation de la demande de l'industrie des biocarburants et du secteur alimentaire, ainsi les prix des aliments destinés aux poulets de chair tel que le maïs et le tourteau de soja ont par la suite augmenté (**Barekatin et al., 2015**).

Le colza est une matière première très appréciable sur le plan nutritionnel au point où elle concurrence le soja et les céréales en alimentation animale par sa richesse en protéines et en énergie. Elle présente une bonne composition en acides aminés y compris les acides aminés essentiels (**Roman et al., 2010**). Cette graine oléagineuse est très riche en acides gras polyinsaturés surtout ceux appartenant à la famille oméga 3 en particulier l'acide alpha linoléique qui est un précurseur de la synthèse de l'acide écosapentaénoïque (EPA 20:5n-3) et l'acide docosahexaénoïque (DHA 22:6n-3) ce qui permet d'enrichir la viande des animaux en ces acides gras (**Kouba et Mourot, 2011**) connus par leurs effets bénéfiques sur la santé.

1. Le colza

Le colza, *Brassica napus* L, est une plante oléagineuse appartenant à la famille des *Brassicacées* appelée anciennement Crucifères. C'est un hybride naturel issu d'un croisement spontané entre le chou et la navette. Les fruits sont des siliques (Fruit sec semblable à la gousse à la différence qu'elle comporte une fausse cloison à laquelle sont fixées les graines) (figure 4). La culture de colza est très répandue dans le monde, principalement dans les zones tempérées. Actuellement la Chine, l'Inde, l'Europe et le Canada sont les plus grands producteurs dans le monde (**Slimani, 2011**). La production a augmenté en raison de l'augmentation de la demande de l'huile végétale (Chine et l'Inde) et l'utilisation des biocarburants (Europe) (**USDA, 2013b**) (tableau 1).



Figure 4: Plante et graines de colza (**CETIOM, 2007**).

Tableau 1: Production mondiale de la graine de colza (USDA, 2013b)

Pays	Production en pourcentage (2012- 2013)
Union européenne	31,2
Chine	22,8
Canada	21,77
Inde	11,12
Autres pays	13,82

2. Composition chimique de la graine

2.1. Principaux composés

Le colza constitue une plante de haute valeur nutritionnelle par sa richesse en protéines et en lipides et surtout par la qualité de ses composés. La graine entière contient un taux élevé de lipides (55%), dont 85% sont des acides gras à 18 atomes de carbone ; l'acide oléique (C18 :1) est le prédominant des acides gras (Ackman, 1990). Elle est riche en acides gras les plus recherchés à savoir les mono et les polyinsaturés, leur proportion est assez élevée par rapport à celle des acides gras saturés. La graine de colza entière contient aussi une teneur élevée de protéines (20 à 30% Murphy *et al.*, 1987; Barthet et Daun, 2011) (tableau 2).

Les graines de ces espèces contiennent généralement 40% ou plus d'huile et produisent des tourteaux avec 35 à 40% de protéines (Raymer *et al.*, 1990). Sa teneur en acides aminés est assez bien équilibrée avec la présence de tous les acides aminés indispensables tel que la lysine, la thréonine, le tryptophane, et les acides aminés soufrés (Roman *et al.*, 2010).

Elle renferme aussi une proportion non négligeable en hydrates de carbone et composés pariétaux (cellulose) ainsi que d'autres constituants à savoir les éléments minéraux et les vitamines (Slimani, 2011) (figure 5).

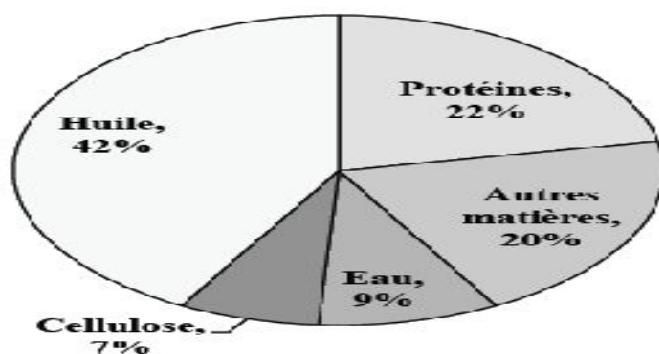


Figure 5 : Proportions des différents composés de la graine de colza (CETIOM, 2009).

Tableau 2: Composition de la graine de colza en acides gras selon **Rahimi et al. (2011)**

Acide gras	Proportion (%)
Acide oléique ω9	56,45
Acide linoléique ω6	26,4
Acide alpha-linolénique ω3	9,21
Acides gras saturés	6,72
Acide palmitique	4,52
Acide stéarique	1,93

2.2. Autres composés « les glucosinolates »

Les glucosinolates ou hétérosides soufrés sont des composés synthétisés par toutes les plantes de la famille des Brassicacées tel que le chou, le navet, la moutarde...etc. Ils sont formés d'une molécule de glucose, d'un groupement soufré et d'un acide aminé. Ces substances sont utilisées par la plante comme moyen de défense contre les insectes ravageurs, elles sont responsables du goût amer et de l'inappétence (**Tripathi et Mishra, 2007; Slimani, 2011**). Les effets biologiques de ces composés sont donnés dans le tableau 3.

Grâce à la sélection génétique visant la diminution de la teneur de ces composés indésirables, de nouvelles variétés ont été obtenues.

- La variété « 0 » est une variété sélectionnée contre la forte teneur en acide érucique, elle n'en contient pas plus de 2% (**Newkirk, 2009**). Cet acide gras a été soupçonné d'avoir une toxicité cardiaque pour l'homme (démontrée chez le rat).
- La variété « 00 » est une variété doublement sélectionnée par les canadiens pour réduire à la fois sa teneur en acide érucique et en glucosinolates, sa teneur en acide érucique est inférieure à 2% et celle des glucosinolates est inférieure à 20μmol/g (**Slimani, 2011**).

Tableau 3: Effets biologiques des glucosinolates sur les volailles (**Tripathi et Mishra, 2007**)

Glucosinolates (μmole/g d'aliment)	Effets sur les volailles
34,0	Dépression de croissance sévère
0,9	Aucun effet indésirable sur la consommation alimentaire et la croissance
7,6-15,3	Dépression de croissance sévère
4,6	Réduction de la consommation alimentaire par 0,09%
5,4-11,6	Aucun effet indésirable sur la consommation alimentaire et le gain de poids

3. Utilisation

Le colza est une plante largement utilisée en alimentation notamment en alimentation humaine et animale, elle a aussi servi dans l'industrie comme biocarburant et engrais fertilisant en agriculture. La graine de colza est utilisée pour son huile qui est très appréciée sur le plan nutritionnel. Elle constitue l'une des trois principales sources d'huile en Europe après l'olivier et le tournesol avec un rendement de 40 à 45% (**Slimani, 2011**).

L'huile de colza est la plus consommée devant l'huile de tournesol et de soja en raison de sa richesse en acides gras mono insaturés de la famille des oméga 9 tel que l'acide oléique (60%), et des acides gras polyinsaturés de la famille des oméga 6 tel que l'acide linoléique (22%) et l'acide linoléique (9%) de la famille des oméga 3 ; ce qui fait d'elle une huile recommandée pour la prévention des risques de maladies coronariennes (**Koike et al., 2000**), comme elle peut intervenir aussi dans la prévention de cancer du sein et de certaines maladies de la peau et du cerveau.

Le colza occupe une grande part dans l'alimentation animale, il est utilisé sous plusieurs formes : plante entière sous forme de fourrage, graine entière ou sous forme de tourteau issu de l'extraction de l'huile de la graine. Le tourteau est la forme la plus utilisée notamment dans l'alimentation du gros bétail. Il constitue une source protéique très intéressante qui vient concurrencer le tourteau de soja en raison de sa teneur équilibrée en acides aminés ainsi que l'absence de déficience en acides aminés indispensables (**Slimani, 2011**).

4. La graine de colza dans l'alimentation des poulets de chair

4.1. Effets sur les performances de croissance

La graine de colza contribue considérablement à l'énergie métabolisable plus que l'huile extraite par les solvants ou le tourteau de colza. Ce qui la rend un ingrédient attrayant pour les poulets de chair. Sa teneur en énergie métabolisable varie entre 4,50 à 5,63 kcal/g de matière sèche (**Barekatin et al., 2015**). Cependant, certaines études indiquent que l'utilisation de la graine de colza en quantité élevée (175 g/kg d'aliment) diminue les performances de croissance des poulets de chair (**Summers et al., 1982**).

La faible digestibilité de l'énergie de la graine de colza et la mauvaise performance de croissance des poulets de chair qui en résulte ; sont liées à la couverture de l'huile par les polysaccharides de la paroi cellulaire dans la graine (**Lee et al., 1991**). L'utilisation d'une enzyme exogène pour extraire plus d'énergie de la graine est une méthode souhaitable (**Rezaeipour et al., 2015**). Toutefois, la graine de colza contient des substances indésirables y compris les glucosinolates, la sinapine, les tannins et l'acide phytique qui peuvent affecter négativement plusieurs processus physiologiques et l'état de santé par la réduction du taux des hormones thyroïdiennes et la diminution de l'absorption des minéraux (**Roman et al., 2010**).

Roth Maier *et al.* (1988) montrent que l'utilisation de 5, 10, 15, 20 et 25% de la graine de colza dans le régime alimentaire présente un effet négatif sur la croissance des poulets. Les effets négatifs de l'alimentation des oiseaux avec des régimes contenant la graine de colza sont attribués à la faible disponibilité de sa fraction lipidique (**Lee *et al.*, 1991**), et la présence des facteurs antinutritionnels (**Chadha *et al.*, 1995; Roth-Maier *et al.*, 1998**) tel que le déséquilibre lysine-arginine (**Klosterman *et al.*, 1967; Summers et Leeson, 1978; Oomah *et al.*, 1992; Talebali et Farzinpour, 2005**). Aussi, l'existence de l'acide phytique qui réduit la capacité d'absorption du calcium, et par conséquent l'inhibition des enzymes protéolytiques (**Summers *et al.*, 1988**).

Dans une autre étude conduite par **Meng *et al.* (2006)**, l'incorporation du 5^{ème} jusqu'au 18^{ème} jour de 150g/kg de graine de colza dans l'aliment entraîne une faible digestibilité des lipides et des protéines et affecte négativement l'énergie métabolisable du régime alimentaire.

Leclercq *et al.* (1989) rapportent que la graine de colza peut être introduite dans les aliments destinés aux volailles à un taux d'incorporation maximum de 10 %. Il est toutefois indispensable de lui faire subir un traitement mécanique et/ou thermique qui en modifie l'intégrité physique de façon à la rendre parfaitement digestible. Parmi ces traitements technologiques figurent : le broyage, la granulation de l'aliment composé ou l'extrusion en mélange avec une autre matière première. Ils augmentent tous la digestibilité des lipides et la valeur énergétique de la graine. Dans leur étude, la graine non broyée a conduit à de mauvaises performances, qu'il s'agisse du gain de poids ou de l'indice de consommation. Lorsqu'elle a subi un broyage ou un traitement technologique comme la granulation ou l'extrusion elle permet des vitesses de croissance plus proches de celles d'un lot témoin recevant le plus souvent un aliment à base de tourteau de soja et de céréales.

4.2. Effets sur la qualité de la viande

Les poulets n'ont pas la capacité de synthétiser les acides gras polyinsaturés ; donc, ces derniers doivent être apportés par l'alimentation. Les résultats des études effectuées pendant les années précédentes montrent que la composition des acides gras contenus dans les carcasses des poulets peut être facilement modifiée par l'alimentation (**Aziza *et al.*, 2010 a, b**). Il a été trouvé que les acides gras polyinsaturés α -linoléique (C18:3 *n*-3; ALA) et linoléique (C18:2 *n*-6; LA) contenus dans les ingrédients de l'aliment des animaux monogastriques, sont absorbés et incorporés dans une forme inchangée dans les lipides tissulaires, ce qui influence la composition en acides gras des muscles (**Flachowsky *et al.*, 1997; Barowicz *et al.*, 2002**).

Ainsi, **Rahimi et al. (2011)** rapportent que la composition en acides gras des muscles des volailles est un paramètre de qualité important car la consommation de la viande des volailles affecte potentiellement la santé humaine.

Cependant, certains auteurs dénotent que le niveau d'insaturation des graisses apportées dans le régime alimentaire des animaux n'a pas d'influence sur la teneur des lipides musculaires (**Scaife et al., 1994; Crespo et Esteve-Garcia, 2002**).

Ainsi, **Rahimi et al. (2011)**, ont incorporé la graine de colza dans l'alimentation des poulets de chair avec des proportions de 7,5 et de 15%, et ils rapportent que la composition en acides gras des tissus reflète généralement le profil en acides gras de l'alimentation, la supplémentation du régime en AGPI n-3 augmente la teneur de ces acides gras dans la viande des volailles surtout la proportion de l'acide alpha-linolénique (**Ozpinar et al., 2002; Kahraman et al., 2004; Shen et al., 2005**).

Kamran et al., (2009), montrent que l'addition de la graine de colza à l'aliment des poulets à raison de 7,5 et 15% augmente la proportion des AGPI dans la viande conduisant à la diminution du rapport AGPI : AGS et du rapport n-6 :n-3 comparativement au témoin (0,40 et 0,35 vs 0,47) et (6,13 et 3,79 vs 12,92) respectivement. Les résultats de cette étude sont en adéquation avec ceux obtenus par d'autres travaux **Gonzalez- Esquerra et Leeson (2000)** et **Shen et al. (2005)**.

Par ailleurs, **Salamatdoustnobar et al. (2007)** ont ajouté 2 et 4% de l'huile de colza à l'alimentation des poulets de chair, et ils observent que l'addition de cette huile augmente l'accumulation des AGPI de longue chaîne (n-3) dans les tissus musculaires. De plus, ils remarquent que le ratio n-6 / n-3 diminue avec l'augmentation de la quantité de l'huile incorporée. **Gallardo et al. (2012)** ont obtenu des résultats similaires à ceux trouvés par **Salamatdoustnobar et al. (2007)** avec des doses de 5 et 10 % d'huile de colza.

Partie expérimentale

Introduction

Les viandes rouges restent inaccessibles à la majorité de notre population vu leur cherté, l'Algérien se retrouve dans l'obligation de recourir aux viandes blanches pour essayer d'équilibrer, dans la mesure du possible sa ration alimentaire déficitaire en protéines animales. Le poulet atteint son poids d'abattage à 6-8 semaines d'âge. Il a la capacité de convertir les protéines contenues dans les plantes riches en cellulose, inutilisables par l'homme, en protéines animales de haute valeur biologique. Il peut fixer en viande comestible jusqu'à 23% de protéines alimentaires. Ainsi, pour satisfaire aux besoins en protéines animales de la population, l'Algérie doit donner plus d'importance à ce secteur d'élevage, pour approvisionner le marché local en viande hautement diététique, pour pallier l'insuffisance des viandes rouges dans la ration alimentaire moyenne des consommateurs, d'un côté, et fournir un produit de qualité d'un autre côté (**Benathmane, 2012**).

La finalité et l'objectif du secteur de la production animale étant de fournir des produits sains à la consommation humaine, de ce fait, il est plus que nécessaire d'attirer l'attention du consommateur sur le contenu de son assiette. L'influence des paramètres d'élevage des animaux sur la qualité nutritionnelle des produits qui en sont issus, et plus particulièrement l'alimentation, a été largement démontrée (**Benathmane, 2012**).

Sachant la corrélation positive existant entre la nature des matières grasses ingérées par les animaux et la composition en acides gras de leur carcasse, notamment chez les monogastriques, plusieurs études ont été menées afin d'enrichir les produits carnés en AGPI n-3, bénéfiques pour la santé. De plus, les recommandations actuelles préconisent à faire tendre le rapport n-6/n-3 vers une valeur voisine de 5 ; ce qui est loin d'être le cas aujourd'hui dans presque toutes les populations mondiales.

Des études précédentes ont montré qu'il était possible d'accroître la teneur en AG n-3 surtout en acide Alpha- linoléique (C18 :3 n-3 ; ALA) dans les tissus musculaires en introduisant des graines de colza riches en ces acides gras dans l'aliment des animaux. Cependant le souci majeur que pose cet enrichissement en AGPI est leur grande susceptibilité à la peroxydation, surtout pendant le stockage de la viande ou si l'animal a subi un stress de pré-abattage (transport et différentes manipulations) qui augmente la susceptibilité de la viande aux réactions oxydatives (**Min et Ahn, 2005**) dénaturant les protéines, les acides nucléiques et les lipides (**Chulayo et Muchenje, 2015**) d'où la détérioration de la qualité de cette viande et par conséquent, les produits transformés qui en découlent.

La supplémentation de l'alimentation en antioxydants synthétiques comme la vitamine C et E est l'une des méthodes typiques pour améliorer les performances des animaux et inhiber les réactions d'oxydation et donc optimiser les qualités de la viande et des produits animaux (**Durand et al., 2012 ; Kim et al., 2013**). Cependant, Une grande attention a été portée ces dernières années aux sources d'antioxydants naturels telles que le romarin et les feuilles d'olivier qui sont connues par leur activité antioxydante.

Le présent travail comporte deux parties dont la première se veut être une contribution à l'étude de l'impact d'incorporation de la graine de colza, de la vitamine C et le romarin dans le régime alimentaire des poulets de chair sur les performances, la composition en acides gras et la stabilité oxydative de la viande.

La deuxième partie traite plutôt les effets du stress avant abattage (transport) sur les performances et la qualité de la viande de poulet de chair nourri avec une alimentation additionnée de la graine de colza et supplémentée en vitamine E et feuilles d'olivier.

Etude I

Effets d'un régime additionné de la graine de colza et supplémenté en vitamine C et romarin (*Rosmarinus officinalis*) sur les performances de croissance, la composition en acides gras et la peroxydation lipidique de la viande de muscle de la cuisse de poulet de chair

1. Objectifs

Le colza est une matière première très appréciée sur le plan nutritionnel au point où elle concurrence le soja et les céréales en alimentation animale par sa richesse en protéines et en énergie. Elle présente une bonne composition en acides aminés y compris les acides aminés essentiels (**Roman et al., 2010**).

Cependant, certaines études indiquent que l'utilisation de la graine de colza en quantité élevée (175 g/kg d'aliment) diminue les performances de croissance des poulets de chair (**Summers et al., 1982**). **Leclercq et al. (1989)** rapportent que la graine de colza peut être introduite dans les aliments destinés aux volailles à un taux d'incorporation maximum de 10 %.

En outre, cette graine oléagineuse est très riche en acides gras polyinsaturés surtout ceux appartenant à la famille oméga 3 en particulier l'acide alpha linoléique qui est un précurseur de la synthèse de l'acide écosapentaénoïque (EPA 20:5n-3) et l'acide docosahexaénoïque (DHA 22:6n-3) ce qui permet d'enrichir la viande des animaux en ces acides gras (**Kouba et Mourot, 2011**) connus par leurs effets bénéfiques sur la santé, mais la rend aussi très susceptible au phénomène de peroxydation lipidique.

Afin d'améliorer les performances des animaux d'un côté, et protéger la viande contre la lipoperoxydation d'un autre côté, plusieurs antioxydants d'origine synthétique ou naturel peuvent être incorporés dans la diète des poulets de chair, comme la vitamine C et les feuilles du romarin.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact d'un régime additionné de 5% de la graine de colza "00" broyée et supplémenté en phase de finition en 200 mg/kg de vitamine C ou de 10 g/kg de feuilles du romarin sur les performances de croissance, les paramètres de carcasses, la composition en acides gras, la peroxydation des lipides de muscle de la cuisse, les activités des enzymes hépatiques de la lipogénèse et les qualités sensorielles de la viande de poulet de chair.

2. Matériels et méthodes

2.1. Conditions d'élevage

L'expérimentation a été réalisée sur des poulets de chair de sexe mâle de la souche ISA F15. Les poulets ont été élevés dans des conditions adéquates d'élevage (alimentation, abreuvement, suivi sanitaire). Le bâtiment d'élevage est implanté dans la région de Mazargan, Wilaya de Mostaganem faisant partie des ateliers expérimentaux de l'université de Mostaganem. L'élevage était mené au sol sur une litière composée de sciure de bois et de paille à environ 15 cm d'épaisseur. La température était de 30 à 35°C pendant la phase de démarrage et de 22 à 25°C durant la phase de croissance. L'eau et l'aliment étaient distribués à volonté. Les animaux de l'expérience ont été nourris avec deux régimes alimentaires différents : un régime standard et un régime additionné de la graine de colza "00" (5%).



Figure 6: Enclos d'élevage des poussins



Figure 7: Pesée d'un poussin



Figure 8: Pesée d'un poulet

2.1.1. Prophylaxie sanitaire

Des mesures de prophylaxie sanitaire (nettoyage, désinfection et vide sanitaire) ont été entreprises avant la réception des poussins. Le local était nettoyé puis désinfecté avec de la chaux, qui est répandue sur le sol et les murs.

2.1.2. Prophylaxie médicale

Le programme prophylactique est résumé dans le tableau 4.

Tableau 4: Différents produits vétérinaires administrés aux animaux pendant la période d'élevage

Traitements préventifs	Produit vétérinaire utilisé	Jour d'administration	Voie d'administration
Contre la Newcastle	HB1	1-17 ^{ème} jours	Eau de boisson
Contre le Gumboro	Anti-Gumboro	7-21 ^{ème} jours	Eau de boisson
Contre la Coccidiose	Baycose	9-14 ^{ème} jours	Eau de boisson
Complexe vitaminique et anti-stress	Baytril, Vigal 2X	1 ^{er} -2-3-7- 8-9-15-16 ^{ème} jour	Eau de boisson
Hépto protecteur	Lohmann	20-21-22-30-37-38 ^{ème} jours	Eau de boisson

2.2. Animaux et régimes alimentaires

L'expérimentation avait lieu pendant la période d'avril-Juin 2014, et elle a concerné 220 poussins âgés d'un jour et caractérisés par un poids initial moyen de $40g \pm 1,7$. Ces animaux ont été regroupés et nourris pendant les deux premières semaines d'élevage avec le même aliment démarrage (3035 kcal/kg). A l'issue de cette première phase et jusqu'au 39^{ème} jour d'élevage (croissance), les poulets recevant l'aliment croissance sont répartis en 2 groupes :

- Un premier groupe recevant un aliment croissance standard à base de maïs et de tourteau de soja (T).
- Et un deuxième groupe nourri avec un aliment croissance additionné de 5% de graine de colza "00" broyée (GC).

La composition du régime expérimental a été élaborée de telle sorte que les niveaux énergétiques et protéiques se rapprochent au maximum au régime standard. Ces régimes ont été distribués jusqu'à la fin de l'expérimentation (56 jours). Leur composition est présentée dans le tableau 5.

Au cours de la phase de finition (du 40^{ème} au 56^{ème} jour), le deuxième groupe a été divisé en deux sous groupes de 44 animaux afin de compléter le régime alimentaire en antioxydants (vitamine C et feuilles du romarin), tandis que le régime du premier groupe n'a subi aucune modification. Les trois groupes du dispositif expérimental sont les suivants (tableau 6):

- **Groupe 1** : Animaux nourris avec le régime standard sans addition d'antioxydants (témoin).
- **Groupe 2** : Animaux nourris avec le régime additionné de 5% de la graine de colza+ 200 mg/ kg de vitamine C (GCC).
- **Groupe 3** : Animaux nourris avec le régime additionné de 5% de la graine de colza+ 10g/kg de feuilles du romarin broyées (GCR).

Ces doses d'antioxydants utilisés ont été choisies en raison de leurs effets bénéfiques sur les performances et la protection de la viande contre l'oxydation lipidique déjà montrés dans des études précédentes (**Njoku, 1986 ; Govaris *et al.*, 2010 ; Imik *et al.*, 2012**).

Tableau 5: Composition chimique des aliments

Régime	Standard	Additionné de graine colza
Ingrédients (%)		
Maïs	67,0	67,0
Tourteaux de soja	27,0	22,0
Graine de colza	-	5,0
Son de blé	4,0	4,0
Complément minéral vitaminé (CMV) ¹	1,0	1,0
Calcium+Phosphore	1,0	1,0
Composition calculée		
EM (Kcal/kg)	3035	3124,5
Protéines brutes (%)	21,0	19,7
Composition analysée (%)		
Humidité	12,72	11,0
Lipides	4,62	3,24
Cendres	3,9	4,1
Composition analysée en acides gras (en % des AG identifiés)		
C14:0	0,06	0,08
C16:0	13,77	7,79
C16:1	0,13	0,18
C18:0	2,26	3,31
C18:1 (n-9)	24,45	44,07
C18:2 (n-6)	50,51	32,82
C18:3 (n-3)	3,21	6,72
C20:1 (n-9)	0,40	0,77
C20:3 (n-3)	0,16	0,34
C20:4 (n-3)	0,07	0,25
C22:5 (n-3) EPA	0,09	0,20
C22:6 (n-3) DHA	0,07	0,17
AGS	19,59	12,56
AGMI	25,85	47,39
AGPI	54,56	40,05
n-6	50,51	32,88
n-3	4,05	7,06
n-6/n-3	12,47	4,66

¹CMV: complexe minéralo-vitaminique, exprimé (en mg par kg de régime); vitamine E: 6; vitamine K3: 0.80; vitamine B1: 1; vitamine B2: 3; Pantothénate de Ca: 6; vitamine B6: 1.5; vitamine B12: 0.006; acide folique: 0.2; acide nicotinique 12; cuivre: 5; cobalt: 0.65; manganèse:65; zinc: 65; sélénium :0.25, fer: 50; iode:0.8; magnésium: 100.

Tableau 6: Dispositif expérimental

Phase de démarrage	132 poussins Aliment standard		
Phase de croissance	44 poulets Aliment standard	88 poulets Aliment additionné de 5% de graine de colza "00"	
Phase de finition	44 poulets Témoin (T)	44 poulets + 200mg/kg de vit C (GCC)	44 poulets + 10g/kg de Feuilles du romarin (GCR)

Afin de suivre l'évolution du poids vifs des animaux, des contrôles de pesés ont été opérés durant toute la période d'élevage (le 14^{ème}, 28^{ème}, 35^{ème}, 40^{ème} et 56^{ème} jour). La quantité d'aliment ingérée a été mesurée, le taux de mortalité et l'indice de consommation ont également été calculés.

Les graines de colza "00" ont été fournies par l'institut des grandes cultures d'Alger, ces graines ont été finement broyées à l'aide d'un moulin à grain avant d'être mélangées avec l'aliment.

Les feuilles du romarin sauvage (*Rosmarinus officinalis*) ont été collectées pendant la période de Mars 2014 de la région de la wilaya de chlef (250 km de l'ouest d'Alger). Ces feuilles ont été d'abord séchées par étuvage à 45°C pendant trois jours, ensuite broyées et conservées dans des flacons opaques (Botsoglou *et al.*, 2010).

L'acide ascorbique (vitamine C) a été fourni par (Sigma-Aldrich Co, St. Louis, MO, code : 101242902) avec une pureté de 99%.

2.3. Prélèvements des tissus

Au terme du 56^{ème} jour de l'élevage, 10 sujets sains et non chétifs ont été choisis au hasard de chaque groupe, ils ont été pesés, abattus et éviscérés dans un abattoir après une mise à jeun préalable de 8 heures. Des échantillons de 100 g des muscles *Sartotius* des cuisses ont été prélevés, désossés, emballés dans des sachets de congélation, étiquetés puis conservés à -18°C, tandis que les autres échantillons ont été conservés à +4°C dans l'obscurité pendant 5 jours. Des échantillons de foie et du gras abdominal ont aussi été prélevés et pesés individuellement afin de déterminer les différents rendements à l'abattage.

Les échantillons de viande de muscle de la cuisse prélevés ont été utilisés pour déterminer la teneur en matière sèche, matière minérale et en humidité, ainsi que pour analyser la composition chimique principalement les lipides totaux, le profil en acides gras, ainsi que la peroxydation lipidique. Une évaluation sensorielle a également été conduite afin de vérifier si une différence entre les viandes était perceptible par le consommateur au niveau de la couleur, la tendreté et la saveur.

Dans le cadre des analyses des enzymes de la lipogenèse, les échantillons de foie prélevés à l'éviscération ont été immédiatement congelés dans de l'azote liquide et stockés à -80°C jusqu'à analyse. Il importe de signaler que ces prélèvements ont concerné le groupe témoin et le groupe (GCC).

2.4. Paramètres zootechniques étudiés

Les paramètres zootechniques étudiés sont :

2.4.1. Taux de mortalité

Il est estimé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de mortalité} = (\text{Effectif initial} - \text{Effectif final}) / \text{Effectif initial} * 100$$

2.4.2. Consommation d'aliment

Elle traduit la quantité moyenne d'aliment consommée par les animaux. Elle est calculée comme suit :

$$\text{Quantité ingérée (g)} = \text{Quantité distribuée (g)} - \text{Quantité refusée (g)}$$

Où la quantité refusée est la somme de l'aliment restant dans les mangeoires et la quantité gaspillée.

2.4.3. Indice de consommation (IC)

Il traduit l'efficacité alimentaire et correspond à la quantité d'aliment nécessaire pour obtenir 1Kg de produit fini. Il est donné par l'équation :

$$\text{IC} = \text{Quantité d'aliment consommée (g)} / \text{Quantité de produit obtenu (g)}$$

2.4.4. Gain de poids

Il caractérise la vitesse de croissance des animaux. Il a été calculé chaque semaine.

2.5. Différents rendements à l'abattage

2.5.1. Poids vif

Les animaux sont pesés et leur poids vif est mentionné chaque semaine.

2.5.2. Poids de la carcasse pleine

Les poulets sont déplumés et leur poids est déterminé.

2.5.3. Poids de la carcasse éviscérée

Après déplumaison, les animaux sont éviscérés puis pesés à nouveau.

2.5.4. Poids du foie et du gras abdominal

Lors de l'éviscération des poulets, le foie et le gras abdominal sont prélevés et pesés.

2.6. Analyses biochimiques des aliments et de la viande

2.6.1. Détermination de la teneur en matière sèche (MS)

La teneur de la matière sèche (MS) est déterminée conventionnellement par le poids des aliments après dessiccation à 105°C dans une étuve pendant 24h selon (AFNOR, 1985).

$$\text{Le \% MS} = \text{M2/M1} \times 100$$

La teneur en eau de l'échantillon est calculée par l'expression suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = 100 - \text{MS (\%)}$$

2.6.2. Détermination de la teneur en matière minérale (MM)

La teneur en cendres (MM) est le résidu de la substance après destruction, de la matière organique par incinération à 550°C dans un four à moufle/6h selon (AFNOR, 1985).

$$\text{Le \% MM} = (\text{M2} - \text{M0}) \times 100 / (\text{M1} - \text{M2})$$

2.6.3. Détermination de la teneur en matières grasses

Les extraits lipidiques ont été extraits par un mélange chloroforme-méthanol selon la méthode de Folch *et al.* (1957).

Brièvement, une masse connue de prise d'essai est broyée et homogénéisée en présence de 60 ml de réactif de Folch (chloroforme/méthanol 2v/1) à l'aide d'un homogénéisateur (type ultra Thurax) pendant 3 minutes. Le broyat est filtré sur verre frité (porosité : 1) sous vide. Le filtrat est additionné d'une solution de NaCl à 0,73 % à raison d'un volume de NaCl pour 4 volumes de filtrat puis mis à décanter pendant 2 heures. La phase inférieure (chloroforme + lipides) est filtrée sur du sulfate de sodium anhydre et recueillie dans un ballon à col rodé préalablement pesé.

La phase supérieure (méthanol-eau) est rincée à l'aide de 50 ml d'un mélange à 20% de NaCl concentré à 0,58% et 80% de méthanol+chloroforme de façon à extraire le reliquat des lipides apparaissant à l'issue de cette opération. Après agitation, on laisse décanter à nouveau environ ½ heure. La phase inférieure (chloroforme +lipides résiduels) est ainsi récupérée et ajoutée au premier filtrat.

Le mélange chloroforme-lipides est ensuite mis à évaporer sous vide. Après évaporation du chloroforme, les résidus secs de lipides sont pesés. La teneur en lipides est donnée par la différence entre le poids des ballons d'évaporation à vide et à sec + résidus lipidiques. Elle est exprimée en pourcentage du poids du tissu frais.

$$\% \text{ LT} = (\text{Poids ballon plein} - \text{poids ballon vide}) \times 100 / \text{poids de l'échantillon}$$

2.6.4. Détermination du profil en acides gras

2.6.4.1. Estérification par Méthylation

C'est l'étape qui précède le passage à la chromatographie en phase gazeuse (CPG). Elle consiste à ajouter des groupements aux chaînes carbonées des acides gras. Les esters méthyliques d'acides gras extraits sont préparés au trifluorure de bore (BF₃) selon **Morrison et Smith (1964)**.

Une fraction des lipides totaux extraits (25 à 30 mg) est saponifiée à chaud (70°C) pendant 15 min dans 1 ml de solution de NaOH (0,5) dissoute dans du méthanol. 500 µL d'acide margarique (C17:0) sert d'étalon interne et est rajoutée à cette étape.

Les acides gras saponifiés sont convertis en esters méthyliques au cours d'une méthylation (15 min à 70°C) dont le catalyseur est le BF₃. Après l'addition de 6ml d'eau pour neutraliser l'excès en trifluorure de bore, les esters sont repris par addition de 1ml de pentane. La phase supérieure composée de pentane et d'esters méthyliques est recueillie avec une pipette dans un pilulier annoté et adéquat pour une analyse en CPG. Si la lecture n'est pas immédiate, les échantillons sont conservés à -20°C.

2.6.4.2. Analyse chromatographique

Les esters méthyliques d'acides gras sont analysés par le chromatographe Perkin Elmer Autosystem XL. Cet appareil est équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (air hydrogène) et muni d'un passeur automatique d'échantillons, et d'une colonne capillaire polaire en silice (longueur de 30 mètres et diamètre de 0,25 mm ; Supelco) avec une phase stationnaire de 80% de biscyanopropyl et 20% de cyanopropylphényl siloxane. L'échantillon liquide d'acides gras est injecté dans la colonne à l'état vaporisé (la température de l'injection est de 220°C. La température de la colonne

s'élève par des plateaux (T°1 : 45°C ; T°2 : 195°C ; T°3 : 220°C ; T°4 : 240°C) suivie d'un programme de refroidissement. La durée totale d'analyse est de 22 minutes. Les acides gras sont brûlés dans la flamme du détecteur (T° = 240°C). Les signaux émis à la sortie des AG sont enregistrés sous forme de pics qui constituent le chromatogramme. Le temps de rétention permet d'identifier les acides gras extraits et la quantité de chaque AG est calculée en référence à l'étalon interne, qui est le C17:0 (c'est lui qui permet la quantification des AG). Les acides gras sont exprimés en pourcentage des AG identifiés et en milligrammes par 100 grammes de tissus.

2.6.5. Peroxydation lipidique des viandes

La peroxydation lipidique a été déterminée pendant le premier et le cinquième jour du stockage réfrigéré à +4°C.

Les produits secondaires de l'oxydation des lipides les plus couramment dosés sont les aldéhydes. L'acide thiobarbiturique (TBA) réagit avec le malonaldéhyde (MDA) pour former un complexe de couleur rose et/ou jaune possédant un maximum d'absorption 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). La peroxydation lipidique de la viande des muscles de la cuisse a été dosée selon la méthode de **Génot, (1996)**.

En mode opératoire, un échantillon de viande est placé dans un tube de 25 ml contenant 16 ml d'acide trichloroacétique à 5% (p/v) et éventuellement 100 µl de d'acide ascorbique (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. Les tubes fermés sont plongés dans un bain-marie à 70°C pendant 30 minutes et placés dans un bain d'eau froide. La dernière étape consiste à lire à l'aide d'un spectrophotomètre l'absorbance du mélange réactionnel à 532 nm et les résultats sont exprimés en mg équivalent MDA (malonaldehyde) /kg de frais. Les résultats dégagés au cours de ces expériences sont obtenues par la formule suivante :

mg équivalent MDA/kg = (0,72 / 1,56) × (Absorbance 532 × Volume solvant × V filtrat) /Prise d'essai

2.6.6. Dosage des polyphénols et flavonoïdes des feuilles du romarin

Les polyphénols des feuilles du romarin ont été dosés par spectrophotométrie selon **Milliauskas *et al.*, (2004)**. 1ml de l'extrait méthanolique (10g de la poudre dans 100ml de méthanol-eau (8v/2v) /20mn) est mélangé avec 5ml de folin ciocalteu. Cette solution est diluée 10 fois et 4ml de Na₂CO₃ à concentration 75g/l. Une gamme étalon est préparée à partir d'une solution d'acide gallique de 1g/l avec les dilutions de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 et 100µg/ml (annexe). L'absorbance est mesurée à 765nm après une durée d'incubation de 1h à température ambiante. L'intensité de la couleur est proportionnelle au taux de composés phénoliques oxydés capables de réduire le Folin ciocalteu. Les résultats sont exprimés en mg Equivalent acide gallique/g d'extrait sec.

Les flavonoïdes du romarin ont été dosés par spectrophotométrie selon **Chang *et al.*, (2002)**. Un volume 0,75 ml ALCL₃, 6H₂O (2%) est mélangé à un volume égal d'extrait. Après une durée d'incubation de 10mn les densités sont lues à 430nm optiques dans un domaine UV-Visible. Les concentrations en flavonoïdes sont déterminées contre une courbe étalon tracée par la quercétine (0-60mg/l) (annexe). Les résultats sont exprimés en mg Equivalent quercétine (EQ)/g d'extrait sec.

2.7. Analyse sensorielle de la viande

Après l'abattage des animaux, dix carcasses de poulets ont été prises au hasard du groupe témoin (T) et du groupe (GCC) afin de subir une cuisson de type rôti au four à raison de 1heure par kg de carcasse (les carcasses ont été badigeonnées légèrement avec du beurre sans addition d'aucun autre condiment). Ensuite un test organoleptique a été établi sur des panélistes expérimentés en vue d'évaluer la qualité des viandes (cuisse et pilon) selon les critères sensoriels suivants (couleur, jutosité, tendreté et flaveur).

Chaque panéliste a évalué les critères sensoriels préalablement cités selon des barèmes de notations prédéfinis (tableau 7).

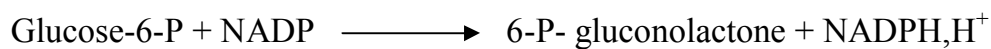
Tableau 7: Barèmes de notations des critères d'appréciation de la qualité de la viande

Notes	1	2	3
Couleur	Blanc	Rose	Rouge
Tendreté	Tendre	Dur	Très dur
Jutosité	Peu juteux	Juteux	Très juteux
Flaveur	Peu prononcée	Prononcée	Très prononcée

2.8. Détermination de l'activité des enzymes de la lipogenèse dans le foie

Le foie a fait l'objet des analyses enzymatiques, l'activité de l'enzyme malique (EM) a été déterminée selon la méthode de (Hsu et Lardy, 1969) et celle de la glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PDH) selon (Fitch *et al.*, 1959), ces deux méthodes se basent sur la mesure de l'apparition du NADPH par spectrophotométrie à 340 nm. Vu leur grande similitude les deux techniques seront exposées en parallèle. L'ensemble des produits et des solutions utilisés lors de ces dosages est donné en annexe).

Les deux enzymes catalysent respectivement les deux réactions suivantes :



Concernant le dosage, pour chaque échantillon et pour chacune des deux enzymes, deux blancs et deux essais sont effectués. La composition du milieu réactionnel est donnée en annexe. La réaction est déclenchée par ajout du surnageant (100µl) dans le cas de l'enzyme malique, et du NADP dans le cas de la G6PDH. Après agitation, le contenu des tubes est transvasé dans des cuves, qui sont placées dans un spectrophotomètre à 37°C.

L'apparition du NADPH est mesurée toute les 30 secondes, et ce, pendant 4 minutes à la longueur d'onde de 340 nm. Les activités des deux enzymes sont exprimées en micromoles de NADPH formé par minute et par gramme de tissu.

Calculs

Les activités des deux enzymes sont données par la formule suivante et exprimées en nanomoles NADPH formé par minute et par gramme de tissu.

$$A = (A \text{ DO} / 2 * D / QH) * V$$

Dont :

A DO = différence de densité optique au temps t et t+1

QH = volume de surnageant

D = coefficient de dilution (D = 10,7 dans le cas de foie)

V = volume de la cuve en ml

2.9. Analyses statistiques des résultats

Les données ont été analysées en utilisant le système d'analyse statistique (SAS) logiciel (GLM) procédure (SAS Institute, 1989) et exprimées en moyennes et écart types. Les valeurs paramétriques ont été comparées à une analyse de la variance (ANOVA) et les tests de Bonferroni. Le niveau (p < 0,05) a été considéré comme le seuil de signification.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Caractéristiques biochimiques des régimes

Le taux de lipides (tableau 5) est légèrement plus élevé dans le régime standard (4,62%) par rapport au régime additionné de la graine de colza (3,36%). Les autres composés : eau, protéines et cendres sont dans des proportions comparables dans les deux régimes.

En outre, la composition en acides gras des deux aliments est différente ; les acides oléique et linoléique sont majoritaires dans les deux régimes. Cependant, une prédominance pour le C18:1 est observée dans le régime additionné de la graine de colza (24,45 vs 44,07%), tandis que le régime standard est plus riche en C18:2 (50,51 vs 32,82%).

La teneur en acide α -linoléique est plus élevée pour l'aliment additionné de la graine de colza (6,72 vs 3,21%) par rapport à l'aliment standard. Il en est de même pour la somme des oméga 3 (n-3) (4,05 vs 7,06%).

Le régime standard renferme une proportion plus importante en acides gras saturés (AGS) comparativement au régime contenant de la graine de colza (19,59 vs 12,56%). Le rapport n-6/n-3 a baissé d'une manière très remarquable dans ce dernier régime (4,66 vs 12,47).

3.1.2. Teneurs en polyphénols et en flavonoïdes du Romarin

Les résultats obtenus des teneurs en polyphénols et flavonoïdes sont consignés dans le tableau 8.

Tableau 8: Taux de polyphénols et flavonoïdes des feuilles du romarin

	Feuilles du romarin
Polyphénols mg EAG/g	38,40 \pm 0,34
Flavonoïdes mg EQ/g	11,56 \pm 0,22

Chaque valeur est la moyenne de (n=5). Les résultats sont exprimés en moyennes \pm écart types.

Les teneurs en polyphénols et flavonoïdes des feuilles du romarin utilisées dans notre étude sont estimées à 38,40 mg EAG/g et à 11,56 mg EAG/g d'extrait sec respectivement. Ces résultats indiquent que le romarin utilisé dans le cadre de cette étude demeure riche en polyphénols.

3.1.3. Performances de croissance

3.1.3.1. Evolution du poids vif

L'évolution du poids vif des animaux pendant toute la période de l'élevage est donnée dans le tableau 9 et la figure 9.

Tableau 9: Evolution hebdomadaire des poids vifs des poulets de chair

Régime	T	GC		Effet
		GCC	GCR	
PV (g/sujet)				
J14	424,5 ± 17,01	424,5 ± 17,01		NS
J21	678,5 ± 25,65	677 ± 24,40		NS
J28	1044 ± 58,44	1040,5 ± 41,46		NS
J35	1517 ^a ± 30,29	1453,5 ^b ± 33,69		p<0,05
J40	1736 ^a ± 59,19	1685 ^b ± 42,89	1685 ^b ± 42,89	p<0,05
J56	2233 ± 78,87	2209 ± 67,60	2227 ± 75,52	NS

Chaque valeur est la moyenne de (n= 10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. Les valeurs en ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes. PV= Poids vif, T= Témoin, GC= Régime additionné de 5% de graine de colza, GCC= Régime additionné de 5% de graine de colza + 200mg/kg de Vit C, GCR= Régime additionné de 5% de graine de colza+ 10g/kg de feuilles du romarin, NS= Non significatif, p<0,05= Significatif.

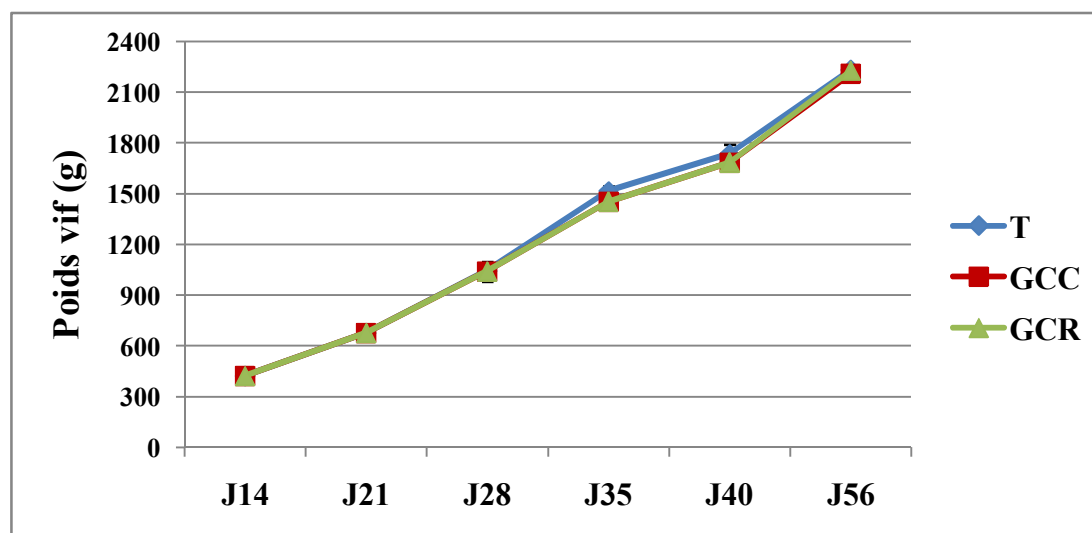


Figure 9: Evolution du poids vif des poulets de chair.

Au terme du 21^{ème} jour d'élevage les poids vifs obtenus sont similaires. Cependant, à partir du 35^{ème} jour d'élevage une réduction significative du poids vif (p<0,05) de l'ordre de 4 % a été observée chez les poulets ayant consommé l'aliment additionné de 5% de la graine de colza.

En fin de phase de finition (56^{ème} jour), les animaux des trois groupes atteignent des poids vifs comparables. Une amélioration du gain de poids a été remarquée après la supplémentation de l'aliment contenant la graine de colza en vitamine C et feuilles du romarin.

3.1.3.2. Evolution du gain de poids

L'évolution du gain de poids des animaux est rapportée dans le tableau 10 et la figure 10.

Tableau 10: Gain de poids des poulets de chair

Régime	T	GC		Effet
		GCC	GCR	
GP (g/sujet)				
J14 – J21	256 ± 10,34	254,5 ± 12,34		NS
J21 – J28	367,5 ± 21,07	365,5 ± 27,98		NS
J28 – J35	473 ^a ± 44,13	413 ^b ± 52,76		p<0,05
J40 – J56	497 ^b ± 33,45	525 ^a ± 31,47	542 ^a ± 46,14	p<0,05

Chaque valeur est la moyenne de (n= 10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. Les valeurs en ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes. GP= Gain de poids, T= Témoin, GC= Régime additionné de 5% de graine de colza, GCC= Régime additionné de 5% de graine de colza + 200mg/kg de Vit C, GCR= Régime additionné de 5% de graine de colza+ 10g/kg de feuilles du romarin, NS= Non significatif, p<0,05= Significatif.

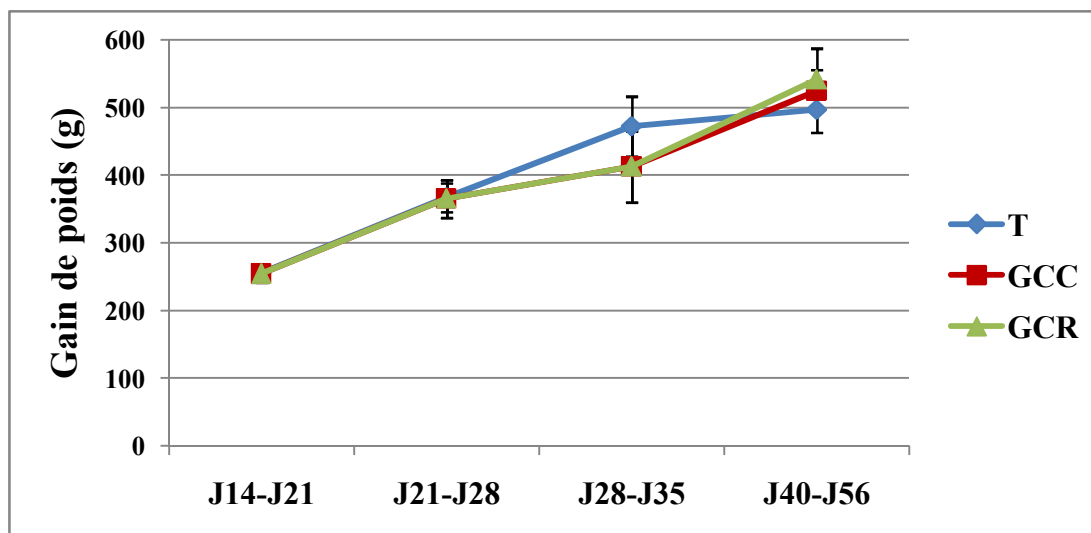


Figure 10: Evolution du gain de poids des poulets de chair.

Il ressort de l'examen des résultats obtenus (tableau 10 et Figure 10) qu'en début de la phase de croissance, les animaux des différents groupes manifestent une croissance comparable que celle des poids vifs.

Cependant, une différence entre les trois groupes est remarquée au milieu de la phase de croissance où l'on observe que les poulets ayant consommé le régime standard gagnent plus de poids ($p < 0,05$) que les poulets recevant le régime additionné de 5% de la graine de colza.

Mais, en fin de période de finition, la tendance est inversée puisque les animaux recevant les régimes supplémentés en vitamine C (GCC) et feuilles du romarin (GCR) ont enregistré des gains de poids plus élevés ($p < 0,05$) comparativement aux animaux témoins (T).

3.1.3.3. Consommation alimentaire

La consommation alimentaire des animaux pendant la période d'élevage est illustrée dans le tableau 11 et la figure 11.

Tableau 11: Evolution de la quantité d'aliment ingérée

Régime	T	GC		Effet
		GCC	GCR	
QI (g/sujet)				
J14 – J21	490,13	485,80		NS
J21 – J28	695,55	691,4		NS
J28 – J35	1042,63	1039,42		NS
J40 – J56	959,27	958,75	962,38	NS

Chaque valeur est la moyenne de ($n = 10$). Les résultats sont exprimés en moyennes \pm écart type. QI= Quantité ingérée, T= Témoin, GC= Régime additionné de 5% de graine de colza, GCC= Régime additionné de 5% de graine de colza + 200mg/kg de Vit C, GCR= Régime additionné de 5% de graine de colza+ 10g/kg de feuilles du romarin, NS= Non significatif.



Figure 11: Quantité d'aliment ingérée des poulets de chair.

L'analyse statistique n'a révélé aucun effet de la nature du régime alimentaire sur la quantité d'aliment ingérée, elle demeure comparable pour les trois groupes d'animaux.

3.1.3.4. Indice de consommation

Les variations de l'indice de consommation sont représentées dans le tableau 12 et la figure 12.

Tableau 12: Evolution de l'indice de consommation

Régime	T	GC		Effet
		GCC	GCR	
IC				
J14 –J21	1,88 ± 0,11	1,90 ± 0,22		NS
J21 –J28	1,92 ± 0,2	1,93 ± 0,15		NS
J28 – J35	2,2 ^b ± 0,17	2,5 ^a ± 0,14		p<0,05
J40 –J56	1,91 ± 0,12	1,91 ± 0,19	1,89 ± 0,16	NS

Chaque valeur est la moyenne de (n= 10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. IC= Indice de consommation, T= Témoin, GC= Régime additionné de 5% de graine de colza, GCC= Régime additionné de 5% de graine de colza + 200mg/kg de Vit C, GCR= Régime additionné de 5% de graine de colza+ 10g/kg de feuilles du romarin, NS= Non significatif, p<0,05= Significatif.

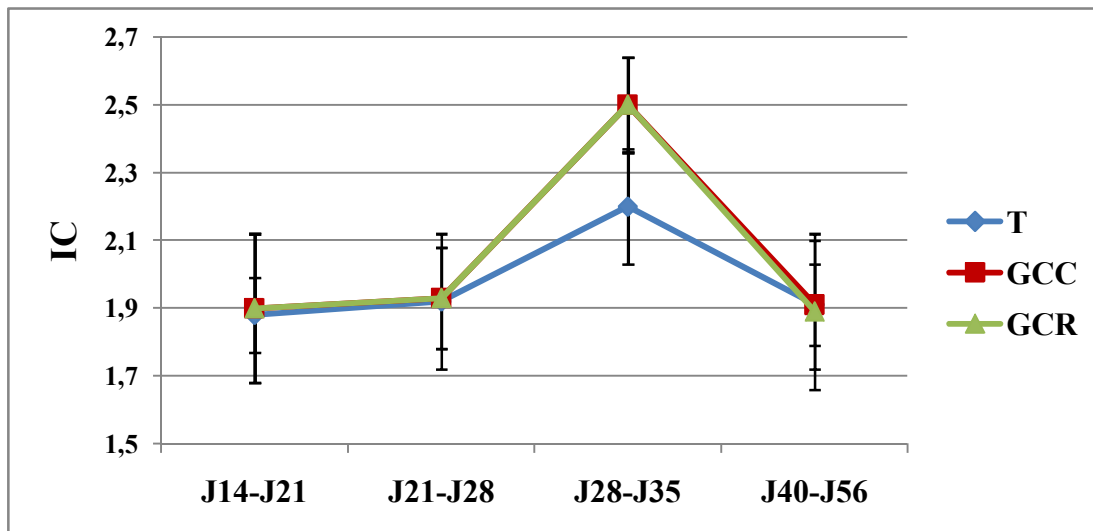


Figure 12: Evolution de l'indice de consommation.

Jusqu'au 28^{ème} jour d'élevage, l'indice de consommation (Tableau 13 et figure 12) évolue d'une manière similaire pour les deux régimes. Toutefois, en fin de phase de croissance (35^{ème} jour), une augmentation de l'IC ($p < 0,05$) est constatée pour les animaux nourris avec l'aliment contenant la graine de colza par rapport aux témoins (2,2 vs 2,5). Cet écart se réduit et les valeurs de l'IC pour les trois groupes (T, GCC et GCR) sont plutôt voisines à l'âge d'abattage (56 jours).

3.1.3.5. Taux de mortalité

A partir du 14^{ème} jour jusqu'à la fin de notre expérimentation (phase de croissance et de finition), aucune mortalité n'a été enregistrée pour les trois groupes de poulets.

3.1.4. Paramètres de carcasse

Les différents paramètres pondéraux des carcasses mesurés le jour de l'abattage sont rapportés dans le tableau 13.

Tableau 13: Paramètres pondéraux des carcasses

Régime	T	GCC	GCR	Effet
PVA (g)	2252 ± 39,16	2239 ± 51,22	2247 ± 40,44	NS
PCP (g)	1857 ± 25,27	1856 ± 32,19	1867 ± 23,22	NS
PCE (g)	1590 ± 21,71	1588 ± 19,77	1583 ± 31,40	NS
Rendement (%)	70,46 ± 3,28	69,85 ± 2,06	70,69 ± 2,98	NS
PGA (g)	28 ± 1,12	28 ± 1,24	29 ± 1,64	NS
PGA (% PCE)	1,76 ± 0,14	1,76 ± 0,15	1,83 ± 0,14	NS
P cuisse (g)	338 ± 10,13	330 ± 9,35	336 ± 6,12	NS
P cuisse (% PCE)	21,26 ± 0,78	20,97 ± 0,55	21,23 ± 0,62	NS
P foie (g)	50 ± 4,18	46 ± 2,74	48 ± 2,39	NS
P foie (% PCE)	3,14 ± 0,15	2,90 ± 0,08	3,03 ± 0,29	NS

Chaque valeur est la moyenne de (n= 10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. PVA= Poids vif à l'abattage, PCP= Poids de la carcasse pleine, PCE= Poids de la carcasse éviscérée, PGA= Poids du gras abdominal, P cuisse= Poids de cuisse, P foie= Poids du foie, T= Témoin, GCC= Régime additionné de 5% de graine de colza + 200mg/kg de Vit C, GCR= Régime additionné de 5% de graine de colza+ 10g/kg de feuilles du romarin, NS= Non significatif.

L'analyse de la variance appliquée à tous les paramètres de la carcasse (tableau 13) ne montre aucune différence significative entre les différents régimes distribués. Le PVA, PCP et PCE sont similaires pour les trois groupes d'animaux. La même observation est valable pour le PGA, poids du foie et des cuisses. Il ressort ainsi que les différents rendements à l'abattage sont comparables.

3.1.5. Caractéristiques biochimiques de la viande

3.1.5.1. Teneur en MS, MM et humidité du muscle *Sartorius* de la cuisse

Les teneurs en matière sèche, matière minérale et en humidité sont regroupées dans le tableau 14.

Tableau 14: Teneurs en MS, MM et en humidité

Régime	T	GCC	GCR	Effet
MS (%)	23,66 ± 0,49	23,33 ± 0,48	23,37 ± 1,12	NS
MM (%)	1,68 ± 0,22	1,66 ± 0,10	1,47 ± 0,32	NS
Humidité (%)	76,22 ± 2,04	76,69 ± 1,39	76,57 ± 1,74	NS

MS= Matière sèche, MM= Matière minérale, NS= Non significatif.

Les teneurs en matière sèche, matière minérale et en humidité sont similaires pour les trois groupes d'animaux, toutefois, la nature du régime alimentaire ne présente aucun effet significatif sur ces trois paramètres.

3.1.5.2. Teneur en lipides et composition en AG

Les teneurs en lipides et la composition en acides gras du muscle *Sartorius* de la cuisse sont rapportées dans le tableau 15 et les figures 13 et 14.

Il importe de signaler que la supplémentation du deuxième régime en antioxydants (GCC et GCR) n'entraîne aucune modification de la teneur en lipides et le profil en acides gras des muscles *Sartorius* de la cuisse.

Il ressort aussi de cette analyse que la teneur en lipides totaux du muscle *Sartorius* de la cuisse n'a pas été affectée par la nature du régime distribué.

Cependant, les teneurs en acides gras mettent en évidence une prédominance de l'acide oléique. Ce dernier est en proportion élevée ($p < 0,05$) chez les poulets nourris avec le régime additionné de la graine de colza par rapport au régime standard (39,92 et 39,89 vs 38,16%), alors que l'acide linoléique est en proportion comparable pour les deux régimes.

La proportion de l'acide α -linoléique (ALA) est deux fois plus supérieure ($p < 0,05$) dans les muscles des animaux des groupes (GCC et GCR) par rapport à ceux du groupe témoin (figure 13). Ainsi, même si, elle n'atteint pas le seuil de signification, une légère augmentation des proportions des dérivés de cet acide gras : l'EPA (C20 :5 n-3) et le DHA (C22 :6 n-3) a été observée pour les muscles des animaux ayant reçu l'aliment additionné de colza. Toutefois, la somme des acides gras de la série oméga 3 dans le muscle de la cuisse est deux fois plus élevée ($p < 0,05$) avec l'aliment contenant la graine de colza comparativement au témoin (2,14 et 1,79% vs 0,85).

En outre, la somme des AGPI est significativement plus élevée ($p < 0,05$) chez les animaux ayant consommé un régime additionné de colza par rapport à ceux ayant reçu l'aliment standard (soit un écart de 16% environ). Toutefois, la somme des AGS apparaît plus importante ($p < 0,05$) chez les poulets du groupe (T), la différence est de l'ordre de 9% entre les trois groupes étudiés (35,38 vs 30,47 et 32,38%).

Concernant la somme des AGMI, elle est dans des pourcentages équivalents dans les muscles des trois groupes.

Tableau 15: Teneur en lipides et composition en acides gras du muscle *Sartorius* (en % des AG totaux)

Régime	T	GCC	GCR	Effet
LT (%)	2,83 ± 0,21	2,42 ± 0,19	3,33 ± 0,10	NS
C14:0	0,66 ± 0,02	0,56 ± 0,05	0,51 ± 0,01	NS
C16:0	26,88 ^a ± 1,23	24,57 ^b ± 1,78	25,29 ^b ± 1,59	p<0,05
C16:1	0,53 ± 0,08	0,60 ± 0,10	0,52 ± 0,01	NS
C18:0	7,53 ± 0,32	6,15 ± 0,66	6,30 ± 0,28	NS
C18:1 (n-9)	38,16 ^b ± 2,84	39,92 ^a ± 2,68	39,89 ^a ± 3,69	p<0,05
CI8:2 (n-6)	15,58 ± 1,09	15,60 ± 0,92	14,17 ± 0,62	NS
CI8:3 (n-3)	0,66 ^b ± 0,07	1,53 ^a ± 0,37	1,24 ^a ± 0,08	p<0,05
C20:1 (n-9)	0,44 ± 0,13	0,61 ± 0,17	0,49 ± 0,04	NS
C20:4 (n-6)	0,69 ± 0,29	0,72 ± 0,35	0,72 ± 0,29	NS
C20:5 (n-3) EPA	0,01 ± 0,02	0,10 ± 0,05	0,09 ± 0,04	NS
C22:4 (n-6)	0,17 ± 0,07	0,25 ± 0,13	0,18 ± 0,06	NS
C22:5 (n-3)	0,09 ± 0,03	0,23 ± 0,13	0,17 ± 0,07	NS
C22:6 (n-3) DHA	0,07 ± 0,03	0,16 ± 0,07	0,11 ± 0,03	NS
AGS	35,38 ^a ± 1,76	30,47 ^b ± 1,27	32,38 ^b ± 1,80	p<0,05
AGMI	48,13 ± 1,53	49,85 ± 1,48	50,17 ± 1,83	NS
AGPI	16,49 ^b ± 1,97	19,68 ^a ± 1,61	18,46 ^a ± 0,79	p<0,05
n-6	15,47 ± 1,89	17,38 ± 1,43	15,54 ± 0,73	NS
n-3	0,85 ^b ± 0,11	2,14 ^a ± 0,32	1,79 ^a ± 0,15	p<0,05
n-6:n-3	18,22 ^a ± 2,52	8,24 ^b ± 0,83	8,70 ^b ± 0,78	p<0,05
La/ala	20,91 ^a ± 1,50	10,55 ^b ± 1,62	11,44 ^b ± 0,67	p<0,05
AGPI : AGS	0,47 ^b ± 0,08	0,65 ^a ± 0,07	0,57 ^a ± 0,04	p<0,05

Chaque valeur est la moyenne de (n= 10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. Les valeurs en ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes. LT= Lipides totaux, AGS= Acides gras saturés, AGMI= Acides gras monoinsaturés, AGPI= Acides gras polyinsaturés, La/ala = Acide linoléique/Acide linoléique, NS= Non significatif, p<0,05= Significatif.

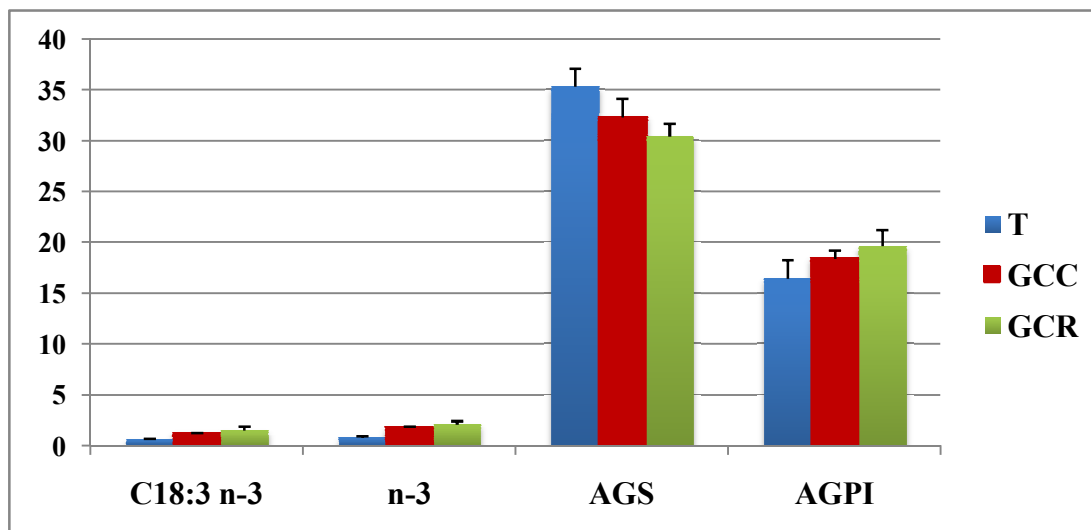


Figure 13: Teneur en % C18 :3, n-3, AGS et AGPI de la viande de poulet de chair.

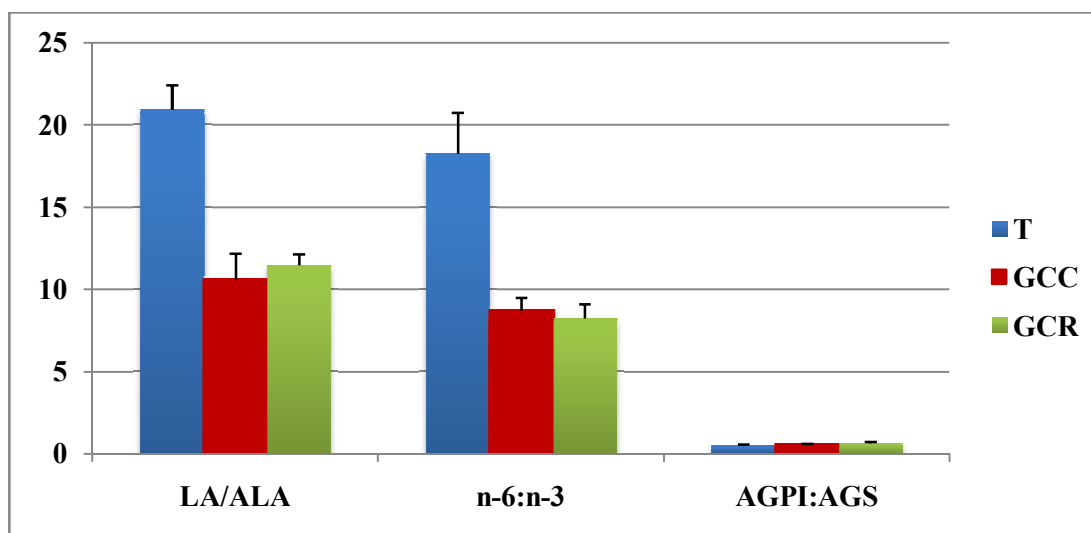


Figure 14: Rapports LA/ALA, n-6 : n-3 et AGPI : AGS de la viande de poulet de chair.

Le rapport AGPI/AGS a augmenté significativement ($p < 0,05$) dans les muscles des animaux recevant l'aliment qui contient la graine de colza en comparaison avec ceux des animaux témoins (0,67 et 0,57 vs 0,47). En revanche, les rapports la/ala et n-6/n-3 (figure14) sont plutôt plus faibles ($p < 0,05$) pour les groupes (GCC et GCR).

3.1.5.3. Peroxydation des lipides de la viande

Les concentrations du MDA dans la viande des muscles des animaux des trois groupes sont données dans le tableau 16 et la figure 15.

Tableau 16: Concentrations du MDA dans la viande de muscle de la cuisse

Régime	T	GCC	GCR	Effet
mg éq MDA/kg de viande				
J 1	0,23 ^a ± 0,03	0,15 ^b ± 0,07	0,14 ^b ± 0,05	p<0,05
J 5	0,72 ^a ± 0,12	0,59 ^b ± 0,17	0,48 ^c ± 0,09	p<0,05

Chaque valeur est la moyenne de (n= 10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. Les valeurs en ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes. MDA= Malondialdéhyde, p<0,05 = Significatif.

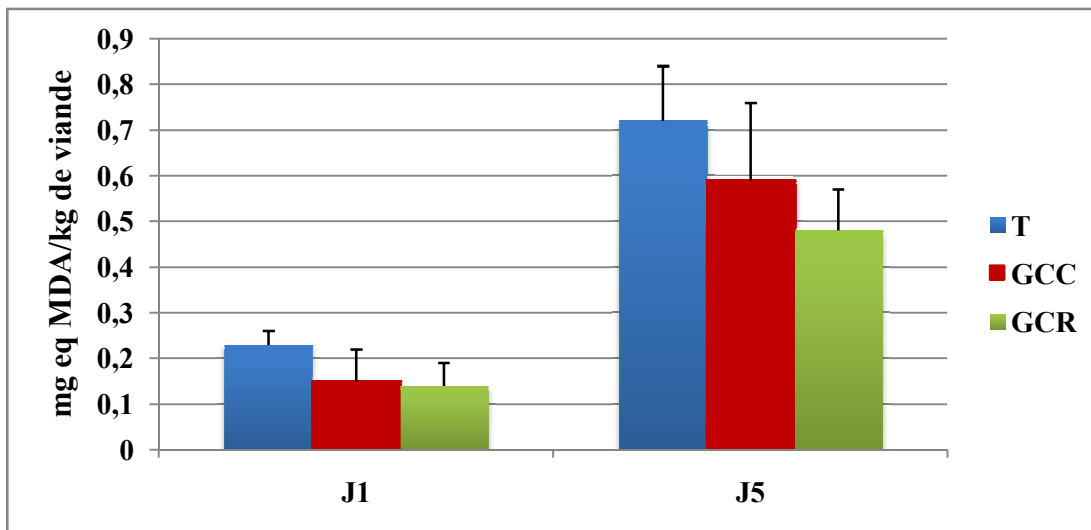


Figure 15: Concentrations du MDA dans la viande de poulet de chair en fonction des régimes.

Les résultats obtenus (tableau 16 et figure 15) laissent observer que la concentration du MDA augmente pendant le stockage à 4°C dans les muscles d'animaux des trois groupes. Mais cette augmentation est beaucoup plus importante (p<0,05) dans les muscles des témoins comparativement aux muscles des animaux nourris avec le régime additionné d'antioxydants, les écarts estimés sont de l'ordre de 18% pour le groupe (GCC) et de 33% pour le groupe (GCR).

Toutefois, aucune différence significative des taux du MDA n'est observée entre les deux traitements antioxydants au début du stockage (J1). Cependant, après 5 jours de conservation à 4°C, l'incorporation des feuilles du romarin dans le régime des poulets avec une dose de 10g/kg a exercé une activité antioxydante supérieure

($p < 0,05$) à celle de 200mg/kg de vitamine C et qui a permis de réduire de 33% les valeurs du MDA.

3.1.6. Activités des enzymes de la lipogénèse hépatique

Les activités des enzymes majeures de la lipogénèse hépatique sont rapportées dans le tableau 17.

Tableau 17: Activités des enzymes hépatiques de la lipogénèse en fonction du régime

Régime	T	GCC	GCR	Effet
EM (μmol de NADPH formé/min/g de foie)	29,19 \pm 2,04	28,97 \pm 1,54	29,03 \pm 2,12	NS
G6PDH (μmol de NADPH formé/min/g de foie)	0,69 \pm 0,10	0,66 \pm 0,14	0,63 \pm 0,09	NS

Chaque valeur est la moyenne de ($n = 10$). Les résultats sont exprimés en moyennes \pm écart types. EM= Enzyme malique, G6PDH= Glucose-6-Phosphate Déshydrogénase, NS= Non significatif.

Nos résultats montrent que la nature du régime alimentaire distribué n'a pas eu d'influence sur les activités de l'EM et de la G6PDH, elles sont presque les mêmes dans les trois groupes étudiés.

3.1.7. Résultats de l'analyse sensorielle de la viande

Les résultats d'évaluation sensorielle de la viande de poulet de chair sont donnés dans le tableau 18.

Tableau 18: Evaluation sensorielle de la qualité de la viande de poulet de chair

Régime	T			GCC		
	Blanc	Rose	Rouge	Blanc	Rose	Rouge
% des panélistes	66	44	-	67	43	-
Tendreté	Tendre	Dur	Très dur	Tendre	Dur	Très dur
% des panélistes	79	21	-	82	18	-
Jutosité	Peu juteux	Juteux	Très juteux	Peu juteux	Juteux	Très juteux
% des panélistes	41	59	-	19	63	8
Flaveur	Peu prononcée	Prononcée	Très prononcée	Peu prononcée	Prononcée	Très prononcée
% des panélistes	56	41	3	61	34	5

Chaque valeur est la moyenne de ($n = 20$). Les résultats sont exprimés en moyennes \pm écart types

Dans notre étude, aucune différence significative n'a été enregistrée pour tous les paramètres de qualité sensorielle de la viande évalués (couleur, jutosité, tendreté et flaveur).

Ainsi, environ de 66% des panélistes trouvent que la viande des animaux témoins et expérimentaux est de couleur blanche. Toutefois, la viande de poulets de chair nourris avec le régime standard et le régime additionné de la graine de colza sont qualifiées de tendres par 79 et 82% des panélistes respectivement.

La viande de poulets de chair de l'aliment témoin est jugée juteuse par 59% des panélistes, cette appréciation est plutôt partagée dans le cas de poulet de l'aliment additionné de colza (63% des panélistes).

En ce qui concerne la flaveur de la viande, elle est évaluée de peu prononcée par 56% des panélistes pour le régime standard et 61% pour le deuxième régime.

3.2. Discussion

3.2.1. Performance de croissance et paramètres pondéraux de carcasse

Dans notre essai, l'incorporation de 5% de la graine de colza dans le régime alimentaire a réduit de 4% la croissance de poulets de chair. Cette tendance a également été observée par **Roth Maier et al. (1988)** qui ont montré que l'incorporation de 5, 10, 15, 20 et 25% de la graine de colza dans le régime alimentaire présente un effet négatif sur la croissance des poulets.

Une observation analogue a été rapportée par **Rahimi et al. (2011)** qui ont remarqué une diminution du gain de poids de poulets résultant de la supplémentation de leur alimentation en 7 et 15% de graine de colza.

Les effets négatifs de l'alimentation des oiseaux avec des régimes contenant la graine de colza sont attribués à la faible disponibilité de sa fraction lipidique (**Lee et al., 1991**), et la présence des facteurs antinutritionnels (**Chadha et al., 1995; Roth-Maier et al., 1998**) tel que le déséquilibre lysine-arginine (**Klosterman et al., 1967; Summers et Leeson, 1978; Oomah et al., 1992; Talebali et Farzinpour, 2005**). Aussi, l'existence de l'acide phytique qui réduit la capacité d'absorption du calcium, et par conséquent l'inhibition des enzymes protéolytiques (**Summers et al., 1988**).

Selon **Lee et al. (1991)** la mauvaise performance de croissance des poulets de chair est liée à la couverture de l'huile contenue dans la graine par les polysaccharides de la paroi cellulaire. L'utilisation d'un complexe enzymatique exogène contenant plusieurs enzymes comme la xylanase, la β -glucanase, la cellulase et la pectinase afin d'éliminer l'encapsulation des composants et extraire plus d'énergie de la graine est une méthode souhaitable permettant d'améliorer la digestibilité et l'utilisation des nutriments (**Rezaeipour et al., 2015**).

Le retard de croissance observé en début d'élevage s'estompe en finition. En effet, au 56^{ème} jour d'élevage, les poids vifs obtenus des animaux des trois groupes sont pratiquement comparables. Une amélioration du gain de poids a été remarquée après la supplémentation de l'aliment contenant la graine de colza en vitamine C et feuilles du romarin. Cela peut être expliqué par les effets des herbes comme le romarin pouvant promouvoir l'utilisation efficace des nutriments alimentaires qui se traduit par un gain de poids plus rapide, une production élevée et une meilleure efficacité alimentaire. Par ailleurs, le romarin a été largement utilisé comme un supplément alimentaire dans l'alimentation des volailles permettant de stimuler les fonctions digestives (**Basmacioglu et al., 2004 ; Bulbul et al., 2012**), en particulier le travail de la vésicule biliaire (**Kahouli et al., 2010**).

Nos résultats corroborent ceux de **Hernandez et al. (2004)** qui ont démontré que l'addition de 5000 ppm d'un mélange à base de plantes de la famille de *Labiatae* tel que le romarin permet d'améliorer le gain de poids des poulets.

Aussi, la vitamine C est impliquée dans la croissance par la synthèse du collagène, le métabolisme du calcium et de la vitamine D3, la synthèse de carnitine pour l'oxydation des acides gras, l'oxydation des acides aminés, et le transport des électrons dans la cellule (**Combs, 1992**).

Il convient de signaler que nos résultats sont en adéquation avec ceux de **Lohakare et al. (2005)** qui ont trouvé que l'addition de 200 ppm de vit C à l'aliment des poulets permet d'augmenter le gain de poids résultant d'une amélioration de la digestibilité des nutriments. De même, plusieurs travaux ont montré une amélioration de la performance des poulets après l'administration de la vitamine C dans le régime ou dans l'eau de boisson (**Kassim et Norziha, 1995, Ibiyo et al., 2006 et Nameghi et al., 2007**).

Notre étude ne montre aucun effet du régime sur la quantité d'aliment ingérée. Par contre, une augmentation de l'IC a été constatée pendant la phase de croissance pour les animaux nourris avec l'aliment contenant la graine de colza, ceci corrobore les résultats trouvés par **Kamran et al. (2009)** et **Rahimi et al. (2011)** qui n'enregistrent n'en plus aucune influence d'un régime additionné de la graine de colza sur la consommation alimentaire des poulets ; mais ils trouvent que l'IC accroît avec ce même régime expliqué par la diminution du gain de poids des animaux expérimentaux alors que leur ingéré alimentaire est similaire aux témoins.

Cependant, nos résultats sont en accord avec ceux de **Lohakare et al. (2005)** et **Yesilbag et al. (2011)** qui ont observé que la supplémentation de l'alimentation des poulets en vitamine C et feuilles du romarin respectivement n'entraîne aucune modification dans la consommation alimentaire et l'IC de ces derniers, et donc la réduction de l'écart des valeurs de l'IC observée en fin de finition peut être expliquée par l'augmentation du gain de poids des poulets (GCC et GCR) alors que leur consommation alimentaire est toujours similaire aux témoins. Et donc on peut dire qu'il y avait une meilleure valorisation des composants de la ration, ce qui représente un gain économique intéressant.

Nos résultats montrent que les paramètres de carcasse ainsi que les différents rendements à l'abattage sont comparables pour les trois groupes d'animaux (T, GCC et GCR). A notre connaissance, il y'a peu d'études qui se sont intéressées à l'effet d'un régime contenant la graine de colza sur les paramètres de carcasse des volailles et donc une comparaison directe ne peut pas être faite.

En ce qui concerne le poids de la carcasse, du foie et des cuisses, nos résultats confirment les tendances constatées dans les travaux précédents de **Talebali et Farzinpour, 2005** et **Rezaeipour et al. (2015)**.

De plus, **Ghazalah et Ali. (2008)** et **Konca et al. (2009)** ont rapporté que l'utilisation des feuilles du romarin et de la vitamine C dans le régime des poulets respectivement ne présente aucun effet sur les paramètres de carcasse.

3.2.2. Résultats des analyses biochimiques de la viande de muscle de la cuisse

3.2.2.1. Teneurs en lipides et composition en acides gras

Les teneurs en lipides totaux obtenues sont indépendantes de la nature des régimes distribués, cela peut être lié à l'enrichissement modéré des muscles par la graisse. Dans ce cadre, nos résultats sont en accord avec ceux de **Rahimi et al. (2011)**. Aussi, certains travaux ont montré que le niveau d'insaturation des graisses apportées dans le régime alimentaire des animaux n'a pas d'influence sur la teneur des lipides musculaires (**Scaife et al., 1994; Crespo et Esteve-Garcia, 2002**).

La présente étude montre que la composition en acides gras des tissus des poulets reflète le profil en acides gras de l'alimentation. Cependant, la proportion de l'acide oléique a augmenté chez les poulets nourris avec le régime additionné de la graine de colza par rapport à ceux ayant consommé le régime standard, ceci peut être expliqué par la teneur élevée de la graine de colza en cet acide gras. Comme cela a été démontré par **Rahimi et al. (2011)**.

La supplémentation du régime en AGPI n-3 accroît la teneur de ces acides gras dans la viande de volaille (**Özpinar et al., 2002; Kahraman et al., 2004; Shen et al., 2005**). Ainsi, **Salamatdoustnobar et al. (2007)** ont observé que l'introduction de l'huile de colza dans l'alimentation des poulets augmente l'accumulation des AGPI de longue chaîne (n-3) dans les tissus musculaires. Dans notre cas, la proportion de l'ensemble des AG n-3 a augmenté de plus de deux fois dans les muscles des animaux nourris avec l'aliment contenant 5% de la graine de colza (GCC et GCR) comparativement à ceux du groupe témoin. Ce résultat est un bon indicateur pour considérer la viande comme diététiquement meilleure.

La teneur en acide α -linoléique (ALA) suit la même tendance des AG n-3, elle est passée de 0,66% chez les poulets témoins à 1,54 et 1,24% pour les poulets expérimentaux (GCC et GCR). Ces observations confirment celles de **Rahimi et al. (2011)**.

Toutefois, le régime additionné de colza entraîne une augmentation importante de la somme des AGPI par rapport à l'aliment standard. Cette tendance est inversée pour la classe des AGS. Cela a entraîné un accroissement significatif du rapport AGPI/AGS. Cet effet du régime contenant la graine de colza a été également rapporté toujours chez le poulet par **Kamran et al. (2009)**.

Une baisse des rapports la/ala et n-6/n-3 est remarquée dans la viande des animaux recevant l'aliment qui contient la graine de colza, ce dernier rapport est plus favorable pour les groupes (GCC et GCR) en comparaison avec le groupe témoin mais il reste supérieure à celui trouvé par **Kamran et al. (2009)** (6,13) pour une proportion d'incorporation alimentaire de graine de colza de 7,5%. Le présent résultat s'explique notamment par la hausse de la teneur en AGPI n-3 apportés par la graine de colza surtout celle de l'ALA au niveau des muscles de la cuisse des animaux expérimentaux. De même, **Salamatdoustnobar et al. (2007)** ont observé que plus le taux d'incorporation de l'huile de colza dans l'aliment augmente plus ce rapport diminue et la qualité de la composition en acides gras est améliorée.

La supplémentation du deuxième régime en antioxydants (GCC et GCR) n'entraîne aucune modification de la teneur en lipides et le profil en acides de la viande de muscle de la cuisse. Cette tendance est la même rapportée par **Bou et al. 2001** et **Galobart et al. (2001)**.

3.2.2.2. Peroxydation lipidique

López-Ferrer et al. (1997) ont rapporté que lorsque l'apport alimentaire en AGPI n-3 augmente, ces derniers sont déposés en concentrations plus élevées dans la viande de muscle de la cuisse comparée à celle du filet. Certains auteurs ont suggéré que la faible stabilité oxydative de la viande de la cuisse est liée à sa teneur importante en lipides et AGPI qui renferment plus de double liaison (**Ajuyah et al., 1993; Jensen et al., 1995; Botsoglou et al., 2004**).

Dans le présent travail, le stockage à 4°C stimule la peroxydation lipidique de la viande de poulets des trois groupes. Cependant, la concentration du MDA qui est le marqueur le plus couramment dosé pour déterminer le degré d'oxydation de la viande augmente davantage pour le groupe T par rapport aux deux autres groupes (GCC et GCR). En outre, l'incorporation des feuilles du romarin à raison de 10g/kg dans le régime des poulets avait un effet antioxydant supérieur à celui de 200 mg/kg de vitamine C, ce qui a permis de protéger les AGPI de la viande du phénomène de l'oxydation au cours du stockage.

Nos résultats sont en accord avec ceux de **Skřivan et al. (2011)** qui ont trouvé que la vitamine C améliore la stabilité oxydative des lipides de la viande de la cuisse stockée à 4°C pendant 5 jours.

Toutefois, dans l'étude de **Loetscher et al. (2013)**, l'utilisation du romarin avec une dose de 25g/kg avait un effet clair sur la stabilité oxydative de la viande du muscle pectoral ; Son activité antioxydante était similaire à celle de 200 UI de vitamine E. Le romarin est très riche en composés phénoliques qui pourraient inhiber la formation des radicaux libres. Ainsi, l'inhibition de l'oxydation des lipides peut être liée aux polyphénols du romarin (**Yesilbag et al., 2011**).

Nos analyses ont montré la richesse des feuilles du romarin utilisées en composés phénoliques, leur teneur est estimée de 38,40 mg EAG/g d'extrait sec. De même, **Yesilbag et al. (2011)** ont trouvé que la teneur des phénols totaux des feuilles du romarin était de 62,5 mg EAG /g et celles-ci ajoutées avec une dose de 11,5 g/kg d'aliment ont montré une activité antioxydante plus efficace que 200 UI de l'acétate de l' α -tocophérol/kg d'aliment dans la prévention de l'oxydation de la viande du muscle pectoral.

Govaris et al. (2010) ont rapporté que l'incorporation du romarin dans l'aliment des dindes a permis de retarder l'oxydation lipidique des filets pendant le stockage réfrigéré, dans leur essai, la teneur en phénols totaux du romarin était de 29,4 EAG/kg.

Selon nos résultats et ceux obtenus par les travaux précédents (**Yesilbag et al., 2011** et **Loetscher et al., 2013**), même avec des faibles doses le romarin peut induire une protection antioxydante élevée. Son effet antioxydant est basé sur sa capacité d'inactiver les radicaux libres produits durant la réaction d'auto-oxydation (**Pokorný et al., 1998**).

3.2.3. Résultats du dosage des enzymes de la lipogenèse hépatique

Dans la présente étude, les activités de l'EM et de la G6PDH ne sont pas influencées par l'incorporation de 5% de la graine de colza dans le régime des poulets, ce qui explique les poids comparables du gras abdominal trouvés dans notre essai pour les trois groupes d'animaux. En revanche, la supplémentation du régime des lapins en 30% de graines de lin extrudées riches en AGPI n-3 avait un effet dépressif sur l'activité de ces deux enzymes au niveau hépatique dans l'étude de **Benathmane et al. (2008)**.

Toutefois, **Bouderoua et al. (2004)** ont également observé une lipogenèse réduite au niveau du foie chez les poulets ayant consommé un aliment contenant 33,5% de gland de chêne vert.

Cette absence d'effet dans notre étude peut s'expliquer par le taux d'incorporation de la graine de colza (5%) qui paraît insuffisant pour induire des modifications significatives de la lipogenèse.

3.2.4. Analyse sensorielle de la viande

En ce qui concerne les propriétés sensorielles des viandes (couleur, jutosité, tendreté et flaveur), aucune différence significative n'a été perçue entre les viandes des deux groupes étudiés.

Ceci est conforme aux résultats trouvés par **Młodkowski *et al.* (2003)** et **Moraes *et al.* (2016)** qui ont observé que l'utilisation de 20% d'huile de colza et 25% de tourteau de colza respectivement dans l'alimentation des poulets de chair n'entraîne aucune modification sur les caractéristiques sensorielles des viandes.

Aussi, la supplémentation du régime en vitamine C en phase de finition dans la présente étude n'a montré aucun effet sur ces propriétés.

De même, **Skřivan *et al.* (2011)** ont constaté que la vitamine C additionnée avec une dose de 280 mg/kg d'aliment ne présente aucun effet sur les propriétés sensorielles de la viande de poulets.

4. Conclusion

Les résultats de cette étude montrent qu'il est possible d'enrichir les muscles de poulet en AGPI n-3 sans modification des propriétés sensorielles de la viande, et ce en lui donnant un régime contenant 5% de la graine de colza.

De même, il s'avère qu'il n'y a pas d'effet défavorable de l'enrichissement de la viande en AGPI sur sa susceptibilité à la peroxydation car l'incorporation du romarin comme antioxydant naturel dans l'alimentation de poulet permet d'améliorer la performance et préserver la qualité de la viande en augmentant sa stabilité oxydative au cours du stockage à 4°C.

Etude II

Effets du stress avant abattage sur le profil en acides gras et les indicateurs de qualité de la viande de poulet de chair nourri avec une alimentation additionnée de la graine de colza et supplémentée en vitamine E et feuilles d'olivier (*Olea europea*)

1. Objectifs

De nos jours, la maîtrise de la qualité de la viande est devenue l'une des principales préoccupations des filières dinde et poulet de chair. Les exigences des professionnels de la transformation en termes de qualité ont évolué avec les modes de consommation, aujourd'hui tournés vers des produits pratiques et faciles à préparer. Les préoccupations des abatteurs/transformateurs se portent donc sur l'amélioration des qualités organoleptiques, mais également nutritionnelles et technologiques des viandes. L'état actuel des connaissances laisse penser que le déterminisme de la qualité des viandes de volailles est multifactoriel. On sait ainsi que la qualité est à la fois influencée par des facteurs génétiques mais aussi alimentaires et environnementaux notamment les stress subis par les animaux avant leur abattage (**Debut *et al.*, 2003; Berri *et al.*, 2005 ; Gigaut, 2006**) surtout le transport qui représente une composante essentielle de l'industrie de la volaille, et peut causer des différents degrés de stress pour les oiseaux, allant d'un léger inconfort jusqu'à la mort (**Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 2012**).

Le transport est un facteur de stress complexe qui implique la mise à jeun, la manutention, le chargement, le déchargement, les fluctuations de la température et de la densité, les mouvements et vibrations, les bruits et la durée du transit (**Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 2012; Vimiso et Muchenje, 2013; Pereira *et al.*, 2015**).

Le transport pour une longue distance induit tout d'abord une diminution du poids vif et poids de la carcasse (**Jayaprakash *et al.*, 2016**). Ce même facteur peut causer aussi de la mortalité, dont le pourcentage augmente avec le stress thermique et les longues durées du transit (**Von Keyserlingk *et al.*, 2009; Melesse *et al.*, 2011**).

En outre, le stress de transport a été associé à l'augmentation du métabolisme énergétique du muscle squelettique, et de la glycolyse, la diminution du taux de glycogène dans les muscles de filet et de la cuisse des poulets de chair, l'accélération de la peroxydation lipidique et l'augmentation de la concentration des espèces réactives de l'oxygène conduisant à un stress oxydatif, de ce fait, son effet ne s'arrête pas à l'abattage, mais affecte la conversion du muscle en viande et les paramètres de qualité de la viande qui en résultent, ce qui pourraient avoir des effets négatifs sur l'acceptabilité du consommateur et la fonctionnalité de traitement des autres produits transformés, qui à son tour peut provoquer des pertes supplémentaires pour l'industrie (**Zhang *et al.*, 2010 ; Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 2012**).

Cependant, la supplémentation alimentaire en acides gras insaturés surtout ceux polyinsaturés, peut aussi conduire à un stress oxydatif chez les animaux qui génère des dommages oxydatifs comme la peroxydation lipidique (**Vazquez-Anon et al., 2008 ; Andrews et al., 2006**).

Des antioxydants apportés dans l'alimentation peuvent limiter la lipoperoxydation des viandes. La supplémentation de l'alimentation en vit E améliore la performance, la croissance, l'utilisation alimentaire, renforce le statut immunologique des oiseaux et améliore considérablement la stabilité de la qualité de la viande contre la détérioration oxydative (**Flachowsky, 2000 ; Guo et al., 2001 ; Skřivan et al., 2010**) car elle agit comme un agent protecteur contre les radicaux libres (**Avanzo et al., 2001 ; Singh et al., 2006**) en empêchant les dommages générés par l'attaque radicalaire des tissus, spécifiquement des AGPI.

Toutefois, en comparaison avec les vitamines et les plantes aromatiques, une attention limitée a été dirigée vers d'autres sources potentielles d'antioxydants phytochimiques telles que les feuilles d'oliviers (*Olea europea*) qui ont été utilisées dans la médecine traditionnelle comme remède pour les maladies. Elles sont aussi connues par leur activité antioxydante, en raison de leur forte teneur en composés phénoliques (**Benavente-Garcia et al., 2000 ; Botsoglou et al., 2010**). L'oleuropéine, est le composé phénolique le plus important, sa concentration peut atteindre 60 - 90 mg/g de feuilles sèches (**Ryan et al., 2002 ; Lee et al., 2009**), qui a montré des propriétés antioxydantes plus fortes que le BHT, vitamine C et vitamine E (**Özdemir and Azman , 2016**).

Cette étude a été menée afin d'étudier les effets des réponses au stress du transport sur la composition en acides et les différents indicateurs de la qualité de la viande (pH, couleur, concentration du MDA) de poulet de chair, ainsi que pour répondre au souci d'améliorer la stabilité oxydative de la viande contre la lipoperoxydation résultant de ce type de stress par la supplémentation du régime des animaux en vitamine E (antioxydant synthétique) et feuilles d'olivier (antioxydant naturel).

2. Matériels et méthodes

2.1. Conduite de l'expérimentation

Cet essai a été effectué pendant la période Avril-Mai 2015 sur des poulets de chair de même souche et sexe que l'étude précédente et dans les mêmes conditions d'élevage. Les mesures de prophylaxie sanitaire et médicale ont été respectées afin d'éviter l'apparition d'éventuelles pathologies (tableau 19). L'eau et l'aliment étaient distribués à volonté. Les animaux de l'expérience ont été nourris pendant la phase de croissance et de finition avec un seul régime qui est le régime additionné de la graine de colza "00" (5%).

Tableau 19: Traitement prophylactique pendant la période d'élevage

Traitements préventifs	Produit vétérinaire utilisé	Jour d'administration	Voie d'administration
Contre la Newcastle	HB1	10-33-18 ^{ème} jours	Eau de boisson
Contre le Gumboro	IBDL	18-19-20 ^{ème} jours	Eau de boisson
Contre la Coccidiose	Joprox	22-23-28-29 ^{ème} jours	Eau de boisson
Complexe vitaminique et anti-stress	Baytril Neoxyspen Supravitaminol	3-4-5-9-10-11-12-17-28-29-31-32-33-34 ^{ème} jours	Eau de boisson
Hépatoprotecteur	Lohmann	13-14-15-30-37-38 ^{ème} jours	Eau de boisson

2.2. Animaux et régimes alimentaires

L'étude a porté sur 160 poussins de la souche ISA F15 âgés d'un jour. Ils ont été nourris pendant la phase de démarrage avec le même régime qui est l'aliment standard. A partir du 12^{ème} jour, tous les animaux ont reçu un régime additionné de 5 % de la graine de colza "00" broyée en substitution partielle du tourteau de soja, c'est le même régime utilisé dans l'étude précédente.

Au cours de la phase de finition (du 28^{ème} jusqu'au 42^{ème} jour), les poulets ont été répartis en quatre groupes de 40 sujets selon l'antioxydant incorporé dans le régime alimentaire (tableau 20):

- **Groupe 1** : a été nourri avec le régime sans addition d'antioxydant (T).
- **Groupe 2** : a reçu le régime supplémenté en 200 mg/kg de vitamine E (VE).
- **Groupe 3** : a consommé l'aliment supplémenté en 10 g/kg de feuilles d'olivier (FO).
- **Groupe 4** : dont le régime a été additionnée de 200 mg/kg de vitamine E et de 10 g/kg de feuilles d'olivier (VE+FO).

Les taux d'incorporation de la vit E et des feuilles d'olivier utilisés dans la présente étude ont été déjà testés auparavant dans d'autres travaux dont ils ont montré des effets antioxydants très marqués (**Basmacioğlu et al., 2004 ; Paiva-Martins et al., 2009 ; Botsoglou et al., 2010 ; Govaris et al., 2010 ; Trebušak et al., 2014**).

Avant d'être incorporées dans l'aliment, les graines de colza "00" fournies toujours de l'institut des grandes cultures d'Alger, ont subi le même type de broyage utilisé dans l'étude précédente. Les feuilles d'olivier ont été récoltées pendant la période d'Avril 2015 de la wilaya de Mostaganem et elles ont été séchées et broyées avec la même procédure que les feuilles du romarin dans l'étude I.

La vitamine E (l'alpha tocophérol) a été fournie par (Sigma-Aldrich Co, St. Louis, MO, code : 1001436614) avec une pureté de 95,5%.

Avant abattage, les animaux de tous les groupes ont été mis à jeun pendant une durée de 8 heures. En outre, le jour de l'abattage qui correspond à un âge de poulet de 42 jours, 20 sujets ont été choisis au hasard de chaque groupe, et ils ont été divisés en deux sous groupes de 10 poulets; l'un est placé en situation de contrôle ou l'autre soumis à un stress de transport.

Les animaux soumis au transport, ont été chargés dans des caisses (7 poulets par caisse), transportés pendant une durée de 2 heures et abattus immédiatement dès qu'ils arrivaient à l'abattoir. Ils ont été pesés avant le chargement et à la fin du trajet. Tandis que, ceux restés en repos, ont été mis dans des caisses et ramenés directement à l'abattoir où ils ont été sacrifiés.

La mesure des poids des animaux a été effectuée pendant le 12^{ème}, 21^{ème}, 28^{ème}, 35^{ème} et 42^{ème} jour, nous avons aussi mesuré la consommation alimentaire et calculé l'indice de consommation pendant toute la période d'élevage.

Tableau 20: Dispositif expérimental

Phase de démarrage	160 poussins (aliment standard)							
Phase de croissance	160 poulets (aliment additionné de 5% de la graine de colza "00")							
Phase de finition	40 sujets sans addition d'antioxydants (T)		40 sujets + 200mg/kg de vit E (VE)		40 sujets + 10 g/kg de feuilles d'olivier (FO)		40 sujets + 200mg/kg de vit E+ 10 g/kg de feuilles d'olivier (VE+FO)	
Le jour de l'abattage (trp : transport)	10 poulets sans trp	10 poulets 2h de trp	10 poulets sans trp	10 poulets 2h de trp	10 poulets sans trp	10 poulets 2h de trp	10 poulets sans trp	10 poulets 2h de trp

2.3. Prélèvements sanguins

Le prélèvement du sang a été effectué à l'aide d'une seringue au niveau de la veine alaire du poulet de chair, ainsi, il a été prélevé en deux circonstances :

- 1) Au niveau du bâtiment d'élevage, au moment du repos de l'animal. Pour ce faire, cinq animaux par sous groupe ont subi le prélèvement sanguin.
- 2) Au niveau de l'abattoir, après que les animaux étaient déchargés du camion. Dans ce cas cinq sujets par sous groupe aussi ont subi le prélèvement.

Le sang a été récupéré dans des tubes secs stériles, et il a ensuite été centrifugé à 1500 t/min pendant 15 minutes dans le but de récupérer le sérum, puis celui-ci est conservé à -20°C jusqu'à utilisation ultérieure.

Les échantillons du sérum recueilli ont été utilisés pour la détermination de taux du glucose, de la lactate déshydrogénase et de la créatine kinase, qui sont considérés comme des indicateurs de la réponse au stress chez les oiseaux.

2.4. Préparation des carcasses et prélèvements d'échantillons musculaires

Après le sacrifice des animaux et la découpe des carcasses, des échantillons de 100 g des muscles *Sartotius* des cuisses ont été prélevés, désossés, emballés dans des sachets de congélation, étiquetés puis conservés à -18°C .

Dans le but de déterminer les différents rendements à l'abattage, le foie et le gras abdominal ont aussi été prélevés et pesés individuellement.

Pour les échantillons des muscles *Sartorius* de la cuisse, les paramètres étudiés sont : la teneur en matière sèche, matière minérale et en humidité selon la technique de (AFNOR, 1985), la teneur en lipides totaux déterminés par la méthode de Folch *et al.* (1957), le profil en acides gras étant déterminé par chromatographie en phase gazeuse (CPG), après saponification et méthylation des lipides selon Morrison et Smith (1964) (ces méthodes ont été précédemment décrites dans l'étude I), le potentiel hydrogène (pH) musculaire, la couleur de la viande selon le système trichromatique CIE 1976, le degré d'oxydation des lipides par la méthode de (Botsoglou *et al.*, 1994), et la vitamine E musculaire par la technique de Koskas (1985).

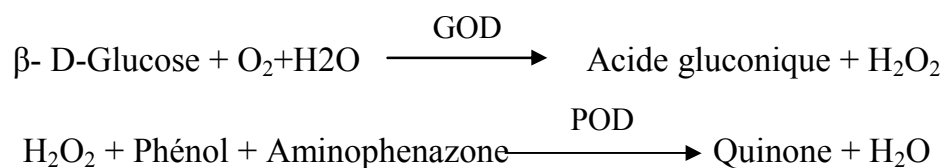
2.5. Analyses biochimiques du régime

Le dosage des polyphénols et des flavonoïdes des feuilles d'olivier a été réalisé selon Milliauskas *et al.* (2004) et Chang *et al.* (2002) respectivement. Ce sont les mêmes techniques utilisées dans l'étude I.

2.6. Analyses biochimiques du sérum

2.6.1. Dosage du glucose

Le dosage du glucose sérique est basé sur une technique enzymatique colorimétrique par Kit par la méthode de **Trinder (1969)**. Le D-glucose est transformé par le glucose oxydase (GOD) en acide gluconique et en peroxyde d'hydrogène lequel oxyde, en présence de la peroxydase (POD), le phénol en un complexe chromogène coloré en rouge dont l'absorbance est mesurée à 505 nm.



L'intensité de la couleur formée est proportionnelle à la concentration du glucose dans l'échantillon (**Kaplan *et al.*, 1984 ; Trinder, 1969**).

2.6.2. Dosage de lactate déshydrogénase (LDH)

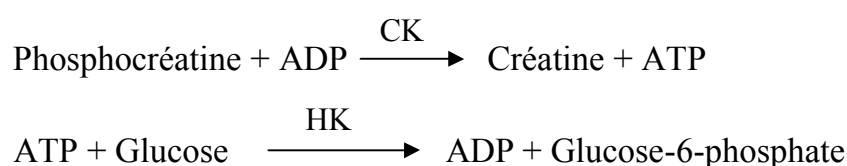
La détermination de l'activité du lactate déshydrogénase est effectuée par Kit selon la méthode de (**Bergmeyer, 1975 ; Howell, 1979**). La réaction est initiée par addition de l'échantillon du sérum au réactif. Le schéma réactionnel est le suivant :



Le taux de diminution de la concentration en NADH est directement proportionnel à l'activité du lactate déshydrogénase dans l'échantillon. L'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 340 nm.

2.6.3. Dosage de la créatine kinase (CK)

Le dosage de l'activité de la créatine kinase est effectuée par Kit selon la méthode de (**Kaplan *et al.*, 1984**). La créatine kinase catalyse la réaction de transfert réversible du groupement phosphate de la phosphocréatine à l'ADP. Cette réaction est couplée avec celles catalysées par l'hexokinase (HK) et la glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6P-DH) :





Le taux d'augmentation de la concentration en NADPH est directement proportionnel à l'activité de la créatine kinase dans l'échantillon. L'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 340 nm. L'ensemble des réactifs et solutions utilisés dans les trois dosages est détaillé en annexe.

2.7. Analyses biochimiques de la viande

2.7.1. Mesure du pH musculaire

Le pH ultime à 24 h a été mesuré par insertion directe de la sonde d'un pH-mètre dans une profondeur de 2cm à l'intérieur du muscle.

2.7.2. Mesure de la couleur de la viande

La couleur a été mesurée sur la face interne du muscle. Les paramètres sont évalués dans le système trichromatique CIE 1976 L*, a*, b* (Chromamètre Minota CR 300). L* indique la luminosité ou luminance qui représente la réflectance de surface. Les composantes a* et b* sont les coordonnées de chromaticité (a* < 0 : couleur verte ; a* > 0 : couleur rouge ; b* < 0 : couleur bleue et b* > 0 : couleur jaune).

2.7.3. Mesure de la vitamine E musculaire

L'α-tocophérol a été mis en évidence par HPLC en phase normale après extraction par saponification des extraits lipidiques obtenus par la méthode de **Folch et al. (1957)**, détecté par un spectrophotomètre UV visible selon la technique de **Koskas (1985)**.

2.7.4. Détermination du degré d'oxydation des lipides par HPLC

L'analyse HPLC du malondialdéhyde au sein des muscles est basée sur la méthode décrite de (**Botsoglou et al., 1994**) et légèrement modifiée par **Agarwal et Chase (2002)**. Brièvement, 5 ml d'hydroxytoluène butylé (BHT) dans de l'hexane et 8 ml d'acide trichloroacétique (TCA) sont additionnés à environ 1 g de tissu préalablement réduit en poudre et homogénéisés sous azote liquide, puis mélangés au polytron (Bioblock Scientific, Suisse) pendant 30 s à 30000 tpm. La phase supérieure est ôtée puis filtrée. 1,4 ml du filtrat sont additionnés à 0,7 ml de TCA 5% et de 1,5 ml d'acide thiobarbituric 0,8% (TBA). Après 30 min d'incubation à 70°C, le complexe TBA-TCA est ôté par du n-butanol. La phase contenant le butanol est ensuite centrifugée pendant 10 min à 1000 g. La solution obtenue est injectée dans le système HPLC (Perkin Elmer Instruments, Shelton, Connecticut) équipé avec une colonne RP C18 (ODB 5µm, 4,6 mm x 250 mm) (Interchim, Montluçon, France) et ayant pour phase mobile (flux : 0,6 ml/min) un mélange (60/40, v/v) de phosphate de potassium (0,05 M, pH 6,8) et de méthanol. Le niveau de MDA est détecté par fluorescence

(excitation à 515 nm, émission à 553 nm) en utilisant la courbe de calibration du tetraethoxypropane (TEP).

2.8. Analyses statistiques des résultats

Les résultats ont été traités statistiquement par le logiciel SAS (SAS Institute, 1989) et exprimées en moyennes et écart types. Les moyennes ont été comparées à une analyse de la variance (ANOVA) et les tests de Bonferroni. Le niveau ($p < 0,05$) a été considéré comme le seuil de signification.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Teneurs en polyphénols et flavonoïdes des feuilles d'olivier (*Olea europea*)

Les concentrations en polyphénols et en flavonoïdes des feuilles d'olivier sont rapportées dans le tableau 21.

Tableau 21: Concentrations en polyphénols et flavonoïdes des feuilles d'olivier

	Feuilles d'olivier
Polyphénols mg EAG/g	25,30 ± 0,63
Flavonoïdes mg EQ/g	13,67 ± 0,39

Chaque valeur est la moyenne de (n=5). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types.

Les résultats consignés dans le tableau 21 laissent apparaître une richesse en polyphénols des feuilles d'olivier utilisées dans notre essai comme une source d'antioxydant naturel, soit une concentration de 25,30 mg EAG/g d'extrait sec. De même, elles contiennent une quantité non négligeable en flavonoïdes dont la teneur est de 13,67 mg EQ/g d'extrait sec.

3.1.2. Performances de croissance

3.1.2.1. Poids vif

Les résultats de l'évolution du poids vif des poulets sont illustrés dans le tableau 22 et la figure 16.

Tableau 22: Evolution du poids vif des poulets

Régime	T	VE	FO	VE+FO	Effet
PV (g/sujet)					
J12	350,33±9,60				
J21	673,33±6,29				
J28	1020,33±47,70				
J35	1481,50±20,18	1495,50±25,09	1481,10±19,86	1493±17,20	NS
J42	1837±22,76	1858,75±19,74	1833±14,88	1856±18,45	NS

Chaque valeur est la moyenne de (n= 10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. PV= Poids vif, T= Témoin, VE= Régime additionné de 200mg/kg de Vit E, FO= Régime additionné de 10g/kg de feuilles d'olivier, VE+FO= Régime additionné de 200mg/kg de Vit E+10g/kg de feuilles d'olivier, NS= Non significatif.

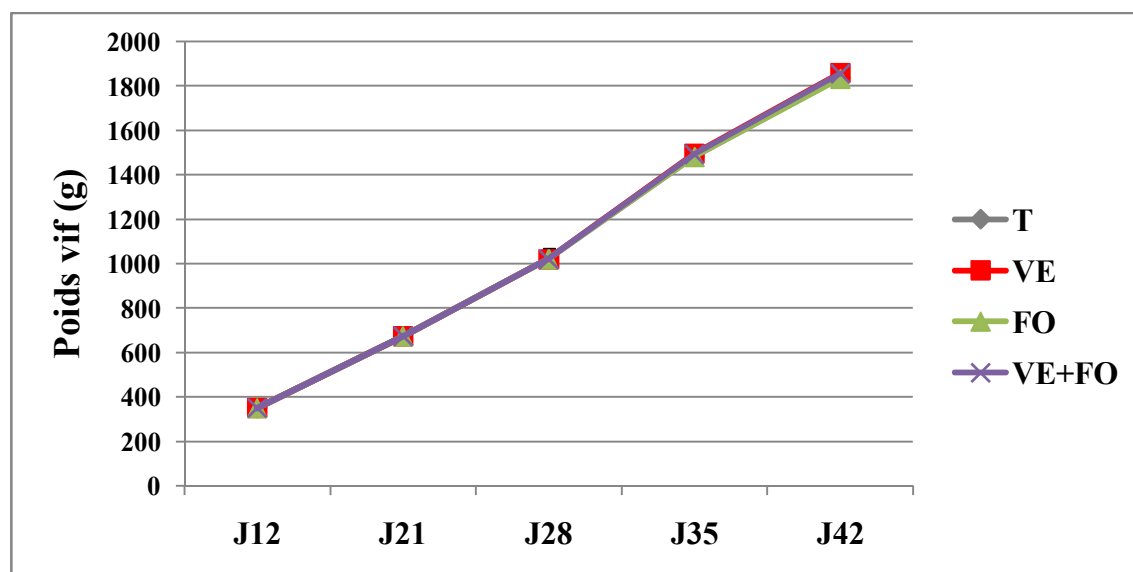


Figure 16: Evolution du poids vif des poulets de chair.

L'évolution du poids vif suit une tendance linéaire pendant toute la période d'élevage, et elle ne présente aucune différence significative entre les quatre groupes étudiés.

3.1.2.2. Gain de poids

L'évolution du gain de poids des poulets de chair est donnée le tableau 23 et la figure 17.

Tableau 23: Gain de poids des poulets

Régime	T	VE	FO	VE+FO	Effet
GP (g/sujet)					
J12-J21	290±13,79				
J21- J28	359±21,08				
J28-J35	458,12±31,05	465,17±29,17	459,64±23,80	463,77±25,56	NS
J35-J42	355,50±19,24	361,20±18,89	352,90±12,75	363±15,90	NS

GP= Gain de poids.

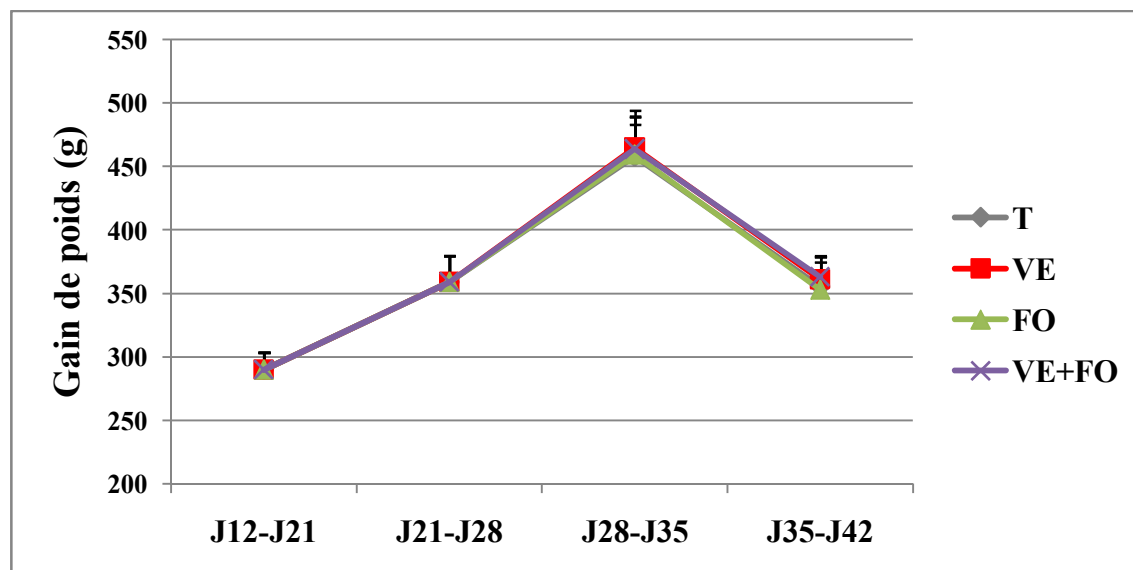


Figure 17: Evolution du gain de poids des poulets de chair.

Le niveau de croissance des poulets, comme rapporté dans le tableau 23 et la figure 17, indique que la supplémentation de l'aliment en vit E et feuilles d'olivier durant la phase de finition (J28-J42) n'entraîne pas de modifications dans la croissance pondérale des poulets qui apparaissent globalement comparables pour les quatre groupes.

3.1.2.3. Consommation alimentaire

Les résultats de la consommation alimentaire des poulets de chair pendant toute la période de l'élevage sont rapportés dans le tableau 24 et la figure 18.

Tableau 24: Quantité d'aliment ingérée

Régime	T	VE	FO	VE+FO	Effet
QI (g/sujet)					
J12-J21	529,62				
J21- J28	698,11				
J28-J35	995,62	991	995	996,51	NS
J35-J42	769,61	771	766,73	770	NS

QI= Quantité ingérée.

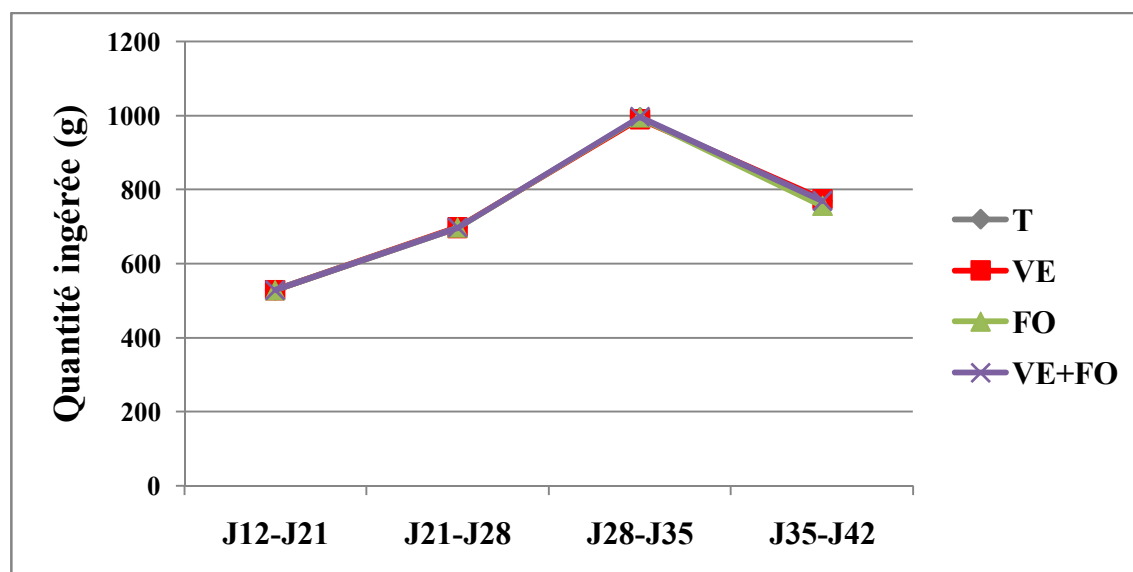


Figure 18: Quantité d'aliment ingérée des poulets de chair.

La consommation alimentaire (tableau 24 et figure 18) ne semble pas être affectée par la supplémentation de l'alimentation en vit E et feuilles d'olivier, puisqu'aucune différence significative n'est mise en évidence entre les régimes distribués pour la quantité ingérée des poulets.

3.1.2.4. Indice de consommation

L'évolution de l'indice de consommation est donnée dans le tableau 25 et la figure 19.

Tableau 25: Variations de l'indice de consommation

Régime	T	VE	FO	VE+FO	Effet
IC					
J12-J21	1,82±0,39				
J21- J28	1,95±0,43				
J28-J35	2,20±0,51	2,10±0,52	2,17±0,45	2,15±0,64	NS
J35-J42	2,16±0,39	2,14±0,27	2,15±0,44	2,12±0,59	NS

IC= Indice de consommation.

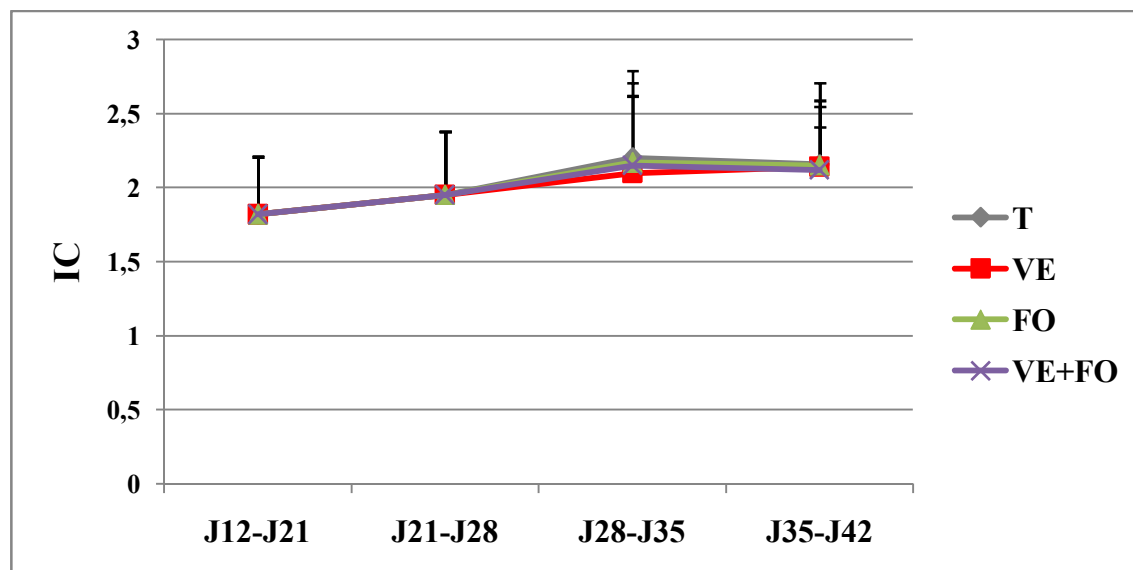


Figure 19: Variations de l'indice de consommation.

L'analyse statistique des résultats de l'efficacité alimentaire ne révèle aucun effet significatif d'addition de la vit E et des feuilles d'olivier aux régimes alimentaires des poulets sur les valeurs de l'IC enregistrées comparativement au régime (T).

3.1.2.5. Taux de mortalité

Les régimes alimentaires distribués n'ont entraîné aucun cas de mortalité pendant la phase de croissance et de finition de l'élevage. De même, on peut également noter que le stress lié au transport de 2h n'a pas entraîné des mortalités des poulets de chair.

3.1.3. Paramètres pondéraux de carcasses

Les résultats des effets de la supplémentation en antioxydants et de stress du transport avant abattage sur les différentes parties des carcasses sont illustrés dans le tableau 26.

Les poids vifs à l'abattage sont sensiblement plus faibles ($p < 0,05$) pour les animaux transportés (2h Trp) comparativement à ceux restés en repos (0h Trp), soit une perte de poids estimée de l'ordre de 0,72-0,76-0,71 et 0,77 % pour les groupes (T), (VE), (FO), (VE+FO) respectivement (tableau 26 et figure 20). Des faibles écarts de rendements en carcasses sont aussi observés entre les poulets transportés des différents groupes, sans pour autant atteindre le seuil de signification.

En revanche, les poids de la carcasse pleine et du gras abdominal enregistrés pour les animaux transportés et ceux restés en repos ne sont pas significativement différents, ils varient de 1454 à 1463g et de 19 à 21g respectivement. Cette observation est aussi valable pour le poids des cuisses et du foie dont les valeurs varient de 239 à 248g et de 33 à 36g respectivement.

Nos résultats ne montrent aucun effet significatif de l'addition des antioxydants à l'alimentation des poulets de chair pendant la phase de finition sur les différents paramètres pondéraux des carcasses.

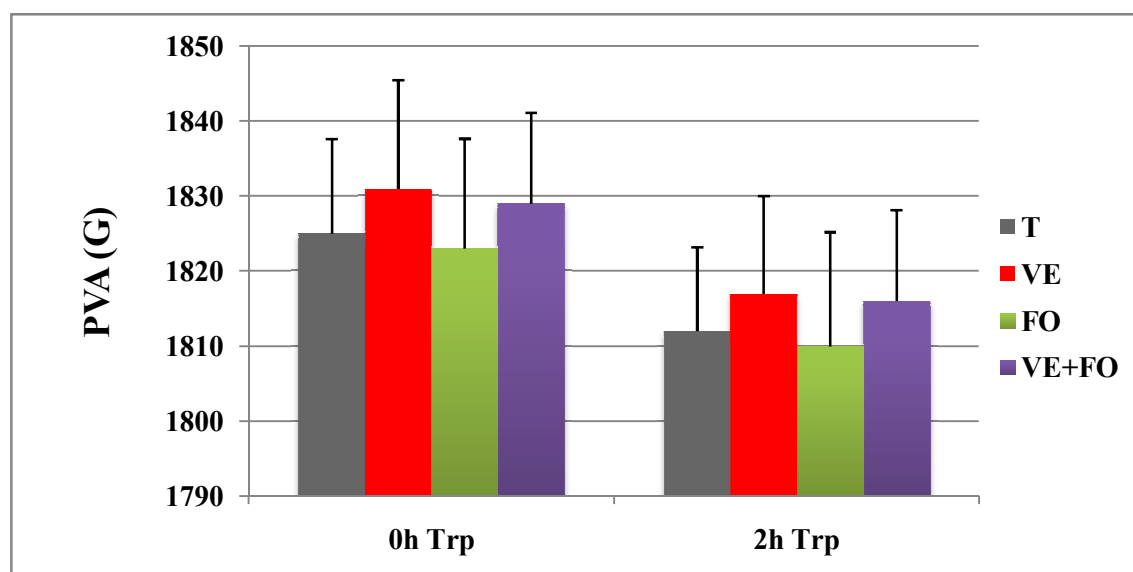


Figure 20: Variations de poids vif à l'abattage des poulets.

Tableau 26: Paramètres pondéraux de carcasses

Groupe	T		VE		FO		VE+FO		Effet facteur	
	0	2	0	2	0	2	0	2	G	Trp
Trp (h)										
PVA (g)	1825 ^a ± 12,60	1812 ^b ± 11,17	1831 ^a ± 14,46	1817 ^b ± 13,03	1823 ^a ± 14,67	1810 ^b ± 15,21	1829 ^a ± 12,10	1816 ^b ± 12,15	NS	p<0,05
Perte de poids (%)	–	0,72	–	0,76	–	0,71	–	0,77		
PCP (g)	1455 ± 18,09	1454 ± 24,78	1463 ± 29,15	1462 ± 21,31	1458 ± 17,82	1455 ± 19,27	1459 ± 15,81	1455 ± 21,51	NS	NS
PCE (g)	1282 ± 22,90	1267 ± 16,82	1287 ± 17,51	1271 ± 21,33	1282 ± 32,07	1268 ± 25,46	1285 ± 24,67	1274 ± 21,33	NS	NS
Rendement (%)	70,25 ± 3,51	69,92 ± 2,96	70,29 ± 2,41	69,95 ± 1,12	70,32 ± 2,26	70,06 ± 1,57	70,26 ± 3,09	70,15 ± 2,13	NS	NS
PGA (g)	19 ± 2,88	20 ± 2,24	21 ± 2,63	19 ± 3,54	20 ± 3,47	19 ± 4,18	20 ± 2,23	19 ± 3,19	NS	NS
PGA (% PCE)	1,48 ± 0,19	1,58 ± 0,26	1,63 ± 0,45	1,49 ± 0,26	1,56 ± 0,22	1,50 ± 0,20	1,56 ± 0,35	1,49 ± 0,21	NS	NS
P cuisse (g)	243 ± 8,70	239 ± 5,36	245 ± 5,21	240 ± 3,29	244 ± 3,80	241 ± 4,01	248 ± 2,31	244 ± 3,14	NS	NS
P cuisse (% PCE)	18,95 ± 0,38	18,86 ± 0,48	19,04 ± 0,49	18,88 ± 0,61	19,03 ± 0,64	18,99 ± 0,30	19,06 ± 0,36	19,15 ± 0,29	NS	NS
P foie (g)	36 ± 1,42	36 ± 1,96	33 ± 1,82	33 ± 1,64	33 ± 1,40	34 ± 1,34	34 ± 1,16	35 ± 0,94	NS	NS
P foie (% PCE)	2,81 ± 0,18	2,84 ± 0,20	2,56 ± 0,31	2,60 ± 0,29	2,65 ± 0,26	2,60 ± 0,31	2,57 ± 0,21	2,75 ± 0,14	NS	NS

Chaque valeur est la moyenne de (n= 10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. Les valeurs en ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes. G= Groupe, Trp= Transport, PVA= Poids vif à l'abattage, PCP= Poids de la carcasse pleine, PCE= Poids de la carcasse éviscérée, PGA= Poids du gras abdominal, P cuisse= Poids de cuisse, P foie= Poids du foie, NS= Non significatif, p<0,05= Significatif.

3.1.4. Analyses sériques

Les résultats du taux de glucose sérique et des activités de la LDH et de la CK sont donnés dans le tableau 27 et les figures 21, 22 et 23.

Les résultats des analyses du sérum (tableau 27 et figures 21,22, 23) montrent que la teneur en glucose et les activités de la LDH et de la CK sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) pour les poulets de chair ayant subi le stress de transport avant leur abattage comparativement à ceux ayant resté en repos. Les différences significatives constatées sont de l'ordre de 17%, 29% et 21% respectivement.

Cependant, nous avons observé une légère diminution de la glycémie pour les trois groupes d'animaux ayant reçu l'aliment additionné de la vit E et des feuilles d'olivier apportée seules ou en combinaison comparativement aux témoins, toutefois, les écarts estimés sont de 5%, 6% et 8% pour les groupes VE, FO et VE+FO respectivement (225,69, 224,32 et 220,58 vs 233,78 mg/dl).

Par contre, aucune différence significative n'est observée pour les activités des deux enzymes mesurées suite à l'effet de la supplémentation alimentaire en antioxydants (vit E et feuilles d'olivier).

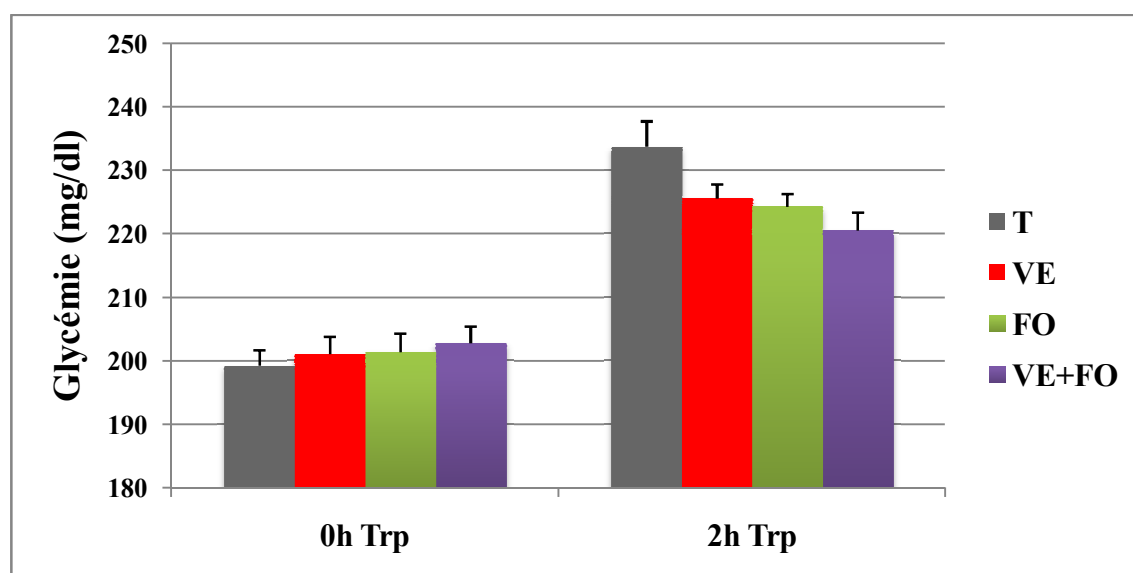


Figure 21: Effets du transport avant abattage sur les variations des concentrations du glucose sérique exprimées en mg/dl.

Tableau 27: Paramètres sériques mesurés

Groupe	T		VE		FO		VE+FO		Effet facteur	
	0	2	0	2	0	2	0	2	G	Trp
Trp (h)										
Glucose (mg/dl)	199,28 ^b ± 2,51	233,78 ^a ± 4,02	201,10 ^b ± 2,73	225,69 ^a ± 2,18	201,47 ^b ± 2,93	224,32 ^a ± 2,00	202,88 ^b ± 2,62	220,58 ^a ± 2,82	NS	p<0,05
LDH UI/L	471,13 ^b ± 12,4 ^o	607,13 ^a ± 13,94	469,51 ^b ± 11,30	603,43 ^a ± 12,27	453,32 ^b ± 13,02	579,60 ^a ± 15,80	457,37 ^b ± 14,71	582,84 ^a ± 13,89	NS	p<0,05
CK UI/L	555,70 ^b ± 4,53	671,89 ^a ± 5,62	539,51 ^b ± 5,86	651,65 ^a ± 3,75	531,41 ^b ± 4,09	635,46 ^a ± 6,44	547,60 ^b ± 4,76	653,79 ^a ± 6,63	NS	p<0,05

Chaque valeur est la moyenne de (n=5). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. Les valeurs en ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes. LDH = Lactate déshydrogénase, CK = Créatine Kinase.

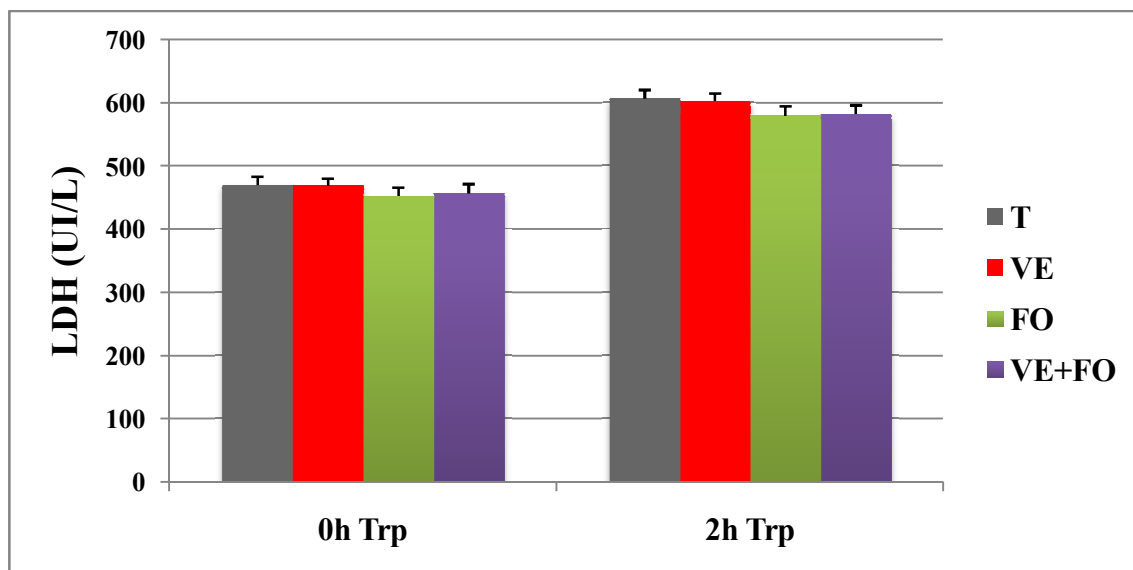


Figure 22: Effets du transport avant abattage sur les variations des concentrations de la LDH exprimées en UI/L.

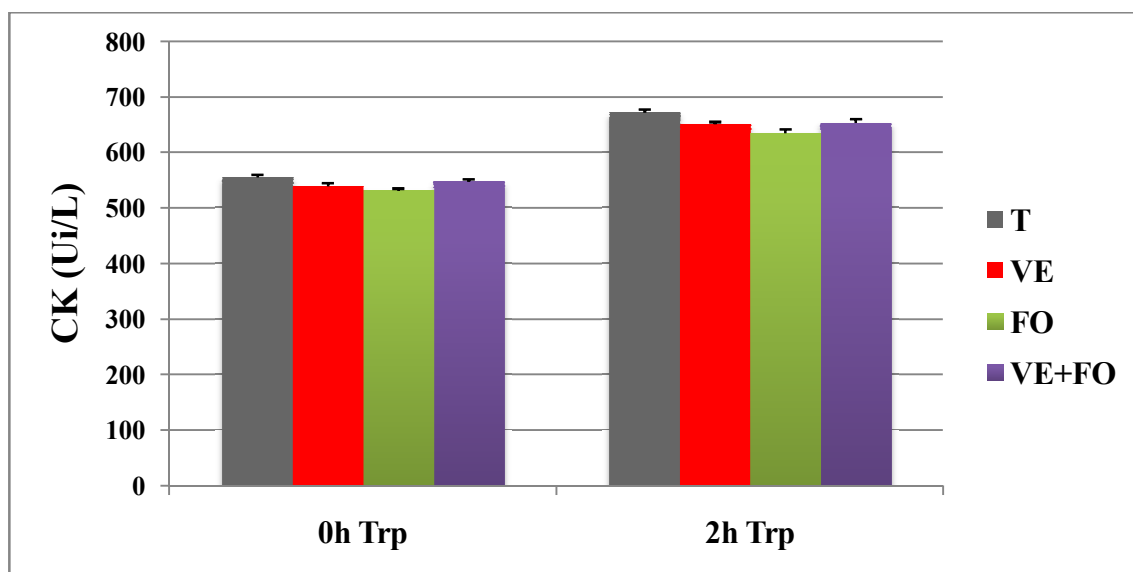


Figure 23: Effets du transport avant abattage sur les variations des concentrations de la CK des poulets en UI/L.

3.1.5. Caractéristiques biochimiques de la viande

3.1.5.1. Teneur en MS, MM et humidité du muscle *Sartorius* de la cuisse

Les teneurs en matière sèche, matière minérale et en humidité sont illustrées dans le tableau 28.

Tableau 28: Teneurs en MS, MM et en humidité

Groupe	T		VE		FO		VE+FO		Effet facteurs	
	0	2	0	2	0	2	0	2	G	Trp
MS (%)	22,74± 0,49	22,76± 0,52	23,02± 0,55	22,87± 0,37	22,82± 0,44	22,71± 0,52	23,14± 0,24	22,91± 0,39	NS	NS
MM (%)	1,19± 0,16	1,30± 0,23	1,42± 0,26	1,37± 0,21	1,22± 0,18	1,16± 0,15	1,49± 0,22	1,51± 0,29	NS	NS
Humidité (%)	77,26± 0,82	77,24± 0,48	76,98± 0,64	77,13± 0,74	77,18± 0,80	77,29± 0,88	76,86± 0,37	77,09± 0,71	NS	NS

Chaque valeur est la moyenne de (n=10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. MS= Matière sèche, MM= Matière minérale.

Les résultats (tableau 28) indiquent que le transport d'une durée de 2h et le régime alimentaire distribué ne présentent aucun effet significatif sur les teneurs en matière sèche et en matière minérale pour tous les groupes d'animaux. Cette observation est aussi valable pour le pourcentage d'humidité de la viande de muscle de la cuisse.

3.1.5.2. Potentiel hydrogène (pH) et couleur de la viande de muscle de la cuisse

Les résultats du pH et les coordonnées trichromatiques de la couleur de muscle de la cuisse sont représentés dans le tableau 29.

L'examen des résultats (tableau 29) laisse observer que le régime alimentaire distribué n'exerce pas d'effet significatif sur le pHu et les coordonnées trichromatiques de la couleur de la viande de muscle de la cuisse. Par contre, le transport des animaux entraîne une augmentation significative ($p < 0,05$) des valeurs du pHu mesuré. Ainsi, cela s'accompagne d'une diminution significative seulement de la luminance (L^*) estimée de l'ordre de 1 à 2% environ de la viande des poulets des quatre groupes. Toutefois, les deux indices de rouge et de jaune (a^* et b^*) n'ont pas été affectés ($p > 0,05$) pour tous les groupes d'animaux.

3.1.5.3. Teneurs en vitamine E

Les valeurs des concentrations de la vitamine E musculaire sont consignées dans le tableau 30.

La comparaison des différentes concentrations en vit E musculaires analysées décèlent une différence significative ($p < 0,05$) entre les quatre groupes (tableau 30). Il ressort de façon évidente que la supplémentation du régime des poulets en cette vitamine a permis d'augmenter significativement ($p < 0,05$) sa teneur dans la viande de la cuisse (VE et VE+FO) (4,37 et 4,52 vs 2,77 $\mu\text{g/g}$ de tissu). Aussi, une légère augmentation de la concentration de la vit E dans les échantillons de viande est observée pour les groupes d'animaux ayant reçu l'aliment additionné de 10g/kg de feuilles d'olivier (FO et VE+FO) (2,82 vs 2,77 $\mu\text{g/g}$ de tissu), mais elle n'atteint pas le seuil de signification.

En revanche, le transport de pré abattage d'une durée de 2h n'a pas exercé d'effet marqué sur les teneurs de la vit E musculaire.

Tableau 29 : Valeurs du pH ultime et paramètres de couleur de la viande de la cuisson

Groupe	T		VE		FO		VE+FO		Effet facteurs	
	0	2	0	2	0	2	0	2	G	Trp
Trp (h)										
pHu	6,07 ^b ± 0,04	6,22 ^a ± 0,08	6,03 ^b ± 0,06	6,23 ^a ± 0,08	6,05 ^b ± 0,09	6,25 ^a ± 0,12	6,05 ^b ± 0,09	6,19 ^a ± 0,11	NS	p<0,05
L*	51,35 ^a ± 0,35	50,71 ^b ± 0,62	52,05 ^a ± 0,31	50,93 ^b ± 0,40	51,72 ^a ± 0,64	50,83 ^b ± 0,49	51,62 ^a ± 0,78	50,41 ^b ± 0,47	NS	p<0,05
a*	6,38 ± 0,17	6,47 ± 0,10	6,51 ± 0,19	6,33 ± 0,09	6,50 ± 0,15	6,62 ± 0,21	6,57 ± 0,24	6,47 ± 0,16	NS	NS
b*	11,45 ± 0,24	11,60 ± 0,31	11,25 ± 0,38	11,44 ± 0,23	11,47 ± 0,27	11,33 ± 0,19	11,24 ± 0,29	11,37 ± 0,41	NS	NS

Chaque valeur est la moyenne de (n=10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. Les valeurs en ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes. pHu = Potentiel hydrogène ultime, L*= Luminance, a*= Indice de rouge, b*= Indice de jaune.

Tableau 30 : Concentrations en vitamine E de la viande de la cuisson

Groupe	T		VE		FO		VE+FO		Effet facteurs	
	0	2	0	2	0	2	0	2	G	Trp
Trp (h)										
Vit E (µg/g de tissu)	2,77 ^b ± 0,67	2,70 ^b ± 0,72	4,25 ^a ± 0,80	4,37 ^a ± 0,59	2,82 ^b ± 0,45	2,88 ^b ± 0,67	4,52 ^a ± 0,47	4,49 ^a ± 0,43	p<0,05	NS

Chaque valeur est la moyenne de (n=10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. Les valeurs en ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes.

3.1.5.4. Teneur en lipides et profil en AG du muscle *Sartorius* de la cuisse

Les teneurs en lipides et le profil en acides gras du muscle *Sartorius* de la cuisse sont rapportées dans le tableau 31.

Il en ressort que le transport avant abattage n'affecte pas d'une manière significative les teneurs en lipides musculaires, celles-ci sont presque similaires pour tous les groupes étudiés et variables de 2,75 à 3,24%.

Par contre, le transport a modifié significativement ($p < 0,05$) la composition en acides gras du muscle *Sartorius* de la cuisse pour la viande des poulets transportés comparativement à celle des poulets restés en repos.

Les proportions des acides linoléique et α -linoléique dans la viande de muscle de la cuisse diminuent significativement ($p < 0,05$) chez les animaux ayant subi le transport (2h), les différences sont de l'ordre de 13% et de 17% respectivement.

Cependant, une augmentation significative ($p < 0,05$) de la proportion des AGS (30,02 vs 31,14%) (figure 24) et une baisse substantielle ($p < 0,05$) de celle des AGPI estimée de l'ordre de 15% (17,62 vs 14,98%) (figure 25) sont observées dans la viande de tous les animaux soumis au transport. Cela s'est retenti sur une diminution significative des valeurs du rapport AGPI / AGS (0,59 vs 0,48) (figure 26).

L'analyse statistique ne révèle aucun effet significatif du transport sur la somme des AGMI. En outre, les sommes des AGPI n6 et AGPI n3 ont diminué significativement chez les animaux soumis au transport (15,70 vs 13,46% et 1,80 vs 1,41% respectivement). Ainsi, cela s'accompagne d'un accroissement de la valeur du rapport n-6 / n-3 (8,82 vs 9,59%).

Cependant, la supplémentation du régime alimentaire des poulets en feuilles d'olivier et en vitamine E n'entraîne aucun effet significatif sur la teneur en lipides et le profil en acides gras de muscle *Sartorius* de la cuisse.

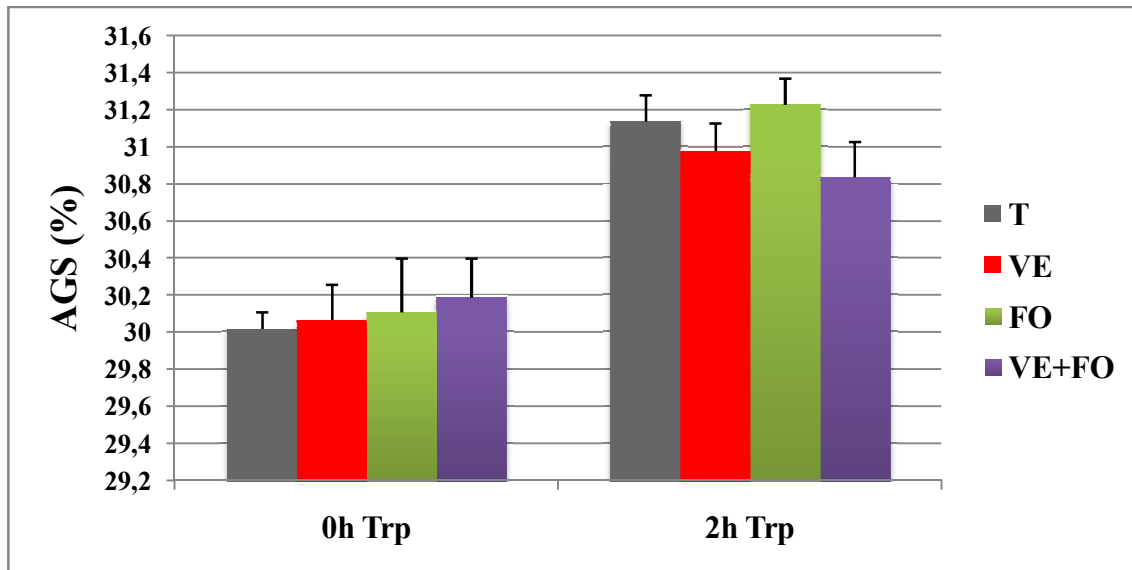


Figure 24: Effets du transport avant abattage sur la proportion des AGS de muscle de la cuisse.

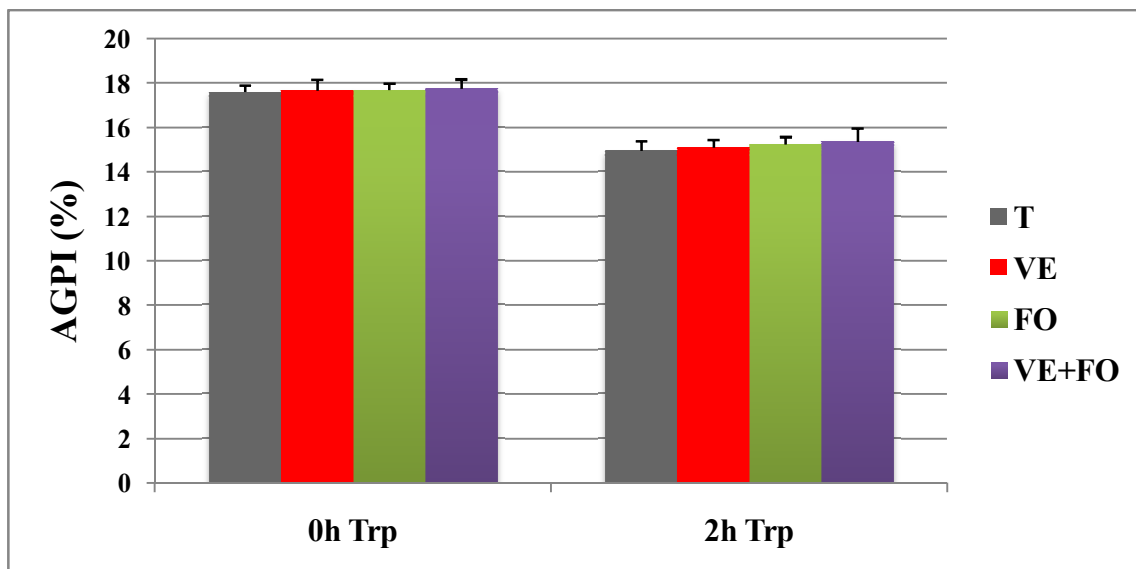


Figure 25: Effets du transport avant abattage sur la proportion des AGPI de muscle de la cuisse.

Tableau 31: Teneurs en lipides et profil en acides gras du muscle *Sartorius* de la cuisse (en % des AG totaux)

Groupe	T		VE		FO		VE+FO		Effet facteurs		
	0	2	0	2	0	2	0	2	G	Trp	
Trp (h)											
LT (%)	2,78±0,12	2,93±0,13	2,75±0,24	2,90±0,17	2,86±0,22	3,08±0,33	3,11±0,27	3,24±0,34	NS	NS	
C14:0	0,56±0,03	0,57±0,02	0,55±0,05	0,57±0,03	0,60±0,03	0,56±0,04	0,59±0,04	0,60±0,06	NS	NS	
C16:0	23,56 ^b ±0,19	24,49 ^a ±0,40	23,79 ^b ±0,29	24,75 ^a ±0,13	23,34 ^b ±0,17	24,51 ^a ±0,22	24,01 ^b ±0,15	25,15 ^a ±0,31	NS	p<0,05	
C16:1	0,54±0,02	0,53±0,03	0,53±0,02	0,52±0,08	0,51±0,05	0,50±0,03	0,50±0,02	0,50±0,07	NS	NS	
C18:0	5,7±0,72	5,90±0,63	5,60±0,43	5,74±0,47	5,87±0,62	6,13±0,72	5,77±0,45	5,99±0,57	NS	NS	
C18:1 (n-9)	41,88±0,87	41,46±0,75	41,94±0,71	41,35±0,60	41,48±0,75	41,50±0,73	42,05±0,63	41,74±0,82	NS	NS	
C18:2 (n-6)	14,71 ^a ±0,68	12,84 ^b ±0,86	15,08±1,24	13,55±	14,89 ^a ±1,07	13,23 ^b ±0,63	15,19 ^a ±1,04	13,72 ^b ±0,77	NS	p<0,05	
C18:3 (n-3)	1,52 ^a ±0,50	1,26 ^b ±0,31	1,57 ^a ±0,51	1,34 ^b ±0,33	1,49 ^a ±0,60	1,25 ^b ±0,28	1,61 ^a ±0,51	1,38 ^b ±0,38	NS	p<0,05	
C20:1 (n-9)	0,41±0,08	0,43±0,15	0,42±0,12	0,44±0,12	0,41±0,10	0,41±0,04	0,44±0,03	0,42±0,11	NS	NS	
C20:4 (n-6)	0,52 ^a ±0,10	0,20 ^b ±0,04	0,45 ^a ±0,13	0,21 ^b ±0,06	0,49 ^a ±0,14	0,27 ^b ±0,08	0,53 ^a ±0,10	0,29 ^b ±0,09	NS	p<0,05	
C20:5 (n-3)	0,04±0,01	0,03±0,02	0,04±0,01	0,03±0,02	0,04±0,02	0,04±0,01	0,03±0,01	0,04±0,01	NS	NS	
C22:4 (n-6)	0,12±0,03	0,07±0,02	0,09±0,05	0,06±0,02	0,12±0,06	0,06±0,02	0,10±0,05	0,07±0,06	NS	NS	
C22:5 (n-3)	0,10±0,05	0,05±0,03	0,09±0,07	0,04±0,02	0,11±0,04	0,07±0,04	0,10±0,04	0,06±0,04	NS	NS	
C22:6 (n-3)	0,06±0,02	0,01±0,01	0,07±0,01	0,03±0,02	0,06±0,02	0,02±0,01	0,07±0,02	0,05±0,03	NS	NS	
AGS	30,02 ^b ±0,09	31,14 ^a ±0,14	30,07 ^b ±0,19	30,98 ^a ±0,15	30,11 ^b ±0,29	31,23 ^a ±0,14	30,19 ^b ±0,21	30,84 ^a ±0,19	NS	p<0,05	
AGMI	51,64±0,18	51,15±0,51	51,79±0,29	51,93±0,34	50,97±0,44	51,25±0,25	52,21±0,52	51,89±0,15	NS	NS	
AGPI	17,62 ^a ±0,29	14,98 ^b ±0,44	17,69 ^a ±0,49	15,12 ^b ±0,35	17,71 ^a ±0,29	15,26 ^b ±0,34	17,78 ^a ±0,41	15,39 ^b ±0,59	NS	p<0,05	
n-6	15,70 ^a ±1,04	13,46 ^b ±0,51	15,91 ^a ±1,18	13,93 ^b ±0,50	15,29 ^a ±1,67	13,56 ^b ±0,53	15,80 ^a ±1,17	14,01 ^b ±0,92	NS	p<0,05	
n-3	1,80 ^a ±0,45	1,41 ^b ±0,65	1,85 ^a ±0,46	1,49 ^b ±0,49	1,70 ^a ±0,43	1,38 ^b ±0,60	1,78 ^a ±0,51	1,43 ^b ±0,47	NS	p<0,05	
n-6:n-3	8,82 ^b ±1,10	9,59 ^a ±0,66	8,69 ^b ±1,05	9,35 ^a ±0,74	8,98 ^b ±1,15	9,80 ^a ±0,52	8,88 ^b ±1,05	9,80 ^a ±0,59	NS	p<0,05	
La/ala	9,87±0,49	10,20±0,88	9,60±0,71	10,11±0,92	9,90±0,81	10,58±1,00	9,43±0,72	9,94±0,91	NS	NS	
AGPI : AGS	0,59 ^a ±0,10	0,48 ^b ±0,14	0,59 ^a ±0,09	0,49 ^b ±0,05	0,58 ^a ±0,12	0,48 ^b ±0,07	0,59 ^a ±0,09	0,50 ^b ±0,08	NS	p<0,05	

Chaque valeur est la moyenne de (n= 10). Les résultats sont exprimés en moyennes ± écart types. Les valeurs en ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes. LT= Lipides totaux, AGS= Acides gras saturés, AGMI= Acides gras monoinsaturés, AGPI= Acides gras polyinsaturés, La/ala = Acide linoléique/Acide linoléique.

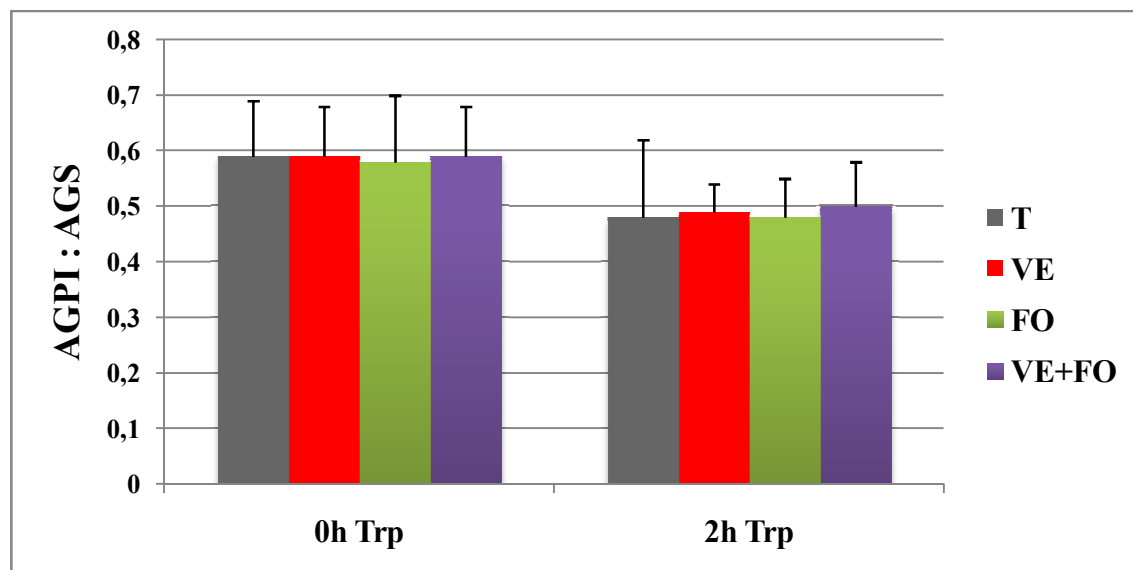


Figure 26: Effets du transport avant abattage sur le rapport AGPI : AGS de muscle de la cuisse.

3.1.5.5. Peroxydation des lipides de muscle de la cuisse

Les résultats des effets du transport et de la supplémentation alimentaire en antioxydants sur les concentrations du MDA dans la viande des muscles de la cuisse des poulets sont consignés dans le tableau 32 et la figure 27.

Les concentrations du MDA tendent à être significativement ($p < 0,05$) plus élevées dans les muscles des poulets soumis au transport (2h) comparativement à ceux des poulets restés en repos (tableau 32 et figure 27). Cependant, nos résultats montrent que la supplémentation alimentaire en 200mg/kg de vit E (VE) et 10g/kg de feuilles d'olivier (FO) a permis de réduire de 23 et de 18% ($p < 0,05$) la peroxydation lipidique de la viande de poulet respectivement.

Cependant, l'apport conjoint de 200mg/kg de vit E et 10g/kg de feuilles d'olivier (VE+FO) diminue significativement ($p < 0,05$) le taux du MDA, soit un écart estimé à environ de 31%. La combinaison entre les deux antioxydants présente donc un effet plus efficace que l'utilisation de chaque traitement seul.

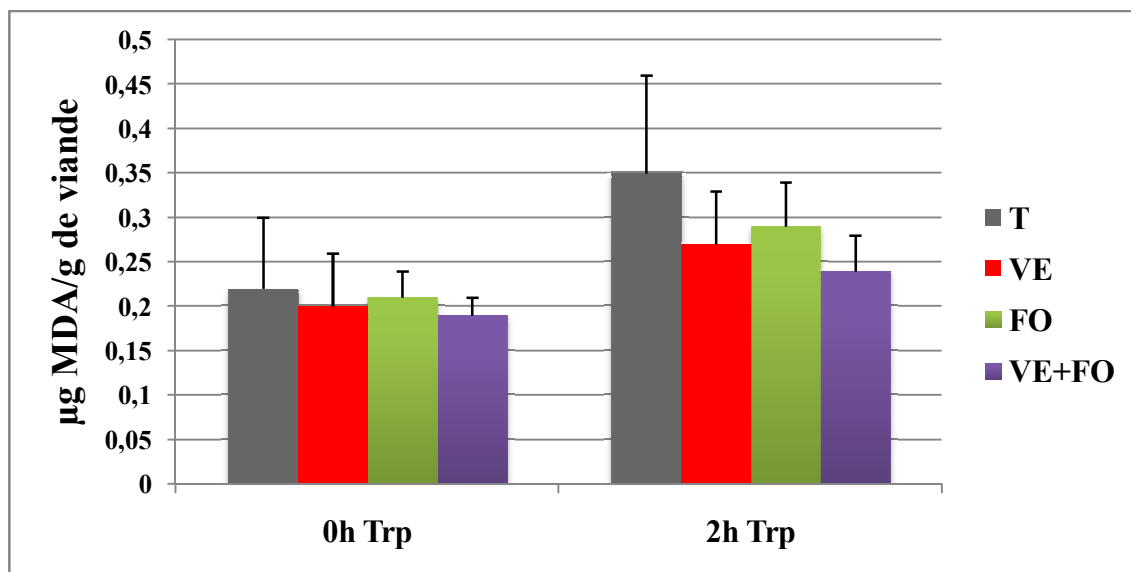


Figure 27: Effets du transport avant abattage et la supplémentation alimentaire en vit E et feuilles d'olivier sur la peroxydation lipidique de la viande de muscle de la cuisse.

Tableau 32: Concentrations du MDA dans la viande de muscle de la cuisse

Groupe	T		VE		FO		VE+FO		Effet facteurs		Inter
Trp (h)	0	2	0	2	0	2	0	2	G	Trp	
MDA ($\mu\text{g/g}$ de viande)	0,22 ^d ± 0,08	0,35 ^a ± 0,11	0,20 ^d ± 0,06	0,27 ^b ± 0,06	0,21 ^d ± 0,03	0,29 ^b ± 0,05	0,19 ^d ± 0,02	0,24 ^c ± 0,04	p<0,05	p<0,05	NS

Chaque valeur est la moyenne de (n=10). Les résultats sont exprimés en moyennes \pm écart types. Les valeurs en ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes. MDA= Malondialdéhyde.

3.2. Discussion

3.2.1. Performance de croissance et paramètres de carcasse

Nos résultats montrent que les poids vifs et les gains pondéraux des poulets évoluent d'une manière similaire pour tous les groupes étudiés. Toutefois, la supplémentation alimentaire en vit E et feuilles d'olivier n'entraîne aucune modification dans la vitesse de croissance des animaux. Des observations analogues ont été rapportées par **Coetzee et Hoffman (2001)** et **Leonel et al. (2007)** qui ont remarqué que la croissance des poulets nourris avec des régimes additionnés de 200 mg/kg et 300 mg/kg de vitamine E respectivement était identique à celle des témoins. Ainsi, **Varmaghany et al. (2013)** ont trouvé que l'incorporation de 5, 10 et 15g/kg de feuilles d'olivier dans l'aliment des poulets n'avait aucun effet défavorable sur leur niveau de croissance. De même, **Botsoglou et al. (2010)** et **Govaris et al. (2010)** n'ont pas observé une différence de croissance pour les dindes nourris avec un régime supplémenté en 10g/kg de feuilles d'olivier.

La consommation alimentaire et l'indice de consommation suivent la même tendance que les poids vifs et les gains de poids. Cependant, aucune différence significative de la quantité d'aliment ingérée et de l'IC n'est observée entre les quatre groupes d'animaux. Cette observation rejoint celles faites par **Govaris et al. (2010)** et **Englmaierová et al. (2011)** qui n'ont pas enregistré n'en plus d'effet de la consommation des aliments supplémentés en feuilles d'olivier et vit E sur l'efficacité alimentaire des dindes et des poulets respectivement.

Dans le cadre de notre essai les paramètres pondéraux de carcasse, les poids vifs à l'abattage des poulets de tous les groupes ont baissé significativement sous l'effet du transport. Les pertes de poids enregistrées varient donc de 0,71 à 0,77 %, et elles sont plus faibles comparativement à celles obtenues par **Oba et al. (2009)**, qui ont constaté une diminution des poids vifs de 2,11- 3,03 et 4,82% pour 30, 90 et 180 minutes de transport respectivement.

La perte de poids qui se produit au cours du transport, dépend de plusieurs facteurs comme la densité de chargement, la privation d'eau et de nourriture, l'âge et le poids initiaux des oiseaux, la durée du transport et les conditions environnementales au cours du transport (**Nijdam et al., 2005 ; Elrom, 2001**). La peur associée aux bruits et les vibrations au cours du transport des oiseaux sont des sources potentielles de stress plus fortes que la mise à jeun de ces derniers (**Kannan et al., 1997**). Dans ce cadre, **Nijdam et al. (2005)** ont aussi rapporté une grande perte de poids pour les poulets mis à jeun et transportés par rapport à ceux qui ont été mis à jeun seulement pour la même durée.

Mitchell et al. (2003) ont noté que l'élévation de la température au cours du transport des poulets conduit à des pertes de poids par l'augmentation de la déshydratation des animaux. En outre, **Warriss et al. (1993)** ont rapporté que les animaux peuvent perdre du poids quand ils sont soumis à une forte demande d'énergie, comme celle nécessaire pour maintenir l'équilibre ou la thermorégulation pendant le transport qui conduit à une perte importante d'eau par transpiration.

Globalement, les rendements en carcasse ne sont pas significativement différents pour tous les groupes. Cependant, une faible diminution de poids des carcasses éviscérées a été observée pour les poulets transportés. Nos résultats corroborent ceux de **Karaman et al. (2009)** qui n'ont pas observé un écart significatif entre les rendements en carcasse des animaux transportés pendant 2h et ceux non transportés. Selon **Wójcik et al. (2011)** la perte de poids augmente avec la distance du trajet, de plus, celle-ci peut diminuer considérablement le poids de la carcasse si elle dépasse 3% (**Mazanowski, 1997**).

Dans le présent travail, les valeurs de poids de la carcasse pleine, du gras abdominal, de cuisse et du foie n'ont pas été affectées par le stress de transport. Dans ce cadre, nos résultats sont en accord avec ceux des travaux précédents (**Bianchi et al., 2005 ; Doctor et Poltowicz, 2009**).

La supplémentation alimentaire en antioxydants (VE, FO et VE+FO) dans notre essai ne semble pas modifier les paramètres pondéraux des carcasses et les différents rendements à l'abattage. Comme cela a été déjà démontré par **Leonel et al. (2007)** et **Varmaghany et al. (2012)**.

3.2.2. Paramètres sériques

La mesure de la teneur en glucose et les activités de LDH et de CK sériques sont parmi les indicateurs des réponses au stress lié au transport les plus couramment dosés chez les oiseaux (**Knowles et Warriss, 2007**). La réaction de stress a pour objet de rétablir l'homéostasie de l'organisme agressé, afin de le maintenir dans les limites des normes vitales (**Brisville, 2006**).

Les résultats des analyses sériques montrent que la teneur en glucose a augmenté significativement chez les animaux transportés (2h) comparativement aux témoins (0h), ce qui indique que le transport d'une durée de 2h a causé un état de stress chez les poulets de chair induisant la stimulation de la glycogénolyse hépatique. Ainsi, il a été rapporté que dans le cas du stress, la demande de l'énergie augmente et le substrat énergétique utilisé par excellence est le glucose. Par ailleurs, le stress de transport cause une élévation des concentrations du glucose dans le plasma, comme le résultat de la glycogénolyse hépatique stimulée par les catécholamines (l'adrénaline). Toutefois, l'hyperglycémie peut être également induite par les glucocorticoïdes (corticotérostérone) sécrétés par les glandes surrénales (**Nijdam et al., 2005 ; Zhang et al., 2009 ; Lefcourt et Elsasser, 2014**).

Cependant, une légère réduction de la glycémie (sans pour autant atteindre le seuil de signification) était observée chez les groupes de poulets ayant consommé les régimes additionnés de vit E (VE) et de feuilles d'olivier (FO, VE+FO). De même, **Sahin et al. (2002)** trouvent que la supplémentation alimentaire en vit E diminue significativement la réponse au stress thermique (34°C) chez la caille japonaise qui se traduit par une diminution des concentrations de l'ACTH et du glucose sanguin.

Toutefois, l'effet hypoglycémiant des feuilles d'olivier a été démontré chez plusieurs animaux. Chez les lapins diabétiques, l'extrait des feuilles d'olivier diminue le taux du glucose sanguin. Ainsi, il a été rapporté que l'oleuropéine principal constituant des feuilles d'olivier possède une action hypoglycémiant efficace chez les animaux diabétiques (**Al-Azzawie et Alhamdani, (2006)**). En plus, l'effet hypoglycémiant des composés phénoliques et des flavonoïdes alimentaires peut être lié à l'inhibition de la digestion des carbohydrates, l'inhibition de l'absorption du glucose et la stimulation de la sécrétion de l'insuline par les cellules bêta du pancréas (**Hanhineva et al., 2010**).

Le présent travail montre également un accroissement important des taux de la LDH et de la CK sériques pour les poulets de chair soumis au stress du transport. Des résultats similaires ont été obtenus par (Xing *et al.*, 2015) et (Huff *et al.*, 2010) qui ont constaté une hausse des activités de ces deux enzymes suite à l'effet du transport des poulets pendant 2h et des dindes pendant 3h respectivement.

Le stress du transport présente des grands effets sur les muscles cardiaque et squelettique, car le muscle cardiaque est affecté à cause de l'accélération du rythme cardiaque, tandis que les effets sur le muscle squelettique proviennent de la tension musculaire nécessaire au maintien de l'équilibre pendant le transport (Zhu *et al.*, 2014).

En effet, les muscles cardiaque et squelettique sont les sources majeures de LDH, dans une situation anaérobie, cette enzyme contribue à la synthèse de l'énergie par la glycolyse anaérobie (Nain *et al.*, 2008). Sous des circonstances normales, LDH ne rejoint pas facilement la circulation sanguine en raison de la barrière membranaire de la cellule musculaire. Une fois que son activité augmente dans le plasma, elle peut indiquer un état de stress, une fatigue, un épuisement du glycogène musculaire induisant la formation d'une grande quantité d'acide lactique et des dommages musculaires provenant de la rupture de la membrane cellulaire et l'augmentation de sa perméabilité (Fàbrega *et al.*, 2002).

En outre, la CK est retrouvée à de fortes concentrations dans le muscle squelettique et dans le muscle cardiaque (Morandi *et al.*, 2006). L'augmentation de son activité témoigne d'une atteinte ou d'une forte activité musculaire chez les poulets qui peut être associée à un état de stress (Terlow, 2007 ; Sandercock *et al.*, 2009), et elle est parfois associée à des myopathies induites par un stress de chaleur (Mitchell et Sandercock, 1995 ; Sandercock *et al.*, 2001) ou encore de transport (Mitchell *et al.*, 1992).

Toutefois, l'addition des antioxydants aux régimes alimentaires des poulets comme dans le cas de notre expérimentation n'entraîne aucune modification sur les activités de la LDH et de la CK dosées. Nos résultats rejoignent ceux de Asghar *et al.* (1991) et de Al-Attar et Shawush, (2014) qui n'ont observé aucun changement des concentrations de ces deux enzymes dû aux suppléments alimentaires en vit E et en extraits des feuilles d'olivier respectivement.

3.2.3. Caractéristiques biochimiques qualitatives de la viande

3.2.3.1. pH et couleur de la viande de muscle de la cuisse

Nos résultats indiquent une augmentation significative du pH_u de la viande de la cuisse pour tous les animaux soumis au stress du transport. Cette tendance a été aussi observée par **Owens et Sams, (2000)** et **Début *et al.* (2003)** pour 3h et 2h de transport des dindes et des poulets respectivement.

Chez le poulet, le pH auquel se stabilise la viande est étroitement lié au potentiel glycolytique musculaire (**Debut, 2004**). Les études ainsi menées ont montré que le stress subi par l'animal au cours des différentes étapes de l'abattage pouvait être à l'origine du quasi épuisement des réserves en glycogène (**Terlouw et Rybarczyk, 2008**).

Une des causes principales du pH ultime élevé est l'arrêt prématuré de la diminution du pH musculaire post-mortem en raison d'une carence en glycogène dégradable. Or, la glycogénolyse responsable du déstockage du glycogène est stimulée par les catécholamines (**Bourguet, 2010**).

Warris *et al.* (1999) ont aussi rapporté que le transport avant abattage est une source d'épuisement pour les oiseaux, qui se traduit par une diminution des réserves hépatique et musculaire en glycogène mais également par un ralentissement de l'acidification du muscle post mortem. En définitive ces résultats semblent indiquer que l'effet associé du stress et de l'épuisement des réserves en glycogène pourrait expliquer les niveaux de pH_u plus élevés après le transport.

Contrairement au pH, la présente étude montre que la luminance (L*) de la viande diminue significativement après le transport des animaux. Des observations analogues ont été constatées par **Owens et Sams, (2000)** qui ont trouvé que les valeurs de la luminance de la viande de filet de la dinde baissent significativement suite à l'effet d'une durée de 3h de transport.

Selon **Barbut *et al.* (1993)**, le pH est inversement proportionnel à la luminance et donc la diminution du paramètre (L*) peut être expliquée par les valeurs élevées du pH_u trouvées dans le cas de nos échantillons. En conséquence, cela conduit à un risque plus important d'observer des cuisses ayant les caractéristiques des viandes de type DFD (Dark Firm and Dry). Ce type de viandes d'aspect sombre, fermes et sèches, pose des problèmes de conservation, puisqu'elles sont plus sensibles aux développements bactériens (**Gigaud *et al.*, 2006**).

Par ailleurs, dans nos conditions expérimentales, les deux indices de rouge et de jaune (a^* et b^*) quant à eux, ne sont pas influencés par le transport de pré-abattage. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par (**Fernandez *et al.*, 2009 ; Doctor et Poltowicz, 2009**).

Dans la présente étude, les valeurs du pHu et des coordonnées trichromatiques de la couleur ne sont pas affectées par la supplémentation du régime alimentaire en vit E et en feuilles d'olivier. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par **Zhang *et al.* (2011)** et **Paiva-Martins *et al.* (2009)**.

3.2.3.2. Teneurs en vitamine E musculaire

La présente étude montre que la supplémentation alimentaire en 200mg/kg de vit E (VE et VE+FO) pendant la phase de finition entraîne une augmentation significative de ses teneurs dans le muscle de la cuisse de poulet de chair. Cette tendance a été déjà observée par d'autres auteurs **Młodkowski *et al.* (2003)**, **Gao *et al.* (2010)** et **Zdanowska-Sąsiadek *et al.* (2016)** qui notent que la teneur en vit E de la viande reflète généralement sa concentration dans le régime alimentaire et donc l'augmentation des apports alimentaires en α - tocophérol accroît sa teneur au niveau des tissus de muscles squelettiques.

Dans ce cadre, nos résultats corroborent ceux de **Botsoglou *et al.* (2010)** qui observent une augmentation des concentrations de vit E dans les muscles des filets de dinde de 0,88 $\mu\text{g/g}$ à 2,22 et 2,88 $\mu\text{g/g}$ de tissu après une supplémentation en 150 et 300 mg/kg d'acétate de l' α - tocophérol respectivement.

Cependant, l'addition de 10g/kg de feuilles d'olivier au régime alimentaire des poulets augmente légèrement la teneur de la vit E dans la viande de la cuisse. Ces résultats sont en adéquation avec ceux trouvés par d'autres travaux sur le porc (**Paiva-Martins *et al.*, 2009, Botsoglou *et al.*, 2014**) et sur la dinde (**Botsoglou *et al.*, 2010**).

En revanche, le transport de pré abattage d'une durée de 2h n'entraîne aucune modification des teneurs de la vit E musculaire. Ces résultats rejoignent ceux de **Gao *et al.*, (2010)**, **Voljč *et al.*, (2014)** qui n'ont pas observé une différence entre la teneur en vit E musculaire pour des poulets exposés à un stress oxydatif et celle des témoins.

3.2.3.3. Teneurs en lipides et profil en AG de muscle de la cuisse

Les résultats de la présente étude montrent que le transport avant abattage ne présente aucun effet significatif sur les teneurs en lipides de muscle de la cuisse. Cette observation a été déjà rapportée par **Sowińska *et al.* (2013)** chez le poulet.

Toutefois, la viande de la cuisse des poulets soumis au transport présente une faible proportion des AGPI (moins de 15%) comparativement à celle des poulets restés en repos, en particulier les pourcentages de l'acide linoléique et l'acide α -linoléique. En revanche, la proportion des AGS augmente significativement suite à l'effet du transport, ce qui engendre un abaissement significatif du rapport AGPI/ AGS. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de **Castellini *et al.*, (2016)** qui expliquent la faible proportion des AGPI trouvée dans la viande de filet des poulets transportés pendant 4h par le phénomène de la peroxydation lipidique qui conduit à la formation des peroxydes.

De plus, ces résultats suggèrent que l'augmentation de la production des ERO par le stress peut altérer le profil en AG en augmentant leur saturation (**Gao *et al.*, 2010**). Le degré d'insaturation des AG dans les biomembranes est associé à leur sensibilité à la peroxydation lipidique (**Rebole *et al.*, 2006**). Ainsi, les acides gras appartenant à la famille oméga 3 particulièrement l'acide α -linoléique peut être préférentiellement oxydé, conduisant à une diminution de son incorporation dans les muscles (**Falowo *et al.*, 2014**).

Il convient de signaler que l'addition des deux antioxydants (vit E et feuilles d'olivier) seuls ou en combinaison n'entraîne aucune modification de la teneur en lipides totaux et de la composition en acides gras de la viande de muscle de la cuisse chez les animaux transportés et ceux restés en repos. Ces résultats corroborent ceux obtenus par **Gao *et al.* (2010)** et **Botsoglou *et al.* (2014)**.

A notre connaissance il y'a peu d'études qui se sont intéressées à l'effet du transport de pré abattage sur le profil en acides gras de la viande de poulet et à l'utilisation des feuilles d'olivier et de la vitamine E pour limiter les effets de ce stress sur la qualité de la viande, et donc une comparaison directe ne peut pas être faite.

3.2.3.4. Peroxydation lipidique de la viande de muscle de la cuisse

Dans le présent travail, les concentrations du MDA augmentent significativement dans la viande des poulets ayant subi le stress lié au transport (2h) par rapport à celle des poulets témoins (0h). Cela peut être expliqué par l'augmentation de la concentration des espèces réactives de l'oxygène suite à l'effet du stress de pré abattage, ce qui accroît la susceptibilité de la viande aux réactions oxydatives et conduit donc au phénomène du stress oxydatif (**Chulayo et Muchenje, 2015**), ce dernier est à l'origine de la peroxydation lipidique qui se manifeste par l'augmentation des taux des produits d'oxydation comme le MDA dans le plasma et les tissus (**Sahin et al., 2002; Taysi et al., 2006; Guo et al., 2013**).

Zhang et al. (2010) quant à eux, rapportent que le stress du transport est associé à l'augmentation du métabolisme énergétique du muscle squelettique, la production du superoxyde mitochondrial, l'accélération de la peroxydation lipidique et l'induction des dommages cellulaires. De même, certains auteurs suggèrent que les différents stress environnementaux accroissent la production du radical libre superoxyde dans le muscle squelettique des poulets (**Mujahid et al. 2005**).

Toutefois, il apparait possible de limiter la lipoperoxydation par l'incorporation des antioxydants dans l'alimentation des poulets. Nos résultats indiquent que la supplémentation alimentaire en 200mg de vit E (VE) permet de réduire de 23% la peroxydation lipidique générée par le stress dans la viande de la cuisse.

Ces résultats sont en accord avec ceux de (**Avanzo et al., 2001; Khalil, 2002 ; Singh et al., 2006**) qui rapportent que la vit E agit comme un agent protecteur contre les radicaux libres en empêchant les dommages générés par l'attaque radicalaire des tissus, spécifiquement des AGPI. Lors de l'initiation de la peroxydation lipidique, suite à une attaque radicalaire, l' α -tocophérol, connu comme inhibiteur de la propagation de la peroxydation lipidique, cède son hydrogène situé dans le noyau phénolique, réduisant ainsi le radical RO_2^- et constitue par ce biais le seul antioxydant liposoluble assurant cette protection.

Des effets positifs de la supplémentation en vit E avec des taux élevés (100 à 200 mg/kg) sont trouvés sur la qualité de la viande des poulets exposés à un stress oxydatif (**Sahin et al., 2001; Gao et al., 2010**). Ainsi, **Sahin et al. (2001, 2002)** observent que les poulets de chair supplémentés en vit E présentent une réduction significative des valeurs du MDA dans le sérum et les tissus.

Voljč *et al.* (2011) ont aussi vérifié que la vit E additionnée avec une dose de 200 mg/kg de l'aliment augmente la stabilité oxydative de la viande et réduit le stress *in vivo* pour des animaux soumis au stress thermique et recevant une alimentation riche en AGPI.

De même, **Panda *et al.* (2007)** trouvent que la supplémentation alimentaire en 125 mg/kg de vit E réduit significativement la concentration des peroxydes lipidiques et augmente la concentration de la glutathione peroxydase dans le sérum des poules pondeuses exposées au stress thermique. De plus, il a été rapporté que les activités de la superoxyde dismutase et la glutathione peroxydase augmentent suite à l'augmentation de la consommation de la vit E (**Ayazi, 2014**).

Plusieurs travaux ont montré que l'action protectrice de l' α -tocophérol alimentaire est liée à son accumulation dans les tissus musculaires, comme il a été montré avec l'augmentation de sa teneur dans la viande des poulets nourris avec les régimes (VE et VE+FO) dans la présente étude.

Le présent travail montre également que l'addition des feuilles d'olivier au régime alimentaire des poulets avec une dose de 10g/kg entraîne une diminution estimée de l'ordre de 18% des valeurs de MDA dans la viande de muscle *Sartorius* de la cuisse. Ces résultats corroborent ceux de **Hamden *et al.* (2009)** qui ont rapporté que les sous produits d'olivier sont utilisés comme agents antioxydants pour réduire le stress oxydatif et la genèse des radicaux libres et améliorer les défenses enzymatiques chez les rats diabétiques.

Ainsi, les faibles concentrations du MDA enregistrées avec le régime (FO) sont probablement le résultat de la forte capacité des feuilles à piéger les radicaux libres comparativement aux autres parties de l'arbre d'olivier **Japón-Luján *et al.* (2006)**. Aussi, l'activité antioxydante et la synergie entre plusieurs constituants de ces feuilles comme les flavonoïdes, les oleuropéosides et les phénols (**Benavente-Garcia *et al.*, 2000; Botsoglou *et al.*, 2010**) sont à l'origine de la réduction de la lipoperoxydation.

Il a été montré que l'oleuropéine, est le constituant le plus important des feuilles d'olivier, sa concentration peut atteindre 60 - 90 mg/g de feuilles sèches (**Ryan *et al.*, 2002 ; Lee *et al.*, 2009**), il possède des propriétés antioxydantes plus fortes que le BHT, vitamine C et vitamine E (**Özdemir et Azman , 2016**). De plus, ces feuilles contiennent également une quantité importante de tocophérols (**Paiva-Martins *et al.*, 2009**).

Par ailleurs, l'extrait des feuilles d'olivier utilisé chez le lapin était efficace en minimisant le stress oxydatif, spécialement pour le taux de cholestérol, des triglycérides, des substances réactives à l'acide thiobarbiturique, de superoxyde dismutase (SOD) et de glutathion transférase (GST) plasmatiques (**El-damrawy, 2011**).

En outre, nos analyses montrent que la teneur en phénols totaux et en flavonoïdes des feuilles d'olivier est de 25,30 mg EAG/g et 13,67 mg EQ/g d'extrait sec respectivement. Ces taux sont proches à ceux obtenus par **Botsoglou et al. (2014)** qui ont trouvé que les feuilles d'olivier utilisées dans leur essai contiennent 26,0 mg EAG/g de phénols totaux et 12,46 mg équivalent catéchine/g de matière sèche de flavonoïdes et ils ont montré que l'incorporation de ces feuilles dans l'alimentation des porcs à raison de 10g/kg diminue significativement les valeurs du MDA de la viande crue pendant le stockage à 4°C.

Dans cet ordre d'idée, nous notons l'étude de **Botsoglou et al. (2010)** qui ont observé que les feuilles d'olivier (26,2 mg EAG/g de phénols) additionnées avec une dose de 5g/kg seulement au régime alimentaire des dindes augmente significativement la stabilité oxydative des filets crus pendant le stockage à 4°C, et elles avaient un effet antioxydant similaire à celui de la supplémentation en 150 mg/kg de l'α-tocophérol.

Toutefois, **Benavente-Garcia et al. (2000)** ont rapporté que les feuilles d'olivier ont présenté une activité antioxydante supérieure que la vitamine C et E dans leur essai. Ainsi, **Paiva-Martins et al. (2009)** ont rapporté que l'addition des feuilles d'olivier au régime alimentaire des porcs augmente la concentration de l'α-tocophérol dans la viande, ce qui peut expliquer les différences de la stabilité oxydative obtenues dans le cas de nos échantillons.

Govarís et al. (2010) ont constaté que les feuilles d'olivier incorporées dans l'aliment des dindes à raison de 10 g/kg contenant 23,8 mg EAG/g de composés phénoliques étaient plus efficaces dans l'inhibition de l'oxydation lipidique comparativement au romarin utilisé avec la même dose, mais leur activité antioxydante reste inférieure à celle de 300 mg/kg de l'α-tocophérol.

Toutefois, il paraît bénéfique d'enrichir les rations des animaux à l'aide de plusieurs sources d'antioxydants. L'association de différentes sources d'antioxydants (lipophile et/ou hydrophile) a été testée pour, d'une part, limiter les apports d'un seul type d'antioxydant, pouvant avoir des effets nocifs à des doses supra nutritionnelles, et d'autre part, améliorer la stabilité oxydative des tissus (**Young et al., 2003**).

Cependant, notre étude suggère que l'apport conjoint de 200mg/kg de vit E et 10g/kg de feuilles d'olivier (VE+FO) protège efficacement les AGPI de la viande de la cuisson de la lipoperoxydation générée par le stress du transport et présente un pouvoir antioxydant plus important que celui apporté par chaque traitement antioxydant utilisé seul. Cet apport a permis de réduire de 31% la peroxydation lipidique.

Chez le poulet l'apport conjoint de vit E lipophile (200 ppm) et de vitamine C hydrophile (1000 ppm) ou d'origan (3%) diminue l'intensité des détériorations oxydatives dues à un stress (transport, étourdissement électrique) (**Young et al., 2003**).

Ainsi, **Marcinčák et al. (2005)** montrent que l'association entre la vitamine E et le romarin peut supprimer significativement le processus de l'oxydation des lipides dans la viande des poulets de chair.

Rajmane et Ranade (1994) trouvent également que l'incorporation de la vitamine E et C ensemble à raison de 150 mg/kg et 200 mg/kg d'aliment respectivement, aide à améliorer la croissance des poulets et leur réponse immunitaire à la vaccination. D'après **Mairesse et al., (2011)** l'addition de vitamine E et d'antioxydants végétaux (AOV) à l'alimentation des porcs enrichie en (AGPI) permet de réduire le risque de leur peroxydation et conserver les qualités sensorielles des produits enrichis en AG n-3.

L'apport combiné de vitamine E et feuilles d'olivier (VE+FO) utilisé dans la présente étude agit non seulement au cours de la phase de propagation de la réaction de lipoperoxydation (vitamine E agit comme casseur de chaîne), mais aussi dès la phase d'initiation de la réaction par la fixation des radicaux libres par les polyphénols, comme cela a été déjà démontré chez le bovin en finition (association entre la vitamine E et les extraits végétaux riches en polyphénols) (**Bauchart et al., 2010**).

4. Conclusion

En conclusion, on peut dire que la supplémentation alimentaire en vit E et feuilles d'olivier ne présente aucun effet sur les performances de croissance et les paramètres de carcasses des poulets de chair.

En revanche, le transport de pré abattage représente une source de stress pour les poulets qui se manifeste par une diminution significative du poids vif à l'abattage des animaux.

Cependant, ce stress engendre également une augmentation significative de la glycémie et des concentrations de la LDH et de la CK sériques, qui sont parmi les indicateurs des réponses au stress lié au transport les plus couramment dosés chez les oiseaux.

En outre, la présente étude démontre que le transport avant abattage d'une durée de 2h affecte significativement les qualités technologique et nutritionnelle de la viande de muscle de la cuisse des poulets puisqu'il cause un accroissement des valeurs du pHu et du MDA, et diminue la luminance de la viande.

En plus de ce qui précède, ce même facteur de stress altère le profil en acides gras de la viande dont il accroît significativement la proportion des AGS, et réduit drastiquement celle des AGPI surtout ceux appartenant à la famille des oméga 3 connus par leur effets bénéfique sur la santé humaine.

La supplémentation alimentaire en 200mg/kg de vit E et 10g/kg de feuilles d'olivier permet de réduire d'une manière efficace la lipoperoxydation générée par le stress dans la viande de poulet.

Discussion générale

Dans le cadre de cette étude, l'incorporation dans l'aliment du poulet de la graine de colza avec une proportion de 5% a permis d'augmenter la teneur en AGPI dans les lipides déposés dans la viande de muscle *Sartorius* de la cuisse surtout ceux appartenant à la famille oméga 3 qui ont connu une hausse de plus de deux fois de leur proportion (**Rahimi et al., 2011**), ce qui a entraîné un accroissement significatif du rapport AGPI/AGS et une baisse significative du rapport n-6/n-3 (**Kamran et al., 2009**). Mais cet enrichissement s'est accompagné d'une réduction significative de la performance des animaux. Cette tendance a été déjà observée par **Roth Maier et al. (1988)** avec des doses d'incorporation de graine de colza de 5, 10, 15, 20 et 25%.

Ainsi, (**Lee et al., 1991; Chadha et al., 1995; Roth-Maier et al., 1998**) rapportent que les effets négatifs de l'alimentation des oiseaux avec des régimes contenant la graine de colza sont attribués à la faible disponibilité de sa fraction lipidique et la présence des facteurs antinutritionnels.

Cependant, le retard de croissance observé en début d'élevage est rattrapé en phase de finition, par la supplémentation du régime additionné de la graine de colza par 200mg/kg de vitamine C et 10g/kg de feuilles du romarin. Ces résultats sont en adéquation avec ceux obtenus par **Lohakare et al. (2005)** et **Hernandez et al. (2004)** qui confirment que l'addition de la vitamine C et de feuilles du romarin à l'alimentation des poulets respectivement permet d'augmenter le gain de poids des animaux résultant d'une amélioration de la digestibilité des nutriments.

Toutefois, le stockage de la viande de muscle de la cuisse à 4°C pendant 5 jours a réduit sa capacité à résister à la lipoperoxydation favorisant la formation du MDA surtout pour le groupe (T) dont l'alimentation des animaux n'a pas été additionnée d'antioxydants comparativement aux deux autres groupes supplémentés en vit C et feuilles du romarin pendant la phase de finition. Cela peut être lié à la grande teneur de la viande de la cuisse en lipides et AGPI qui renferment plus de double liaison (**Ajuyah et al., 1993; Jensen et al., 1995; Botsoglou et al., 2004**).

Ces résultats corroborent ceux de **Skřivan et al. (2011)** et **Govaris et al. (2010)** qui démontrent que l'incorporation de la vitamine C et des feuilles du romarin dans l'alimentation des animaux retardent l'oxydation lipidique de la viande pendant le stockage réfrigéré.

De plus, le supplément alimentaire en 10g/kg de feuilles du romarin montre une activité antioxydante supérieure à celle de 200 mg/kg de vitamine C qui peut être liée à sa forte teneur en composés phénoliques (38,40 mg EAG/g d'extrait sec) et à sa capacité d'inactiver les radicaux libres (**Yesilbag et al., 2011**) permettant une protection des AGPI de la peroxydation et donc une réduction significative des concentrations du Malondialdéhyde

De point de vue aspect sensoriel, aucune différence significative n'a été perçue entre la viande du poulet ayant consommé l'aliment standard (T) et celle du poulet nourri avec le régime (GCC). Ceci est en accord avec les résultats trouvés par **Młodkowski et al. (2003)** et **Moraes et al. (2016)**.

Il ressort des résultats de la deuxième étude que les performances de croissance et les paramètres pondéraux de carcasses de poulets de chair ne sont pas influencés par la supplémentation alimentaire par 200mg/kg de vit E et 10g/kg de feuilles d'olivier. Ceci est conforme aux résultats obtenus par **Leonel et al. (2007)** et **Varmaghany et al. (2012)** respectivement.

En revanche, le transport des poulets pendant 2h avant leur abattage engendre une perte significative de poids. Il convient en effet, de rappeler, selon **Warriss (1993)** que les animaux peuvent perdre du poids quand ils sont soumis à une forte demande d'énergie, comme celle nécessaire pour maintenir l'équilibre ou la thermorégulation pendant le transport qui induit à une perte d'eau importante par transpiration.

En outre, le stress lié au transport entraîne une augmentation significative des indicateurs des réponses au stress dosés à savoir : la glycémie et les activités de la LDH et de la CK sériques.

L'hyperglycémie peut être induite par la glyco-génolyse hépatique stimulée par les catécholamines (l'adrénaline) et également par les glucocorticoïdes (corticostérone) sécrétés par les glandes surrénales (**Fitko et Kaździolka 1994 ; Nijdam et al., 2005 ; Zhang et al., 2009 ; Lefcourt et Elsasser, 2014**).

La hausse de la concentration de LDH sérique témoigne d'une rupture de la membrane cellulaire et l'augmentation de sa perméabilité suite à l'effet d'un stress, une fatigue et un épuisement des réserves glycogéniques (**Fàbrega et al., 2002**). En outre, l'accroissement de l'activité de la CK indique une forte activité musculaire chez les poulets qui peut être associée à un état de stress (**Terlow, 2007 ; Sandercock et al., 2009**).

Cependant, une légère réduction de la glycémie est constatée chez les poulets nourris avec les régimes supplémentés en vit E et feuilles d'olivier. Des résultats similaires ont été obtenus par **Sahin *et al.* (2002)** et (**Hanhineva *et al.*, 2010**).

Ce présent travail montre aussi que le transport de pré abattage affecte significativement les indicateurs de la qualité technologique de la viande de muscle de la cuisse ; une augmentation significative du pHu de la viande accompagnée d'une baisse remarquable de la luminance sont observées chez les animaux soumis au transport. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le transport avant abattage est une source d'épuisement pour les oiseaux, qui se manifeste par une diminution des réserves glycoliques et également par un ralentissement de l'acidification du muscle post mortem (**Warris *et al.*, 1999**). Ainsi, l'abaissement de la luminance de la viande est due vraisemblablement à la hausse des valeurs du pHu car il a été rapporté dans de nombreux travaux que ce dernier est inversement proportionnel au paramètre L* de la couleur (**Barbut *et al.*, 1993; Owens et Sams, 2000**).

En plus de ce qui précède, un accroissement important des concentrations du MDA est constaté dans la viande des poulets transportés pendant 2h. De même, plusieurs auteurs rapportent que le stress subi par les animaux avant leur abattage conduit à la peroxydation des lipides de la viande qui se manifeste par l'augmentation du MDA dans le plasma et les tissus (**Sahin *et al.*, 2002; Taysi *et al.*, 2006; Guo *et al.*, 2013**).

Il semble, toutefois, que la supplémentation alimentaire par 200mg/kg et 10g/kg de feuilles d'olivier permet de réduire de 23% et de 18% la peroxydation lipidique générée par le stress dans la viande de la cuisse respectivement. Ainsi, l'apport combiné de ces deux antioxydants permet une protection plus efficace des AGPI que l'utilisation de chaque traitement antioxydant seul en réduisant de 30% la lipoperoxydation.

De même, **Sahin *et al.* (2001, 2002)** et **Botsoglou *et al.* (2010)** observent que les animaux supplémentés en vit E et feuilles d'olivier respectivement présentent une réduction significative des valeurs du MDA dans les tissus. Aussi, la synergie entre plusieurs constituants des feuilles d'olivier comme les flavonoïdes, les oleuropéosides et les phénols sont à l'origine de leur forte activité antioxydante (**Benavente-Garcia *et al.*, 2000; Botsoglou *et al.*, 2010**).

Par ailleurs, l'association entre la vit E et les feuilles d'olivier riche en polyphénols et en flavonoïdes (25,30 mg EAG/g et 13,67 mg EQ/g d'extrait sec respectivement) agit non seulement au cours de la phase de propagation de la réaction de lipoperoxydation (vitamine E agit comme casseur de chaîne), mais aussi dès la phase d'initiation de la réaction par la fixation des radicaux libres par les polyphénols (**Bauchart *et al.*, 2010**), ceci pourrait expliquer la forte activité antioxydante de l'apport conjoint des deux antioxydants observée dans la deuxième étude.

Concernant le profil en acides gras, le transport des poulets avant leur abattage diminue d'une manière drastique la proportion des AGPI et accroît significativement celle des AGS, ce qui entraîne un abaissement significatif du rapport AGPI : AGS dans la viande de muscle de la cuisse. Ceci est dû vraisemblablement à l'augmentation de la production des ERO suite à l'effet du stress qui peut altérer le profil en AG conduisant à leur peroxydation (**Gao *et al.*, 2010; Castellini *et al.*, 2016**).

Conclusion générale

Ce travail nous a permis de constater que chez les animaux monogastriques particulièrement le poulet, il existe une forte corrélation entre les acides gras ingérés et ceux qui seront déposés dans les tissus musculaires. Il s'avère donc que nourrir cet animal avec un aliment enrichi en AGPI n-3 par l'utilisation de la graine de colza à raison de 5% comme une source lipidique alimentaire (source importante de l'acide α -lionlénique, précurseur d'oméga 3) permet d'augmenter leur proportion dans la viande de la cuisse ce qui fait de cette denrée un produit diététique de haute qualité nutritionnelle et cela sans modification de ses propriétés sensorielles. En effet, les performances obtenues dans la première étude nous renseignent que même si un retard de croissance est accusé en début de l'élevage avec le régime additionné de colza, il est rattrapé en fin de finition par la supplémentation de cet aliment en vit C et feuilles du romarin.

En outre, l'incorporation des feuilles du romarin à raison de 10g/kg dans le régime alimentaire des poulets a montré un effet antioxydant supérieur à celui de 200 mg/kg de vitamine C permettant de protéger les AGPI de la viande du phénomène de l'oxydation au cours du stockage à 4°C.

La deuxième étude a démontré que le transport avant abattage d'une durée de 2h représente une source de stress et d'épuisement pour les poulets qui se manifeste par une diminution significative du poids vif à l'abattage des animaux et un accroissement de la glycémie et des activités de la LDH et de la CK sériques considérés comme indicateurs des réponses au stress chez les oiseaux.

Toutefois, le stress lié au transport influe fortement sur les paramètres de qualité de la viande en causant une augmentation des valeurs du pHu et du degré de la peroxydation lipidique et un abaissement important de sa luminance.

Cependant, le stress subi par les poulets au cours de leur transport altère significativement la composition en acides gras de la viande par l'augmentation de la proportion des AGS, et la forte réduction de celle des AGPI surtout ceux appartenant à la famille des oméga 3 connus par leurs effets bénéfiques sur la santé humaine.

La supplémentation alimentaire en 200mg/kg de vit E et 10g/kg de feuilles d'olivier permet de réduire d'une manière efficace la lipoperoxydation générée par le stress dans la viande de poulet.

Les résultats de la lipoperoxydation des deux études montrent que l'utilisation de sources d'antioxydants naturels riches en composés phénoliques comme les feuilles du romarin et d'olivier dans l'alimentation des poulets semble une alternative intéressante de l'utilisation des produits synthétiques (vit C et E) permettant de préserver la qualité de la viande en augmentant sa stabilité oxydative.

Suite aux conclusions de notre travail, certaines perspectives peuvent être envisagées :

Il serait intéressant de poursuivre les études visant à mieux comprendre et maîtriser les mécanismes par lesquels le stress de transport affecte le métabolisme énergétique musculaire pouvant avoir des effets négatifs sur les qualités des viandes.

Des études plus poussées peuvent aussi être effectuées dans l'avenir pour évaluer les effets de différentes durées de transport et de temps d'attente à l'abattoir sur l'état de stress des poulets.

Enfin, Il serait également judicieux de conduire des expériences en vue de tester l'incorporation des feuilles du romarin et d'olivier dans l'alimentation des poulets avec des doses supérieures à celles utilisées dans notre travail (10g/kg), et ce, pour voir les effets sur les réponses au stress de transport de pré abattage surtout sur les paramètres sériques et assurer également une stabilité oxydative maximale de la viande.

Références bibliographiques

- Ackman, R.G. (1990).** Canola fatty acids-An ideal mixture for health, nutrition, and food use. In: F. Shahidi (Ed.) Canola and Rapeseed, Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology. p: 81. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Addis, P. B. (1986).** Poultry Muscle as Food. Pages 371-404 in: Muscle as Food. Bechtel, P. J., ed. New York, USA.
- AFNOR. (1985).** (Association Française de Normalisation). Aliments des animaux, méthodes d'analyses françaises et communautaires. 2ème édition, p 200.
- Agarwal R., Chase S.D. (2002).** Rapid, fluorimetric-liquid chromatographic determination of malondialdehyde in biological samples. Journal of Chromatography B 775, 121-126.
- Ajuyah, A.O., Ahn, D.U., Hardi, R.T. and Sim, J.S. (1993).** Dietary antioxidants and storage affect chemical characteristics of omega-3 fatty acids enriched broiler chicken meats. J. Food Sci. 58, 43–46.
- Aksit M., Yalcin S., Ozkan S., Metin K. and Ozdemir D. (2006).** Poult Sci, (85), 1867-1874.
- Al-Attar, A.M. and N.A. Shawush. (2014).** Physiological investigations on the effect of olive and rosemary leaves extracts in male rats exposed to thioacetamide. Saudi J. Biol. Sci., 21: 473-480.
- Al-Azzawie, HF., Alhamdani, MS. (2006).** Hypoglycemic and antioxidant effect of oleuropein in alloxan-diabetic rabbits. Life Science, 78:1371-1377.
- ANC. (2001).** In Martin A., 2001. Apports nutritionnels conseillés pour la population Française. AFSSA, Ed. Tec and Doc, 3^{ème} édition, Paris, 650 p.
- Andrews J, Va'zquez-Anon M, Bowman G. (2006).** Fat stability and preservation of fatty acids with AGRADO antioxidant in feed ingredients used in ruminant rations. J Dairy Sci.89:60. Abstr.
- Aschbacher, K., O'Donovan, A., Wolkowitz, O.M., Dhabhar, F.S., Su, Y. and Epel, E. (2013).** Good stress, bad stress and oxidative stress: Insights from anticipatory cortisol reactivity. Psychoneuroendocrino. 38, 1698-1708.
- Asghar, A., J. I. Gray, E. R. Miller, P. K. Ku, A. M. Booren, and D. J. Buckley. (1991).** Influence of supranutritional vitamin E supplementation in the feed on swine growth performance and deposition in different tissues. J. Sci. Food Agric. 57:19–29.
- Attia A.A., Abou-Zeid A.E., Mohamed F.F., Yakout H.M. (2001):** Enhancement of broiler performance and immune response by α -tocopherol supplemented in diets. Pakistan Journal of Biological Sciences, 4, 1029–1035.
- Attia, Y. A., R. A. Hassan, and M. A. Qota. (2009).** Recovery from adverse effects of heat stress on slow-growing chicks in the tropics 1. Effect of ascorbic acid and different levels of betaine. Trop. Anim. Health Prod. 41:807–818.
- Augustsson K., Michaud D.S, Rimm, E.B., Leitzmann M. F., Stampfer M. J., Willett W.C and Giovannucci E. (2003).** A prospective study of intake of fish and

marine fatty acids and prostate cancer. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, 12, 64-67.

Avanzo, J.L., De Mendonça, C.X. Jr., Pugine, S.M.P and De Cerqueira, C.M. (2001). Effect of vitamin E and selenium on resistance to oxidative stress in chicken superficial pectoral muscle. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part C* 129, 163-173.

Awada, M. (2011). L'oxydation modifie les effets métaboliques d'acides gras polyinsaturés de la série n-3 incorporés par différents vecteurs dans les régimes hyperlipidique : contribution de l'absorption intestinale et de la réactivité cellulaire du 4-hydroxy-hexénal. Thèse pour obtenir le grade de Docteur de L'Ecole doctorale interdisciplinaire sciences-santé. Spécialiste : Biochimie, Institut National de Sciences Appliquées de Lyon. np 49-50.

Ayazi, M. (2014). Effect dietary glutamine and vitamin E supplementation on performance, some blood antioxidant indices in broiler chickens undercontinuous heat stress temperature. *Int. J. Farm. Allied Sci.* 12, 1303–1310.

Aziza A.E., Quezada N., Cherian G. (2010 b). Antioxidative effect of dietary Camelina meal in fresh, stored, or cooked broiler chicken meat. *Poultry Sci.*, 89: 2711–2718.

Aziza A.E., Quezada N., Cherian G. (2010 a). Feeding Camelina sativa meal to meat type chickens: Effect on production performance and tissue fatty acid composition. *Poultry Sci.*, 19: 157–168.

Barberger-Gateau P., Letenneur L., Deschamps V., Peres K., Dartigues J.F and Renaud S. (2002). Fish, meat, and risk of dementia :cohort study. *BMJ*, 325 (7370), 932-933.

Barbut, S and Mittal, G. S. (1993). Effects of pH on Physical Properties of White and Dark Turkey Meat. *Poultry Sci.* 72: 1557-1565.

Barekatin, M.R., Wu, S.B., Toghyani, M., Swick, R.A. (2015). Effects of grinding and pelleting condition on efficiency of full-fat canola seed for replacing supplemental oil in broilerchicken diets. *Animal Feed Science and Technology* 207 :140–149.

Barowicz T., Pieszka M., Pietras M., Migdal W., Kedzior W. (2002). Conjugated linoleic acid utilization for improvement of chemical composition and dietetic value of pork meat. *Ann. Anim. Sci.*, 2: 123–130.

Barthet, V. J., and J. K. Daun. (2011). Seed morphology, composition, and quality. Pages 125-145 in *Canola: Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. J. K. Daun, N. A. M. Eskin, D. Hickling, eds. AOCS Press, Urbana, IL.

Basmacioğlu H, Tokuşoğlu Ö, Ergül M. (2004). The effect of oregano and rosemary essential oils or alpha-tocopheryl acetate on performance and lipid oxidation of meat enriched with n-3 PUFA's in broilers. *South African Journal of Animal Science.* 34: 197-208.

- Bauchart, D., Gobert, M., Habeanu, M., Parafita, E., Gruffat, D., Durand, D. (2010)** Influence des acides gras polyinsaturés n-3 et des antioxydants alimentaire sur les acides gras de la viande et la lipoperoxydation chez le bovin en finition. *Nutrition et Diététique*.
- Bedanova I., Voslarova E., Chloupek P., Pistekova V., Suchy P., Blahova J., Dobsikova R., Vecerek V. (2007)**. Stress in broilers resulting from shackling. *Poult. Sci.*, 86, 1065-1069.
- Begum, A., Sandhya, S., Ali, S.S., Vinod, K.R., Reddy, S., Banji, D. (2013)**. An in-depth review on the medicinal flora *Rosmarinus officinalis*(Lamiaceae). *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 12, 61–73.
- Benathmane, F. (2012)**. Impacts des aliments enrichis en acides gras polyinsaturés n-3 sur les paramètres zootechniques et la qualité nutritionnelle des cas viandes : cas du lapin et du poulet de chair. En vue de l'obtention du diplôme de docteur en Sciences Agronomiques. Option : Production animale. Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou. pp 31-54.
- Benavente-Garcia O., Castillo, J., Lorente J., Ortuno A. and Del Rio J.A. (2000)** Antioxidant activity of phenolics extracted from *Olea europaea* L. leaves. *Food Chemistry* 68: 457–462.
- Benibo, B. S., and Farr, A. J. (1985)**. The Effect of Feed and Water Withdrawal and Holding Shed Treatments on Broiler Yield Parameters. *Poultry Sci.* 64: 920-924.
- Bergmeyer, H.U.J. (1975)**. LDH Méthode cinétique SFBC. *Clin. Chem. Clin. Biochem.* 13,507.
- Berne, A. (2015)**. Influence du type génétique, du mode d'élevage et des conditions d'abattage sur les qualités des viandes de porcs, mémoire pour l'obtention du diplôme de l'école pratique des Hautes études, école pratique des Hautes études, pp 45.
- Berquin I. M., Edwards I. J and Chen Y. Q. (2008)**. Multi-targeted therapy of cancer by omega-3 fatty acids. *Cancer letters*, 269, 363-377.
- Berri C, Debut M, Sant_e-Lhoutellier V, Arnould C, Boutten B, Sellier N, Baéza E, Jehl N, Jego Y, Duclos MJ. (2005)**. Variations in chicken breast meat quality: implications of struggle and muscle glycogen content at death. *Br Poult Sci.* 46:572–579.
- Berri C, Le Bihan-Duval E, Debut M, Sant_e-Lhoutellier V, Baéza E, Brunel V, Jego Y, Duclos MJ. (2007)**. Consequence of muscle hypertrophy on characteristics of Pectoralis major muscle and breast meat quality of broiler chickens. *J Anim Sci.* 85:2005–2011.
- Berri, C et Jehl, N. (2001)**. Facteurs de Variation de la Qualité Technologique et Organoleptique des Viandes de Poulets. Pages 245-252 in : Quatrième Journée de la Recherche Avicole, Nantes, France.

- Bianchi, M., Petracci, M and Cavani, C. (2005).** Effects of transport and lairage on mortality, liveweight loss and carcass quality in broiler chickens, *Italian Journal of Animal. Science*, 4:sup2, 516-518, DOI: 10.4081/ijas.2005.2s.516.
- Bisignano G, Lagana MG, Trombetta D, Arena S, Nostro A, Uccella N, Mazzanti G, Saija A. (2001).** In vitro antibacterial activity of some aliphatic aldehydes from *Olea europaea* L. *FEMS Microbiology Letters*.198:9-13.
- Borowska, E.J. Mazur, B. R, Gadzalva Kopciuch. B, Buszewski. (2009).** Polyphenols, Anthocyanins and Resveratrol in Cranberry, *Food Technol. Biotechnol.* 47 (1) 56–61.
- Botsoglou, N.A., Fletouris, D.J., Papageorgiou, G.E., Vassilopoulos, V.N., Mantis, A.J and Trakatellis, A.G. (1994).** A rapid, sensitive, and specific thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissues, food, and feed stuff samples. *J. Agric. Food Chem.* 42, 1931–1937.
- Botsoglou, E., Govaris, A., Moulas, A and Dr Botsoglou, N. (2010).** Oxidative stability and microbial growth of turkey breast fillets during refrigerated storage as influenced by feed supplementation with olive leaves, oregano and/ or α -tocopheryl acetate, *British Poultry Science*, 51:6, 760-768.
- Botsoglou, E., Govaris, A., Pexara, A., Ambrosiadis, I., Fletouris, D. (2014).** Effect of dietary olive leaves (*Olea europaea* L.) on lipid and protein oxidation of refrigerated stored n-3-enriched pork. *Int. J. Food Sci. Technol.* 49, 42–50.
- Botsoglou, N.A., Christaki, E., Florou-Paneri, P., Giannenas, I., Papageorgiou, G. and Spais, A.B. (2004).** The effect of a mixture of herbal essential oils or α -tocopheryl acetate on performance parameters and oxidation of body lipid in broilers. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 34, 52–61.
- Bou, R., Grimpa, S., Baucells, M.D., Codony, R., and Guardiola, F. (2006).** Dose and Duration Effect of α Tocopherol Content, and Oxidative Status. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 5020-5026.
- Bou, R., Guardiola, F., Grau, A., Grimpa, S., Manich, A., Barroeta, A and Codony, R. (2001).** Influence of dietary fat source, alpha-tocopherol, and ascorbic acid supplementation on sensory quality of dark chicken meat. *Poult Sci* 80:800–807.
- Bouderoua, K. (2004).** Lipogénèse hépatique et composition en acides gras du tissu adipeux des poulets de chair nourri par des régimes à base du gland de chêne vert et de chêne liège. Thèse de doctorat en sciences Agronomiques, INRA d'El-Harrach, 170p.
- Bougnoux P. et Menanteau J. (2005).** Acides gras alimentaires et cancérogenèse : données expérimentales in vivo : Alimentation et cancer. *Bulletin du cancer*, 95 (7-8), 685-696.
- Bourguet C. (2010).** Stress pendant la période d'abattage chez les bovins : rôles de la réactivité émotionnelle et des facteurs environnementaux. *Science des productions animales*. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II; Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, 2010.Français. <NNT : 2010CLF22079>. <tel-00718786>.

- Bousquet M., Calon F and Cicchetti F. (2011).** Impact of omega-3 fatty acids in Parkinson's disease. Article in Press, disponible en ligne le 15 Mars 2011. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21414422>.
- Breslow J.L. (2006).** n-3 fatty acids and cardiovascular disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 83, 1477S-1482S.
- Brisville A.C. (2006).** Les marqueurs du stress chez les bovins issus de clonage somatique. Thèse de doctorat vétérinaire, Créteil, 130 p.
- Broom, D.M. (1987).** Applications of neurobiological studies to farm animal welfare. In: Wiepkema, P.R., van Adrichem, P.W.M. (Eds.), *Biology of stress in farm animals: an integrative approach*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Boston, UK, pp. 101-110.
- Brouwer I. (2005).** Les oméga 3 : Perspective santé. Symposium « oméga-3, Nutrition et santé », Institut Danone pour la Nutrition et la Santé, 22/10/2005. http://www.Danoneinstitut.be/files/pdf/symposium/omega3/Abstract_IBrouwer_FR.pdf.
- Bulbul, A., Bulbul, T., Biricik, H., Yesilbag, D. and Gezen, S. S. (2012).** Effects of various levels of rosemary and oregano volatile oil mixture on oxidative stress parameters in quails. *African Journal of Biotechnology* Vol. 11(7), pp. 1800-1805.
- Buyse, J., K. Janssens, S. Van der Geyten, P. Van As, E. Decuypere, and V. M. Darras. (2002).** Pre- and postprandial changes in plasma hormone and metabolite levels and hepatic deiodinase activities in meal-fed broiler chickens. *Br. J. Nutr.* 88:641–653.
- Cadet J., Bellon S., Berger M., Bourdat A.G., Douki T., Duarte V., Frelon S., Gasparutto D., Muller E., Ravanat J.L., Sauvaigo S. (2002).** Recent aspects of oxidative DNA damage: guanine lesions, measurement and substrate specificity of DNA repair glycosylases, *Biol. Chem.* 383(6), p. 93.
- Cardinali,R., Cullere,M., DalBosco,A., Mugnai,C., Ruggeri,S., Mattioli,S., Castellini,C., TrabalzaMarinucci ,M., DalleZotte, A. (2015).** Oregano, rosemary and Vitamin E dietary supplementation in growing rabbits: effect on growth performance, carcass traits, bone development and meat chemical composition. *Livest. Sci.* 175,83–89.
- Carr, A. C., Zhu, B. Z. and Frei, B. (2000).** Potential antiatherogenic mechanisms of ascorbate (vitamin C) and alpha-tocopherol (vitamin E). *Circ Res*, vol. 87, pp. 349-54.
- Cassens, R. G., Marple, D. N and Eikelenboom, G. (1975).** *Animal Physiology and Meat Quality*. *Adv. Food Res.* 21: 71-155.
- Castellini, C., Mattioli, S., Piottoli, L., Mancinelli, A.A., Ranucci, D., Branciarri, R., Guarino Amato, M and Alessandro Dal Bosco. (2016).** Effect of transport length on in vivo oxidative status and breast meat characteristics in outdoor-reared chicken genotypes, *Italian Journal of Animal Science*, 15:2, 191-199.
- CETIOM. (2007).** Débouchés alimentaires du colza et du tournesol Edition CETIOM - Centre de Grignon - BP4 - 78850 Thiverval-Grignon.

- CETIOM. (2009).** Des graines aux huiles et protéines végétales Edition CETIOM - Centre de Grignon - BP4 - 78850 Thiverval-Grignon.
- Chadha, RK; Lawrence, JF and Ratanayake, WMN. (1995).** Ion chromatographic determination of cyanide released from flaxseed under autohydrolysis conditions. *Food Addit. Contam.*, 12: 527–533.
- Chan, J. T. Y., D. A. Omana, and M. Betti. (2011).** Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat. *Food Chem.* 127:109–117.
- Chan, K. M. and E. A. Decker. (1994).** Endogenous skeletal muscle antioxidants. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 34:403-426.
- Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M, Chern, J.C. (2002).** Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *J Food Drug Anal*, 10 : 178-182.
- Chen, K., Suh, J., Carr, A. C., Morrow, J. D., Zeind, J. and Frei, B. (2000).** Vitamin C suppresses oxidative lipid damage in vivo, even in the presence of iron overload. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* Vol. 279, pp. E1406-12.
- Chen, M-T., Lin, S-S and Lin, L-C. (1991).** Effect of Stresses Before Slaughter on Changes to the Physiological, Biochemical, and Physical Characteristics of Duck Muscle. *Br. Poultry Sci.* 32: 997-1004.
- Chen, T. C., Schultz, C. D., Reece, R. N., Lott, B. D and McNaughton, J. L. (1983)** .The Effect of Extend Holding Time, Temperature and Dietary Energy on Yields of Broilers. *Poultry Sci.* 62: 1566 1571.
- Cheung S, Tai J. (2007).** Anti-proliferative and antioxidant properties of rosemary *Rosmarinus officinalis*. *Oncology Report.* 17: 1525–1531.
- Chloupek P, Vecerek V, Voslarova E, Bedanova I, Suchy P, Pistekova V, Kozak A. (2008).** Effects of different crating periods on selected biochemical indices in broiler chickens. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* 121: 132-136.
- Chulayo, A.Y. and Muchenje, V. (2013).** The effects of pre-slaughter stress and season on the activity of plasma creatine kinase and mutton quality from different sheep breeds slaughtered at a smallholder abattoir. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 26, 1762-1772.
- Coetzee, G.J.M. and Hoffman, L.C. (2001).** Effect of dietary vitamin E on the performance of broilers and quality of broiler meat during refrigerated and frozen storage. *South African Journal of Animal Science.* 31(3) 158-173.
- Combs, G.F. (1992).** Vitamin C. In *Vitamins*. Academic Press, Inc., New York, pp: 223-249.
- Corrigan F. M., Horrobin D.F., Skinner E.R., Besson J.A.O and Cooper M.B., (1998).** Abnormal content of n-6 and n-3 long chain unsaturated fatty acids in the phosphoglycerides and cholesterol esters of parahippocampal cortex from Alzheimer's

disease patients and its relationship to acetyl CoA content. The international Journal of Biochemistry and cell Biology, 30,197-207.

Corsinovi, L., F. Biasi, G. Poli, G. Leonarduzzi, and G. Isaia. (2011). Dietary lipids and their oxidized products in Alzheimer's disease. Mol. Nutr. Food Res. 55:S161–S172.

Cortinas, L., Barroeta, A., Villaverde, C., Galobart, J., Guardiola, F and Baucells, M.D. (2005). Influence of dietary polyunsaturation level on chicken meat quality : Lipid oxidation. Poult. Sci, 84, 48-55.

Crespo, N. and Esteve-Garcia, E. (2002). Nutrient and Fatty Acid Deposition in Broilers Fed Different Dietary Fatty Acid Profiles. Poult. Sci.,81: 1533–1542.

Cuvelier, M., Richard, H. and Berset, C. (1996). Antioxidative activity and phenolic composition of pilot-plant and commercial extracts of sage and rosemary. J. Am. Oil Chem. Soc. 73, 645-652.

D'Souza, D. N., Dunshea, R. D., Warner, R. D. and Leury, B. J. (1998). The Effect of Pre-Slaughter Handling and Carcass Processing Rate Post-Slaughter on Pork Quality. Meat Sci. 50: 429- 437.

Davison, T. C., B.M. Freeman. and J. Rea. (1985) . Effects of continuous treatment with synthetic ACTH1–24 or corticosterone on immature Gallus domesticus. Gen. Comp. Endocrinol. 59:416–423.

Dawkins, M.S. (1983). La souffrance animale ou l'étude objective du bien-être animal. Le Point Vétérinaire, Maisons-Alfort.

Daza, A., Rey, A.I., Ruiz, J., Lopez-Bote, C.J. (2005). Effects of feeding in free-range conditions or in confinement with different dietary MUFA/PUFA ratios and α -tocopheryl acetate, on antioxidants accumulation and oxidative stability in Iberian pigs. Meat Sci., 69, 151–163.

Debut, M. (2004). Etude Génétique de la Qualité de la Viande de Poulet en Relation avec le Stress Avant Abattage. pH D. Thesis, Université François Rabelais, Tours, France.

Debut M., Berri C., Arnould C., Guemene D., Sante-Lhoutellier V., Sellier N., Baeza E., Jehl N., Jégo Y., Beaumont C. and Le Bihan-Duval E. (2005). Behavioural and physiological responses of three chicken breeds to pre-slaughter shackling and acute heat stress. Br. Poult. Sci., 46, 527-535.

Debut, M., Berri, C., Baéza, E., Sellier, N., Arnoud, C., Guémené, D., Bouten, B., Jehl, N., Jégo, Y., Beaumont, C. and Le Bihan-Duval, E. (2003). Variation of Chicken Technological Meat Quality in Relation with Genotype and Stressing Pre-Slaughter Conditions. Poultry Sci. 82: 1829-1838.

Debut, M., Le Bihan-Duval, E., Berri, C. (2004). Impacts des conditions de préabattage sur la qualité technologique de la viande de volaille, Sciences et techniques Avicoles, 48, p4-11.

- Doctor, J et Poltowicz, K. (2009).** Effect of transport to the slaughterhouse on stress indicators and meat quality of broiler chickens. *Ann. Anim. Sci.*, Vol. 9, No. 3 307 – 317.
- Durand D., Gobert M. et Gatellier P. (2012).** Oxydation des lipides et des protéines des viandes au cours des processus de transformation : mécanismes, conséquences et prévention. 14èmes Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes - 13 et 14 novembre 2012 – Caen.
- Ehinger, F. (1977).** The Influence of Starvation and Transportation on the Carcass Quality of Broilers. Pages 117-124 in: *The Quality of Poultry Meat*. Scholtyssek, S., ed. European Poultry Federation, Munich, Germany.
- El-damrawy, S.Z. (2011).** Alleviate the oxidative stress in aged rabbit bucks by using olive leave extract. *Egypt. Poult. Sci.*, 31, 4: 737-744.
- El-Rammouz R. (2005).** Etude des changements biochimiques post-mortem dans le muscle de la volaille – contribution au déterminisme de l’amplitude de la diminution du pH. Thèse doctorale, Institut national polytechnique de Toulouse, 650pp.
- Elrom, K. (2000).** Handling and transportation of broilers-welfare, stress, fear and meat quality. Part IV: Handling of broilers. *Israel J. Vet. Med.* 55:121–125.
- Englmaierová. M., Bubancová. I., Vít T., Skřivan. M. (2011).** The effect of lycopene and vitamin E on growth performance, quality and oxidative stability of chicken leg meat. *Czech J. Anim. Sci.*, 56, 2011 (12): 536–543.
- Esterbauer H., Schaur R.J., Zollner H. (1991).** Chemistry and Biochemistry of 4-Hydroxynonenal, Malonaldehyde and Related Aldehydes. *Free Radical Biology and Medicine*, 11(1), 81-128.
- Esterbauer, H., F. Muskiet, and D. F. Horrobin. (1993).** Cytotoxicity and genotoxicity of lipid-oxidation products. *Am. J. Clin. Nutr.* 57:779S–786S.
- Estevez, M. (2015).** Oxidative damage to poultry: from farm to fork. *Poultry Science*. 00: 1–11.
- Estevez, M. (2011).** Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Sci.* 89:259–279.
- Fàbrega E, Manteca X, Font J, Gispert M, Carrión D, Velarde A, Ruiz-de-la-Torre JL, Diestre A. (2002).** Effects of halothane gene and pre-slaughter treatment on meat quality and welfare from two pig crosses. *Meat Sci.* 62:463–472
- Falowo, A. B., Fayemi, P. O., Muchenje, V. (2014).** Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Res. Int.*, 64, 171–181.
- Farr, A. J. (1979).** The Broiler’s Last 48 Hours: Feed Withdrawal Time can Affect Weight, Shrink, Dressed Yield and Contamination Upon Slaughter. *Poultry Dig.* 38: 638-639.

- 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.
- Favier, A. (2003).** Le stress oxydant : Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *Act. Chim.* 108-115.
- Fernandez, X., Berri, C., Jlali, M., Molette, C., Hazard, D., El Rammouz, R., Wadih-Moussa, Z., Rémignon, H. (2009).** Caractérisation des réponses du muscle à un stress de Transport-contention chez le poulet – 2 – métabolisme Musculaire et indicateurs de qualité des viandes. Huitièmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 25 et 26 mars 2009.
- Fitch W. H., Hill R., Chaikoff I.L. (1959).** The effect of fructose feeding on glycolytic enzyme activities of the normal rat liver. *J. Biol. Chem.*, 234, 1048-1051.
- Flachowsky, G. (2000).** Vitamin E-transfer from feed into pig tissues. *J. Appl. Anim. Res.*, 17:69-80.
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanely Q.H.S. (1957).** A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Bio. Chem*, 226,497-509.
- Frankič, T., Voljč, M., Salobir, J., Rezar, V. (2009).** Use of herbs and spices and their extracts in animal nutrition. *Acta agriculturae Slovenica*, 94/2, 95–102.
- Freeman, B. M., P. J. Kettlewell, A.C.C. Manning, and P. S. Berry. (1984).** Stress of transportation in broilers. *Vet. Rec.* 114:286–287.
- Gajana, C.S., Nkukwana, T.T., Marume, U. and Muchenje, V. (2013).** Effects of transportation time, distance, stocking density, temperature and lairage time on incidences of pale, exudative (PSE) and the physicochemical characteristics of pork. *Meat Sci.* 95, 520-525.
- Gallardo, A., Pérez, D., Leighton, M. (2012).** Modification of fatty acid composition in broiler chickens fed canola oil. *Biol Res* 45,149-161.
- Galobart, J., Barroeta, AC., Baucells, MD., Codony, RM., Ternes, W. (2001).** Effect of dietary supplementation with rosemary extract and α -tocopheryl acetate on lipid oxidation in eggs enriched with ω 3-fatty acids. *Poult Sci.* 80, 460–467.
- Gao J, Lin H, Wang XJ, Song ZG and Jiao HC. (2010).** Vitamin E supplementation alleviates the oxidative stress induced by dexamethasone treatment and improves meat quality in broiler chickens. *Poultry Science* 89, 318–327.
- Genot C. (1996).** Some factors influencing TBA test », Annual report of the Vth PCRD EU project.
- Genot, C. and M. Michalski. (2010).** "Impact métabolique des structures et de l'oxydation des lipides dans les aliments." *Innovations Agronomiques* 10: 43-67.
- Gentle M.J., Tilston V.L. (2000).** Nociceptors in the legs of poultry: Implications for potential pain in pre-slaughter shackling. *Anim Welf*, 9, 227-236.

- Ghazalah AA, Ali AM. (2008).** Rosemary leaves as a dietary supplement for growth in broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*.7:234- 239.
- Gigaud V., Geffard A. 1, Berri C. 2, LE Bihan-Duval E.2, Travel A.1, Bordeau T. (2006).** Filets de poulet standard Conditions environnementales ante mortem (ramassage - transport - abattage) et qualité technologique. *Viandes Prod. Carnés Vol 26* (1), pp 19 -20.
- Gladine C., Morand C., Rock E., Bauchart D., Durand D. (2007).** Plant extracts rich in polyphenols (PERP) are efficient antioxidants to prevent lipoperoxidation in plasma lipids from animals fed n-3 PUFA supplemented diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 136, 281-296.
- Gobert Mylène. (2010).** Prévention de la peroxydation des acides gras polyinsaturés par les antioxydants alimentaires chez le bovin en production. Thèse de doctorat. Option : Nutrition-Biochimie. Ecole doctorale des Sciences de la Vie et de la Santé. Université d'Auvergne.
- González-Esquerro, R. and Leeson, S. (2000).** Studies on the metabolizable energy content of ground full-fat flaxseed fed in mash, pellet and crumbled diets assayed with birds of different ages. *Poult. Sci.* 79, 1603-1607.
- Govaris, A., Botsoglou, E., Moulas, A and Botsoglou, N. (2010).** Effect of dietary olive leaves and rosemary on microbial growth and lipid oxidation of turkey breast during refrigerated storage. *South African Journal of Animal Science.* 40 : 145–155.
- Govaris, A., Florou-Paneri, P., Botsoglou, E., Giannenas, I., Amvrosiadis, I. and Botsoglou, N. (2007).** The inhibitory potential of feed supplementation with rosemary and/or α -tocopheryl acetate on microbial growth and lipid oxidation of turkey breast during refrigerated storage, *Food Sci. Technol.* 40, 331-337.
- Grandin, T. (1998).** Reducing handling stress improves both productivity and welfare. *Professional Animal Scientist*, 4, 1–10.
- Grandjean, D. (2005).** Comprendre le stress oxydatif cellulaire chez le chien. *Nouv. Prat. Vet.* (22), 11-15.
- Gregory N.G. (1994).** Preslaughter handling stunning and slaughter. *Meat Science*, 36: 45-56.
- Gregory N.G., Wilkins L.J. (1989).** Broken Bones in Domestic-Fowl - Handling and Processing Damage in End-of-Lay Battery Hens. *Br. Poult. Sci.*, 30, 555-562.
- Gross, W. B. (1988).** Effect of environmental stress on the responses of ascorbic acid-treated chickens to *Escherichia coli* challenge infection. *Avian Dis.* 32:432–436.
- Guichardant M., Bacot S., Moliere P., Lagarde M. (2006).** Hydroxy-alkenals from the peroxidation of n-3 and n-6 fatty acids and urinary metabolites. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 75(3), 179-182.
- Guichardant M., Lagarde M. (2009).** Analysis of biomarkers from lipid peroxidation: A comparative study. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(1), 75-82.

- Guo J., Li W., Shi H., Xie X., Li L., Tang H. (2013).** Synergistic effects of curcumin with emodin against the proliferation and invasion of breast cancer cells through upregulation of miR-34a. *Mol. Cell. Biochem.* 382:103–111.
- Guo, Y., Q. Tang, J. Yuan and Z. Jiang. (2001).** Effects of supplementation with Vitamin E on the performance and the tissue peroxidation of broiler chicks and the stability of thigh meat against oxidative deterioration. *Anim. Feed Sci. Technol.* 89:165-173.
- Habibian, M., Ghazi, S., Moeini, M. M. and Abdolmohammadi, A. (2014).** Effects of dietary selenium and vitamin E on immune response and biological blood parameters of broilers reared under thermoneutral or heat stress conditions. *International Journal of Biometeorology*, 58(5), 741-752.
- Hamden K, Allouche N, Damak M, Elfeki A. (2009).** Hypoglycemic and antioxidant effects of phenolic extracts and purified hydroxytyrosol from olive mill waste in vitro and in rats. *Chemico-biological interactions.* 180(3):421-32.
- Hanhineva, K., Torronen, R., Bondia-Pons, I., Pekkinen, J., Kolehmainen, M., Mykkanen, H., Poutanen. (2010).** Impact of dietary polyphenols on carbohydrate metabolism. *Int. J. Mol. Sci.* 11, 1365–1402.
- Hazard, D et Guémené, D. (2005).** Accepté pour publication : 6èmes Journées de la Recherche Avicole.
- Hernandez, F., Madrid, J., Garcia, V., Orengo, J. and Megias, M.D. (2004).** Influence of two plant extracts on broiler performance, digestibility and digestive organ size. *Poultry Science*, 83: 169–174.
- Hill, J.A. (1983).** Indicators of stress in poultry. *World's Poult. Sci. J.* 39, 24– 32.
- Ho, C.T., Wang, M. F., Wei, G.J., Huang, T.C and M.T. Huang. (2000).** Chemistry and anti-oxidative factors in rosemary and sage. *The Proceedings of the 2nd Intern. Conf. Food Factors (Ico FF, 99).* 12–17 December, 1999, Kyoto, Japan. *Bio-Factors*, 13: 161–166.
- Hoehler, D and R.R. Marquardt. (1996).** Influence of vitamin E and C on the toxic effects of ochratoxin A and T-Z toxin in chicks. *Poul. Sci.*, 75: 1508-1515.
- Holm, C. G. P., and Fletcher, D. L. (1997).** Ante Mortem Holding Temperatures and Broiler Breast Meat Quality. *J. Appl. Poultry Res.* 6: 180-184.
- Howell B.F. and coll. Clin. Chem. 25, 269. (1979).** Commission Enzymologie-SFBC- Inform. Sci – Biol- 1981,5.
- Hsu R. Y., Lardy H.A. (1969).** Malic enzym. In lowstein, J.M. (ed.), *Methods in enzymology.*, PP.230-235.
- Huff, G. R., W. E. Huff, M. B. Farnell, N. C. Rath, F. S. de Los Santos, and A. M. Donoghue. (2010).** Bacterial clearance, heterophil function, and hematological parameters of transport-stressed turkey poults supplemented with dietary yeast extract. *Poult. Sci.* 89:447–456.

- Hughes, B.O. (1976).** Behaviour as an index of welfare, Proceedings of the Fifth European Poultry Conference, Malta, pp. 1005-1018.
- Ibiyo L. M. O., Madu C. T. and Eze S. S. (2006).** Effects of Vitamin C Supplementation on the Growth of *Heterobranchus longifilis* fingerlings. *Animal Nutrition Journal*, 60 (4): 325-332.
- Imik, H., H. Ozlu, R. Gumus, M. Aydemir Atasever, S. Urcar, and M. Atasever. (2012).** Effects of ascorbic acid and α -lipoic acid on performance and meat quality of broilers subjected to heat stress. *Br. Poult. Sci.* 53:800–808.
- Jayaprakash, G. Sathiyabarathi, M. Arokia Robert, M. Tamilmani, T. (2016).** Transportation stress in broiler chicken. *International Journal of Science, Environment and Technology*.vol (5) 2: 806-809.
- Japón-Luján, R.; Ruiz-Jiménez, J. and Luque de Castro, M.D. (2006).** Discrimination and classification of olive tree varieties and cultivation zones by biophenol contents. *J. Agric. Food Chem.*, 54(26): 9706–9712.
- Jensen, C., Skibsted, L.H., Jakobsen, K. and Bertelsen, G. (1995).** Supplementation of broiler diets with all-rac- α -or a mixture of natural source RRR- α , γ , δ -tocopheryl acetate. 2. Effect on the oxidative stability of raw and precooked broiler meat products. *Poult. Sci.* 74, 2048–2056.
- Kahouli, I. (2010).** Effet antioxydant d'extrait de plantes (*Laurus nobilis* L., *Rosmarinus officinalis*, *Origanum majorana*, *Oléa Europea* L.) dans l'huile de canola chauffée. Mémoire présenté dans le cadre du programme de maîtrise en génie agroalimentaire. Département des sols et de génie agroalimentaire. Université Laval Québec.np 39.
- Kahraman, R., Ozpinar, H., Abas, I., Kutay, HC., Eseceli, H and Grashorn, MA. (2004).** Effects of different dietary oil sources on fatty acid composition and malondialdehyde levels of thigh meat in broiler chickens. *Arch. Geflugelk.* 68: 77–86.
- Kamran Azad, S., Rahimi, Sh and Karimi Torshizi, M. A. (2009).**Effect of dietary oil seeds on n-3 fatty acid enrichment, performance parameters and humoral immune response of broiler chickens. *Iranian Journal of Veterinary Research.* 10: 158–165.
- Kanazawa A., Sawa T., Akaike T., Maeda H. (2002).** Dietary lipid peroxidation products and DNA damage in colon carcinogenesis. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(7), 439-447.
- Kanazawa K., Ashida H. (1998a).** Catabolic fate of dietary trilinoleoylglycerol hydroperoxides in rat gastrointestinal. *Biochimica Et Biophysica Acta-Lipids and Lipid Metabolism*, 1393(2-3), 336-348.
- Kanazawa K., Ashida H. (1998b).** Dietary hydroperoxides of linoleic acid decompose to aldehydes in stomach before being absorbed into the body. *Biochimica Et Biophysica Acta-Lipids and Lipid Metabolism*, 1393(2-3), 349-361.
- Kannan G., Heath J.L., Wabeck C.J., Mench J.A. (1997).** Shackling of broilers: effects on stress responses and breast meat quality. *Br. Poult. Sci.*, 38, 323-332.

- Kannan, G., Heath, J. L., Wabeck, C. J., Souza, M. C. P., Howe, J. C. and Mench, J. A. (1997).** Effects of Crating and Transport on Stress and Meat Quality Characteristics in Broilers. *Poultry Sci.* 76 : 523-529.
- Kaplan A et al. Triglycerides. (1984).** Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton, 437 and Lipids.1194- 1206.
- Karaman, M. (2009)** Effect of transport time on body performance of broilers during transport to slaughter house. *J. Ani. Vet. Adv.* 8: 1555-1557.
- Kassim, H., and I. Norziha. (1995).** Effects of ascorbic acid (vitamin C) supplementation in layer and broiler diets in the tropics. *Asian-australas. J. Anim. Sci.* 8:607–610.
- Khalil, A. (2002).** Molecular mechanisms of the protective effect of vitamin e against atherosclerosis. *Can J Physiol Pharmacol.* vol. 80, pp. 662-9.
- Kim J., Sun-Young Lim S. Y., Shin A., Mi-Kyung Sung M.K., Ro J., Han-Sung Kang H. S., Lee K. S., Kim S. W. and Eun-Sook Lee E. S. (2009).** Fatty fish and fish omega-3 fatty acid intakes decrease the breast cancer risk: a case-control study. *BMC Cancer*,9: 216 <http://www.biomedcentral.com/1471-2407/9/216>. Consulté le 17/05/2011.
- Kim, S., Min, S. C., Shin, H., Lee, Y., Cho, A. R., Kim, S. Y., Han, J. (2013).** Evaluation of the antioxidant activities and nutritional properties of ten edible plant extracts and their application to fresh ground beef. *Meat Sci.*, 93, 715–722.
- Kimura Y., Kono S., Toyomura K., Nagano J., Mizoue T., Moore M. A., Mibu R., Tanaka M., Kakeji Y., Maehara Y., Okamura T., Ikejiri K., Futami. K., Yasunami Y., Maekawa T., Takenaka K., Ichimiya H., and Imaizumi N. (2007).** Meat, fish and fat intake in relation to subsite-specific risk of colorectal cancer: the Fukuoka Colorectal Cancer study. *Cancer Science*, 98, 590-597.
- Klosterman, HJ; Lamoureux, GL and Parsons, JL. (1967).** Isolation, characterization, and synthesis of linatine. A. vitamin B6 antagonist from flaxseed (*Linum usitatissimum*). *Biochemistry.* 6: 170–177.
- Knowles, T. G. and Warriss, P. D. (2007).** Stress physiology of animals during transport. In T. Grandin (Ed.), *Livestock handling and transport* (pp. 312–328). (3rd ed.). UK: CABI Publishing.
- Koike, S., Subbarao, K.V. (2000).** Broccoli residues can control verticillium wilt of cauliflower. *California Agriculture*, 4.
- Konca Y, Kirkpinar F, Mert S and Yurtseven S. (2009).** Effects of dietary ascorbic acid supplementation on growth performance, carcass, bone quality and blood parameters in broilers during natural summer temperature. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 4: 139-147.
- Konca, Y., Kirkpinar, F., Yaylak, E., Mert, S. (2008).** Effects of Dietary Ascorbic Acid on Performance, Carcass Composition and Bone Characteristics of Turkeys

during High Summer Temperature. Asian-Australian journal of animal sciences. Vol. 21, No. 3 : 426 – 433.

Koskas, P.J. (1985). Thèse de doctorat d'état en sciences pharmaceutiques. Université de Rennes.

Kotula, K. L. and Wang, Y. (1994). Characterization of Broiler Meat Quality Factors as Influenced by Feed Withdrawal Time. J. Appl. Poultry Res. 3: 103-110.

Kouba M., Mourot J. (2011). A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. Biochimie, 93 (1): 13–17.

Kris-Etherton P. M., Harris W.S. and Appel L. J. (2002). For the nutrition committee. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. Circulation, 106 (21), 2747-2757.

Kubo, A., Lunde, C.S. and Kubo, I. (1995). Antimicrobial activity of the olive oil flavor compound. J. Agric. Food Chem. 43, 1629-1633.

Ladikos, D., and V. Lougovois. (1990). Lipid oxidation in muscle foods: A review. Food Chem. 35:295–314.

Leclercq, B., Lessire, M., Guy, G., Hallouis, J.M., Conan, L. (1989). Utilisation de la graine de colza en aviculture. INRA . Production animale, (2), 129- 136.

Lee, KH; Olomu, JM and Sim, JS. (1991). Live performance, carcass yield, protein, and energy retention of broiler chickens fed canola and flax full-fat seeds and the restored mixtures of meal and oil. Can. J. Anim. Sci., 71: 897–903.

Lee, O.H., Lee, B.Y., Lee, J., Lee, H.B., Son, J.Y., Park, C.S., Shetty, K., and Kim, Y.C. (2009). Assessment of phenolics-enriched extract and fractions of olive leaves and their antioxidant activities. Bioresour. Technol. 100: 6107-6113.

Leeson, S., and J. D. Summers. (2001). Scott's Nutrition of the Chicken. 4th ed. University Books, Guelph, Ontario, Canada.

Lefcourt, A.M. and Elsasser, T.H. (2014). Adrenal responses of Angus x Hereford cattle to the stress of weaning. J. Anim. Sci. 73, 2669-2676.

Leonel, FR., Oba, A., Pelicano, ERL., Zeola, NMBL., Boiago, MM., Scatolini, AM., Lim, TMA., Souza, PA., Souza, HBA. (2007). Performance, Carcass Yield, and Qualitative Characteristics of Breast and Leg Muscles of Broilers Fed Diets Supplemented with Vitamin E at Different Ages. Brazilian Journal of Poultry Science. ISSN 1516-635X Apr - Jun / v.9 / n.2 / 91 – 97.

Leshchinsky, T.V. and Klasing, K.C. (2001). Relationship between the levels of dietary vitamin E and the immune response of broiler chickens. Poult. Sci, 80,1590–1599.

Leygonie, C., T. J. Britz, and L. C. Hoffman. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. Meat Sci. 91:93–98.

- Li, Z. L., L. Mo, G. Le, and Y. Shi. (2014).** Oxidized casein impairs antioxidant defense system and induces hepatic and renal injury in mice. *Food Chem. Toxicol.* 64:86–93.
- Loetscher, Y., Kreuzer, M and Messikommer, R. E. (2013).** Oxidative stability of the meat of broilers supplemented with rosemary leaves, rosehip fruits, chokeberry pomace, and entire nettle, and effects on performance and meat quality. *Poult. Sci.* 92 :2938–2948.
- Lohakare JD, Ryu MH, Hahn TW, Lee JK and Chae BJ. (2005).** Effects of supplemental ascorbic acid on the performance and immunity of commercial broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 514: 10-19.
- Lopez-Bote, C. J., Gray, J. I., Gomaa, E. A., and Flegal, C. J. (1998).** Effect of dietary administration of oil extracts from rosemary and sage on lipid oxidation in broiler meat. *British Poultry Science*, 39, 235–240.
- López-Ferrer, S., Baucells, M.D., Barroeta, A.C., Blanch, A. and Grashorn, M.A. (1997).** ω -enrichment of chicken meat: Use of fish, rapeseed and linseed oils. In: *Proc. XIIth European Symp. on Quality of Poultry Meat*, September, 1997, Poznan, Poland. pp. 74.
- Lund, M. N., M. Heinonen, C. P. Baron, and M. Estevez. (2011).** Protein oxidation in muscle foods: A review. *Mol. Nutr. Food Res.* 55:83–95.
- Mairesse G., Benet M., Meteau K., Juin H., Durand D., Mourot J. (2011).** Effect of plant antioxidant in n-3 polyunsaturated fatty acids enriched diet on fatty acid composition and sensorial attributes of dry-cured ham. *Inter. J. Food Sci. Technol.*, doi:10.1111/j.1365-2621.
- Marcinčák, S.1, Popelka, P., P. Bystrický, K. Hussein, K. Hudecová. (2005).** Oxidative stability of meat and meat products after feeding of broiler chickens with additional amounts of vitamin E and rosemary. Vol. VII (2005) siječanj - veljača br. 1.
- Markin, D., Duek, L. and Berdicevsky, I., 2002.** In vitro antimicrobial activity of olive leaves. *Mycoses* 46, 132-136.
- Martins, F.P., Barbosa, S., Pinheiro, V., Mourão, J.L., Monteiro, D.O. (2009).** The effect of olive leaves supplementation on the feed digestibility: growth performances of pigs and quality of pork meat. *Meat Sci.* 82, 438–443.
- Mateos, R., E. Lecumberri, (2005).** "Determination of malondialdehyde (MDA) by high performance liquid chromatography in serum and liver as a biomarker for oxidative stress. Application to a rat model for hypercholesterolemia and evaluation of the effect of diets rich in phenolic antioxidants from fruits." *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci* 827(1): 76-82.
- Mazanowski A. Czynniki wpływające na efektywność odchowu kurcząt brojlerów, cz. IV. (1997).** *Pol. Drob.* 5, 2-4.
- McDowell, L. R. (2000).** *Vitamins in Animal and Human Nutrition*. 2nd ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

- Melesse, A., Maak, S., Schmidt, R. and Von Lengerken, G. (2011).** Effect of long-term heat stress on enzyme activities and T3 levels in commercial layer hens. *Int. J. Livest. Prod.* 2 (7), 107-116.
- Menconi M., Fareed M., O'Neal P., Poylin V., Wei W. and Hasselgren P. O. (2007).** *Crit Care Med*, (35), S602-8.
- Meng, X., B.A. Slominski, L.D. Campbell W. Guenter and O. Jones. (2006).** The use of enzyme technology for improved energy utilization from full-fat oilseeds. Part 1: canola seed. *Poult. Sc.*, 85: 1025-1030.
- Mercan, D., Lausanne, A.R.L. (2010).** Le stress oxydatif. np 10.
- Milliauskas, G., Venskutonis, P.R., van Beek, T.A. (2004).** Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chem*, 85: 231–237.
- Min, B., and D. U. Ahn. (2005).** Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat products - A review. *Food Sci. Biotechnol.* 14:152– 163.
- Mitchell, M. A. (1992).** Health and welfare of animals in transit. AFRC Animals Research Committee and Engineering Research Board Conference. Silsoe Research Institute, Silsoe, UK.
- Mitchell, M. A., and D. A. Sandercock. (1995).** Creatine kinase isoenzyme profiles in the plasma of the domestic fowl (*Gallus domesticus*): effects of heat stress. *Res. Vet. Sci.* 59: 30–34.
- Mitchell, M. A., Carlisle, A.J., Hunter, R.R. and Kettlewell, P.J. (2003).** Weight loss in transit: an issue in broiler transportation. *Poultry Science*, 82: (supplement): 101 (52).
- Młodkowski, M. Świątkiewicz, S. Koreleski, J. and Kubicz, M. (2003).** The effect of supplemental vitamin E and dietary rape seed oil level on broiler performance, meat and fat quality. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 12, 121–132.
- Molina-Alcaide, E., Yanez-Ruiz, D.R. (2008).** Potential use of olive by-products in ruminant feeding: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 147, 247–264.
- Monahan, F.J., Buckley, D.J., Morrissey, P.A., Lynch, P.B., Gray, J.I. (1992a).** Influence of dietary fat and α - tocopherol supplementation on lipid oxidation in pork. *Meat. Sci.*, 31, 229–241.
- Monin G. (2003).** Abattage des porcs et qualités des carcasses et des viandes. *INRA Productions Animales*, 16 (4), 251-262.
- Monin, G. (1988).** Evolution post mortem du Tissu Musculaire et Conséquence sur les Qualités de la Viande de Porc. *Journées Rech. Porcine en France.* 20: 201-214.
- Moraes, P., Novelini, L., Schneider Lemes, J., Aurélio, M., Santos, Z., Pereira de Pereira, C M., Xavier, Eduardo. (2016).** Carcass yield, sensory analysis and meat quality of broilers fed canola meal. *Acta Sci., Anim. Sci.* vol.38, n.3, pp.267-274.
- Morandi, L., C. Angelini, A. Prella, A. Pini, B. Grassi, G. Bernardi, L. Politano, C. Bruno, D. De Grandis, P. Cudia, and A. Citterio. (2006).** High plasma creatine

kinase: review of the literature and proposal for a diagnostic algorithm. *Neurol. Sci.* 27:303-311.

Morris M. C., Sacks F. and Rosner B. (1993). Does fish oil lower blood pressure? A meta-analysis of controlled trials. *Circulation*, 88, 523-533.

Morrison W. R. and Smith L. M. (1964). Preparation of fatty acid methyl esters and dimethyl acetals from lipids with boron fluoride methanol. *Journal of Lipid Research*, 5, 600-608.

Muggli, R. (1994). Physiological requirements of vitamin E as a function of the amount and type of polyunsaturated fatty acid. Pages 166–168 in *Fatty Acids and Lipids: Biological Aspects*. World Rev. Nutr. Diet. C. Galli, A. P. Simopoulos, and E. Tremoli, ed. Karger, Basel, Switzerland.

Mujahid A, Yoshiki Y, Akiba Y, Toyomizu M. (2005). Superoxide radical production in chicken skeletal muscle induced by acute heat stress. *Poult Sci* 84:307–314.

Murphy, M., P. Uden, D.L. Palmquist and H. Wiktorsson. (1987). Rumen and total diet digestibilities in lactating cows fed diets containing full-fat rapeseed. *J. Dairy Sci.*, 70: 1572.

Nain, S., Wojnarowicz C., Laarveld, B. and Olkowski A.A. (2008, Nov.). Effects of dietary vitamin E and C supplementation on heart failure in fast growing commercial broiler chickens. *British Poultry Science*, 49(6), 697-704.

Nakagawa-Mizuyachi, K., Takahashi, T. and Kawashima, M. (2009). Calcitonin directly increases adrenocorticotrophic hormone-stimulated corticosterone production in the hen adrenal gland. *Poultry Science*, Vol. 88, No. 10, pp. 2199-2205, ISSN 1537-0437.

Nameghi, A. H., H. N. Moghaddam., J.T. Afshari and H. kermanshahi. (2007). Effect of vitamin E and C supplementation on performance and immune response of broiler chicks. *J. Anim. Vet. Adv.*, 6: 1060-1069.

Newkirk, R. (2009). Canola meal. *Feed Industries Guide*, 4th edition. Canadian International Grains Institute, Winnipeg, Manitoba.

Ngoka D.A., Froning G.W. (1982). Effect of Free Struggle and Pre-Slaughter Excitement on Color of Turkey Breast Muscles. *Poult. Sci.*, 61, 2291-2293.

Nijdam E, Delezie E, Lambooij E, Nabuurs MJA, Decuypere E, Stegeman JA. (2005). Processing, products, and food safety - Comparison of bruises and mortality, stress parameters, and meat quality in manually and mechanically caught broilers. *Poult Sci* 84: 467-474.

Nijdam, E., Arens, P., Lambooij, E., Decuypere, E. and Stegeman, J. A. (2004). Factors influencing bruises and mortality of broilers during catching, transport, and lairage. *Poultry Science*, 83, 1610–1615.

- Njoku, P. C. (1986).** Effect of dietary ascorbic acid (vitamin C) supplementation on the performance of broiler chickens in a tropical environment. *Anim. Feed Sci. Tech.* 16:17–24.
- Oba, A., Alemeida, M.D., Pinheiro, J.W., Ida, E.L., Marchi, D.F., Soares, A.L. and Shimokomaki, M. (2009).** The effect of management of transport and lairage conditions on broiler chicken breast meat quality and DOA (Death on Arrival). *Brazilian Arch. of Biol. And Technol.* 52: 205-211.
- Offord, E., Guillot, F., Aeschbach, R., Loliger, J. and Pfeifer, A. (1997).** Antioxidant and biological properties of rosemary components: Implications for food and health. In: *Natural Antioxidants. Chemistry, Health Effects and Applications.* Ed. Shahidi, F., Washington, AOCS, Press. pp. 88-96.
- Ondrasovicova O, Saba L, Smirkjakova S, Vargova M, Ondrasovic M, Matta S, Lakticova K, Wnuk W. (2008).** Effects of vehicle-road transport on blood profile in broiler chickens. *Medycyna Wet* 64: 292-293
- Oomah, B.D., Mazza, G and Kenaschuk, E.O. (1992).** Cyanogenic compounds in flaxseed. *J. Agric. Food Chem.*, 40: 1346–1348.
- Owens, C. M., and Sams, A. R. (2000).** The Influence of Transportation on Turkey Meat Quality. *Poultry Sci.* 79: 1204-1207.
- Özdemir, A., Azman, A.M. (2016).** Effects of olive leaf extract and vitamin E supplementation in quail diet on some blood parameters and egg yolk fatty acids composition. *Ankara Üniv Vet Fak Derg.* 63, 31-37.
- Ozpinar, H., Kahraman, R., Abas, I., Kutay, H.C., Eseceli, H and Grashorn, M.A. (2002).** Effect of dietary fat source on n-3 fatty acid enrichment of broiler meat. *Arch. Geflugelk.* 67: 57–64.
- Panda, A. K. Ramarao, S. V and Raju, M. V. L. N.** “Effect of Vitamin C Supplementation on Performance, Immune Response and Antioxidant Status of Heat Stressed White Leghron Layers,” *Indian Journal of Poultry Science*, Vol. 42, No. 2, 2007, pp. 169-173.
- Paiva-Martins, F., Barbosa, S., Pinheiro, V., Mourão, J. L., and Outor-Monteiro, D. (2009).** The effect of olive leaves supplementation on the feed digestibility, growth performance of pigs and quality of pork meat. *Meat Science*, 82, 438–443.
- Paiva-Martins, F., Ribeirinha, T, Silva, A, Gonçalves, R, Pinheiro, V, Mourão, J.L. and Outor-Monteiro, D. (2014).** Effects of the dietary incorporation of olive leaves on growth performance, digestibility, blood parameters and meat quality of growing pigs. *Journal of Science Food and Agriculture* 94: 3023-3029
- Papageorgiou G., Botsoglou N., Govaris A., Giannenas I., Iliadis S., and Botsoglou E. (2003).** *J. An. Physio. An. Nutri.*, 87, 324-335.
- Pardue, S. L., and J. P. Thaxton. (1986).** Ascorbic acid in poultry: A review. *Worlds Poult. Sci. J.* 42:107–123.

- Pardue, S. L., J. P. Thaxton, and J. Brake. (1985).** Role of ascorbic acid in chicks exposed to high environmental temperature. *J. Appl. Physiol.* 58:1511–1516.
- Pereira, T.L., Corassa, A., Komiyama, C.M., Araújo, C.V., Kataoka, A. (2015).** The effect of transport density and gender on stress indicators and carcass and meat quality in pigs. *Span. J. Agric. Res.*, 13, 3, 1-11.
- Petracci, M., Fletcher, D. L., and Northcutt, J. K. (2001).** The effect of holding temperature on live shrink, processing yield, and breast meat quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 80, 670–675.
- Pijarska I, Czech A, Malec H, Tymczyna L. (2006).** Effects of road transportation of chicks on blood biochemical indices and productive results of broilers. *Medycyna Wet* 62: 408-410
- Pokorný, J., Réblová, Z., Janitz, W. (1998).** Extracts from rosemary and sage as natural antioxidants for fats and oils. *Czech. J. Food. Sci.*, 16, 227–234.
- Powers SK and Lennon SL. (1999).** Analysis of cellular responses to free radicals: focus on exercise and skeletal muscle. *Proc Nutr Soc* 58, 1025-1033.
- Probst, J.K., Neff, A.S., Leiber, F., Kreuzer, M. and Hillmann, E. (2012).** Gentle touching in early life reduces avoidance distance and slaughter stress in beef cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 139, 42-49.
- Farm Animal Welfare Council. (1992).** FAWC updates the five freedoms. *Veterinary Record*, 131, 357.
- Radak Z, Naito H, Kaneko T, Tahara S, Nakamoto H, Takahashi R, Cardozo-Pelaez F, and Goto S. (2002).** Exercise training decreases DNA damage and increases DNA repair and resistance against oxidative stress of proteins in aged rat skeletal muscle. *Pflugers Arch* 445: 273-278.
- Rahimi, S., Kamran Azad, S and Karimi Torshizi, M. A. (2011).** Omega-3 enrichment of broiler meat by using two oil seeds. *J. Agr. Sci. Tech.*13: 353–365.
- Rajmane, B. V. and A. S. Ranade (1994):** *Ind. J. Poult. Sci.* 29: 78.
- Raymer, P.L., D.L. Auld and K.A. Mahler. (1990).** Agronomy of canola in the United States. p. 25–35. In: F. Shahidi (ed.), *Canola and rapeseed: Production, chemistry, nutrition, and processing technology.* Van Nostrand Rhenhold, New York.
- Rebole, A., M. L. Rodriguez, L. T. Ortiz, C. Alzueta, C. Centeno, A. Viveros, A. Brenes, and I. Arija. (2006).** Effect of dietary high-oleic acid sunflower seed, palm oil and vitamin E supplementation on broiler performance, fatty acid composition and oxidation susceptibility of meat. *Br. Poult. Sci.* 47:581–591.
- Rémignon H., Mills A. D., Guémené D., Desrosiers V., Garreau-Mills M., Marché M. and Marché G. (1998).** *British Poultry Science*, 39: 372-378.
- Rey, A.I., Kerry, J.P., Lynch, P.B., Lopez-Bote, C.J., Buckley, D.J. and Morrissey, P.A. (2001).** Effect of dietary oils and α -tocopheryl acetate supplementation on lipid (TBARS) and cholesterol oxidation in cooked pork. *J. Anim. Sci.*, 79, 1201–1208.

- Rezaeipour, V., Agharajabi, A., Ghareveisi, S and M. Norozi. (2015).** Effects of full-fat canola seed with an exogenous enzyme supplementation on performance, carcass characteristics and thyroid hormones of broiler chickens. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 25(5): page: 1233-1237.
- Richheimer, S., Bernart, M., King, G., Kent, C. and Bailey, D. (1996).** Antioxidant activity of lipid-soluble phenolic diterpenes from rosemary. *J. Am. Chem. Soc.* 73, 507-514.
- Roman S., T. Tomasz, B. Katarzyna, P. Anna, B. Monika and B. Joanna. (2010).** Effects of different levels of rapeseeds in the diet on performance, blood and bone parameters of broiler chickens. *J. Central. Euro. Agri.*, 4: 393-400.
- Romani A, Mulinacci N, Pinelli P, Vincieri F, Cimato A. (1999).** Polyphenolic content in five tuscan cultivars of *Olea europaea* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.47:964-967.
- Rosenvold, K., Andersen, H.J. (2003).** Factors of significance for pork quality - a review. *Meat Science*, 64, 219-237.
- Roth-Maier, A. Dora and M. Kirchgessner (1988).** Feeding of 00-rapeseed to fattening chicken and laying hens. *Landwirtsch. Forschung*, 41:140-150.
- Ryan, D., Antolovich, M., Prenzler, P., Robards, K. and Lavee, S. (2002).** Biotransformations of phenolic compounds in *Olea europea* L. *Scientia Horticulturae* 92: 147–176.
- Sabra, K.L. and T.J. Metha. (1990).** A comparative study on additive of livol (herbal growth promoter) and some chemical growth promoters in the diets of broiler chickens. *Ind. J. Anim. Prod. Manage.*, 6: 115-118.
- Sahin, K., N. Sahin, M. Onderci, S. Yaraloglu and O. Kucuk. (2001).** Protective role of supplemental vitamin E on lipid peroxidation, vitamins E, A and some mineral concentrations of broilers reared under heat stress. *Vet. Med. Czech*, 46:140- 144.
- Sahin, K., O. Kucuk, N. Sahin and M. Sari. (2002).** Effects of vitamin C and vitamin E on lipid peroxidation status, some serum hormone, metabolite, and mineral concentrations of Japanese quails reared under heat stress (34°C). *Int. J. Vitamin Nutr. Res.* 71:91-100.
- Salmatdoustnobar, R., Nazeradi, K., Aghdamshahriyar, H., Ghorbani and Fouladi, P. (2007).** The Ratio of ω 6: ω 3 Fatty Acids in Broiler Meat Fed with Canola Oil and Choline Chloride Supplement. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 6: 893–898.
- Samman, S., Sandström, B., Bjørndal Toft, M., Bukhave, K., Jensen, M., Sørensen, S and Hansen, M. (2001).** Green tea or rosemary extract added to foods reduces non heme-iron absorption 1–3. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 73:607–12.

- Sams, A. R., and Mills, K. A. (1993).** The Effect of Feed Withdrawal Duration on the Responsiveness of Broiler Pectoralis to Rigor Mortis Acceleration. *Poultry Sci.* 72: 1789-1796.
- Sandercock G, Voss C, McConnell D and Rayner P. (2009).** Declines in aerobic fitness are largely independent of body mass index in affluent English schoolchildren. *Arch Dis Child* (in press).
- Sandercock, D. A., Hunter, R. R., Nute, G. R., Mitchell, M. A. and Hocking, P. M. (2001).** Acute heat stress-induced alterations in blood acid–base status and skeletal muscle membrane integrity in broiler chickens at two ages: Implications for meat quality. *Poultry Science*, 80, 418–425.
- Sanders T.A.B. (1994).** Nutritional aspects of rancidity. Rancidity in foods. J. C. Allen and R. J. Hamilton. Glasgow, Blackie Academic and Professional, 128-140.
- SAS Institute Inc 1989:** SAS/STAT User’s guide/Version 6. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- Savenije, B., Lambooji, E., Gerritzen, M. A., Venema, K. and Korf, J. (2002).** Effects of Feed Deprivation and Transport on Preslaughter Blood Metabolites, Early Postmortem Muscle Metabolites, and Meat Quality. *Poultry Sci.* 81: 699-708.
- Scaife, J.R., Moyo, J., Galbraith, M., Michie, M. and Campbell, V. (1994).** Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty acid composition and growth of female broilers. *Br. Poult. Sci.*, 35: 107–118.
- Schaefer, D. M., Liu, Q., Faustman, C. and Yin, M. (1995).** Supranutritional administration of vitamin E and C improves oxidative stability of beef. *Journal of Nutrition*, 125, 1792S–1798S.
- Schmitz G. and Erker J. (2008).** The opposing effects of n-3 and n-6 fatty acids. *Progress in Lipid Research*, 47 (2), 147-155.
- Schneider B.L., Renema R.A., Betti M., Carney V.L., Zuidhof M.J. (2012).** Effect of holding temperature, shackling, sex, and age on broiler breast meat quality. *Poult. Sci.*, 91, 468-477.
- Schwartzkopf-Genswein K.S., Faucitano L., Dadgar S., Shand P., González L.A., Crowe T.G. (2012).** Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality. *Meat Science* 92 (2012) 227–243.
- Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M. and Corke, H. (2005).** Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7749–7759.
- Shen, Y., Feng, D., Fan, MZ and Chavez., ER. (2005).** Performance, carcass cut-up and fatty acids deposition in broilers fed different levels of pellet-processed flaxseed. *J. Sci. Food Agric.*, 85: 2005–2014.
- Shuang-Sheng, H, Rong-Liang, Z. (2006).** Rosmarinic acid inhibits angiogenesis and its mechanism of action in vitro. *Cancer Letters* 239: 271–280.

- Siegel, H. S. (1971).** Adrenal, stress, and environment. *World's Poult. Sci. J.* 27:327–349.
- Sihvo, H.-K., K. Immonen, and E. Puolanne. (2013).** Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. *Vet. Pathol.* 51:619–23.
- Singh H., Sodhi S., Kaur R. (2006, Dec)** Effects of dietary supplements of selenium, vitamin E or combinations of the two on antibody responses of broilers. *Br. Poult Sci.* 47 (6): 714-719.
- Singletary, K.W. and J.T. Rokusek. (1997).** Tissue-Specific enhancement of xenobiotic detoxification enzymes in mice by dietary rosemary extract. *Plant Foods for Hum. Nutr.*, 50: 47–53.
- Skřivan, M., Marounek, M., Englmaierova, M., Skřivanova, E. (2012).** Influence of dietary vitamin C and selenium, alone and in combination, on the composition and oxidative stability of meat of broilers. *Food Chem.* 130: 660–664.
- Slimani, W. (2011).** Effets d'un aliment à base de la graine de colza sur les paramètres de reproduction de la lapine. Mémoire de magister en Sciences Agronomiques. Option : Alimentation animale et produits animaux. Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. np 14-17.
- Sowińska, J., Wójcik, A., Pomianowski, J.F., Chorazy, L., Mituniewicz, T., Witkowska, D., Piotrowska, J., Kwiatkowska-Stenzel, A., Czaplinska, B., Kuczyńska, P. (2013).** Effects of different variants of pre-slaughter transport on body weight loss and meat quality in broiler chickens *Med. Weter.* 69 (7).
- Stadtman ER and Levine RL. (2000).** Protein oxidation. *Ann N Y Acad Sci* 899: 191-208.
- Stadtman ER. (1993).** Oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins by radiolysis and by metal-catalyzed reactions. *Annu Rev Biochem* 62: 797-821.
- Summers, J., Shen, H., Leeson, S. (1982).** The value of canola seed in poultry diets. *Can. J. Anim. Sci.* 62, 861–868.
- Summers, JD and Leeson, S. (1978).** Feeding value and amino acid balance of low glucosinolates *B. napus* (cv. Tower) rapeseed meal. *Poult. Sci.*, 57: 235–241.
- Summers, JD., Leeson, S and Spratt, D. (1988).** Canola meal and egg size. *Can. J. Anim. Sci.*, 68: 907–913.
- Talebali, H., and Farzinpour, A. (2005).** Effect of different levels of full-fat canola seed as a replacement for soybean meal on the performance of broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci.*, 4: 982-985.
- Terlouw E.M.C., Cassar-Malek I., Picard B., Bourguet C., Deiss V., Arnould C., Berri C., Le Bihan-Duval E., Lefèvre F., Lebret B. (2015).** Stress en élevage et à l'abattage : impacts sur les qualités des viandes. In : Numéro spécial. Le muscle et la viande. Picard B., Lebret B. (Eds). *INRA Prod. Anim.*, 28, 169-182.

- Terlouw, E.M.C., Arnould, C., Auperin, B., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Lefevre, F., Lensink, J., Mounier, L. (2007).** Impact des conditions de pré-abattage sur le stress et le bien-être des animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 2007, 20 (1), 93-100.
- Terlouw, E.M.C., Rybarczyk, P. (2008).** Explaining and predicting differences in meat quality through stress reactions at slaughter: The case of Large White and Duroc pigs. *Meat Science*, 79, 795-805.
- Torrejon C., Jung U. J. and Deckelbaum R. J. (2007).** n-3 Fatty acids and cardiovascular disease: Actions and molecular mechanisms. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 77,319-326.
- Trebušak, T., Levart, A., Salobir, J., Pirman, T. (2014).** Effect of *Ganoderma lucidum* (Reishi mushroom) or *Olea europaea* (olive leaves) on oxidative stability of rabbit meat fortified with n-3 fatty acids. *Meat Science* 96:1275–1280.
- Trinder P. Ann Clin Biochem. (1969).** 6: 24- 33.
- Tripathi, M. K., and A. S. Mishra. (2007).** Glucosinolates in animal nutrition: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 132:1-27.
- Tsuchihashi, H., Kigoshi, M., Iwatsuki, M., Niki, E. (1995).** Action of β -carotene as an antioxidant against lipid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys.* 323 (1), 137–147.
- Uchida K., 2003.** Histidine and lysine as targets of oxidative modification. *Amino Acids*, 25(3-4), 249-257.
- USDA. (2013b).** Soybeans and oil crops: canola. Available at: <http://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-oil-crops/canola.aspx#UaTNlsqcFjc> Accessed May 28, 2013.
- Varmaghany, S., Rahimi, S., Karimi Torshizi, M.A., Lotfollahian, H and Jafari, H. (2012).** The effect of olive leaf as medicinal plant supplementation on carcass characteristics and mortality in broiler chickens. *Metabolism and Nutrition: Feed Additives. Poult. Sci.* 91(Suppl. 1), pages 119.
- Varmaghany, S. Rahimi, S., M.A. Karimi Torshizi, H. Lotfollahian and M. Hassanzadeh. (2013):** Effect of olive leaves on ascites incidence, hematological parameters and growth performance in broilers reared under standard and cold temperature conditions. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 185, (1–2): 60–69.
- Vazquez-Anon M, Nocek J, Bowman G, Hampton T, Atwell C, Vazquez P. (2008).** Effects of feeding a dietary antioxidant in diets with oxidized fat on lactation performance and antioxidant status of the cow. *J Dairy Sci.* 91:3165–72.
- Veerkamp, C. H. (1986).** Fasting and Yield of Broilers. *Poultry Sci.*, 65: 1299 - 1304.
- Veissier, I., Boissy, A. (2007).** Stress and welfare: Two complementary concepts that are intrinsically related to the animal's point of view: Stress and Welfare in Farm Animals. *Physiology and Behavior*, 92, 429-433.
- Veissier, I., Boissy, A., Capdeville, J., Sarignac, C. (2000).** Le bien-être des animaux d'élevage : comment peut-on le définir et l'évaluer ? *Le Point Vétérinaire*, 31, 117-124.

- Vimiso, P. and Muchenje, V. (2013).** A survey on the effect of transport method on bruises, pH and colour of meat from cattle slaughtered at a South African commercial abattoir. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 43, 105-111.
- Voljč, M., Frankič, T., Levart, A., Nemeč, M., Salobir, J., (2011).** Evaluation of different vitamin E recommendations and bioactivity of α -tocopherol isomers in broiler nutrition by measuring oxidative stress in vivo and the oxidative stability of meat. *Poult Sci* 90: 1478–1488.
- Voljč, M., Levart, A., Žgur, S and Professor Dr J. Salobir. (2013).** The effect of α -tocopherol, sweet chestnut wood extract and their combination on oxidative stress in vivo and the oxidative stability of meat in broilers, *British Poultry Science*, 54:1, 144-156.
- Von Keyserlingk, M.A.G., Rushen, J., De Passillé, A.M. and Weary, D.M. (2009).** Invited review: The welfare of dairy cattle-key concepts and the role of science. *J. Dairy Sci.* 92, 4101-4111.
- Von Schacky, C. (2006).** A review of omega-3 ethyl esters for cardiovascular prevention and treatment of increased blood triglyceride levels. *Vascular Health and risk Management*, 2 (3) 251- 262.
- Voslarova, E., Chloupek, P., Vosmerova, P., Chloupek, J., Bedanova, I., and Vecerek, V. (2011).** Time course changes in selected biochemical indices of broilers in response to pretransport handling. *Poultry Science*, 90, 2144–2152.
- Vosmerova, P., Chloupek, J., Bedanova, I., Chloupek, P., Kruzikova, K., Blahova, J. (2010).** Changes in selected bio-chemical indices related to transport of broilers to slaughterhouse under different ambient temperatures. *Poultry Science*, 89, 2719–2725.
- Wang, M. (2005).** *Nutrit. and Metabol.*, 2 : 3.
- Warriss P.D., Kestin S.C., Brown S.N., Knowles T.G., Wilkins L.J., Edwards J.E., Austin S.D., Nicol C.J. (1993).** The depletion of glycogen stores and indices of dehydration in transported broilers. *Br. Vet. J.*, 149, 391-398.
- Warriss, P. D., Knowles, T, G, Brown, S. N., Edwards, J. E., Ketlewell, P. J., Mitchell, M. A., and Baxter, C. A. (1999).** Effects of Lairage Time on Body Temperature and Glycogen Reserves of Broiler Chickens Held in Transport Modules. *Vet. Rec.* 145: 218-222.
- Warriss, P.D., Bevis, E.A., Brown, S.N., Edwards, J.E. (1992).** Longer journeys to processing plants are associated with higher mortality in broiler chickens. *British Poultry Science*, 33 201 206.
- Wathelet J.P., Marlier M., Severin M., Biston R. (1986).** Les glucosinolates, leur dosage. *Revue de l’agriculture* n°5, 39, 10481058.
- Weber, P., and Raederstorff, D. (2000).** Triglyceride-lowering effect of omega-3 LC-Polyunsaturated fatty acids-a review. *Nutr. Met. Cardiovasc. Dis.*, 10, 28-37.
- Wertz P. W., 2009.** Essential fatty acids and dietary stress. *Toxicology and industrial Health.* 25 (4-5). 279-283.

- Wilson, R., Lyall, K., Smyth, L., Fernie, C.E., Riemersma, R.A. (2002).** Dietary hydroxy fatty acids are absorbed in humans: Implications for the measurement of 'oxidative stress' in vivo. *Free Radical Biology and Medicine*, 32(2), 162-168.
- Wójcik, A., Pomianowski, J., Sowińska, J., Mituniewicz, T., Witkowska, D., Chorazy, L., Piotrowska J. (2011).** Wpływ obrotu przedubojowego kurcząt brojlerów na jakość technologiczną mięsa. *Inz. Ap. Chem.* 50, 85-86.
- Xing, T., Xu, X., Jiang, N and Deng, S. (2015).** Effect of transportation and pre-slaughter water shower spray with resting on AMP-activated protein kinase, glycolysis and meat quality of broilers during summer. *Animal Science Journal*. 1-9.
- Yeates, J. (2010).** What can pest management learn from laboratory animal ethics? *Pest Manag. Sci.* 66, 231-237.
- Yesilbag, D, M. Eren, H. Agel, A. Kovanlikaya, and F. Balci. (2011).** Effects of dietary rosemary, rosemary volatile oil and vitamin E on broiler performance, meat quality and serum SOD activity. *Br. Poult. Sci.* 52:472–482.
- Young, J. F., Stagsted, J., Jensen, S. K., Karlsson, A. H and Henckel, P. (2003).** Ascorbic Acid, α -Tocopherol, and Oregano Supplements Reduce Stress-Induced Deterioration of Chicken Meat Quality. *Poultry Science* 82:1343–1351.
- Young, L.L., and Lyon, C. E. (1997).** Effect of Calcium Marination on Biochemical and Textural Properties of Peri-Rigor Chicken Breast Meat. *Poultry Sci.* 76: 197-201.
- Zdanowska-Sąsiadek, Ź., Michalczyk, M., Poławska, E., Damaziak, K., Niemiec, J and Radzik-Rant, A. (2016).** Dietary vitamin E supplementation on cholesterol, vitamin E content, and fatty acid profile in chicken muscles *Can. J. Anim. Sci.* Vol. 96.
- Zhang, L., Yue, HY., Wu, SG., Xu, L., Zhang, HJ., Yan, HJ., Cao, YL., Gong, YS., Qi, GH. (2010).** Transport stress in broilers. II. Superoxide production, adenosine phosphate concentrations, and mRNA levels of avian uncoupling protein, avian adenine nucleotide translocator, and avian peroxisome proliferator-activated receptor-coactivator-1 α in skeletal muscles. *Poult Sci.* 89:393–400.
- Zhang, L., Yue, H. Y., Zhang, H. J., Xu, L., Wu, S. G., Yan, H. J. (2009).** Transport stress in broilers: I. Blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality. *Poultry Science*, 88, 2033–2041.
- Zhang, W., S. Xiao, E. J. Lee, and D. U. Ahn. (2011).** Consumption of oxidized oil increases oxidative stress in broilers and affects the quality of breast meat. *J. Agric. Food Chem.* 59:969–974.
- Zhang, X., Strakovsky, R., Zhou, D., Zhang, Y., Pan, Y.X. (2011).** A maternal high-fat diet represses the expression of antioxidant defense genes and induces the cellular senescence pathway in the liver of male offspring rats. *J. Nutr.* 141, 1254–1259.
- Zhu, Z., Chen, Y., Huang, Z., Zhang, Y., Xu, Q., Tong, Y., Zhai, F., Chang, G., Chen, G. (2014).** Effects of transport stress and rest before slaughter on blood parameters and meat quality of ducks. *Can. J. Anim. Sci.* (2014) 94: 595-600.

Zulkifli, I., A. H. Ramlah, M. K. Vidyadaran, and A. Rasedee. (1996). Dietary ascorbic acid: Self-selection and response to high temperature and humidity in broilers. *Malay. Appl. Biol.* 25:93–101.

Annexes

Annexe 1 : préparation des extraits méthanoliques

10g de matière végétale sèche et broyée (feuilles) ont été extraits trois fois avec 80ml de méthanol contenant 0,1% d'acide chlorhydrique. Après agitation à l'aide d'un homogénéisateur (Daihanscientifico.,Ltd) pendant 15mn, les mélanges ont été centrifugés (4000 t/min, 15min) et le surnageant clair a été collecté. Enfin, les extraits méthanoliques ont été concentrés à pression réduite (40° C) par évaporation du solvant au moyen d'un évaporateur de type Ingos (**Borowska *et al.*, 2009**).

Annexe 2 : Préparation du surnageant pour les analyses enzymatiques

La technique consiste à broyer 0,5 g de foies dans 2,5 ml de saccharose 0,25 M. Les homogénats obtenus sont centrifugés à 30000 tours pendant 40 minutes. Les surnageants sont prélevés et conservés dans la glace en attendant d'être utilisés pour les dosages enzymatiques.

Annexe 3 : Solutions et réactifs utilisés pour la mesure de l'enzyme malique (EM) et la glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PDH)

	Dosage de l'EM	Dosage de la G6PDH
Tampon	Triéthanolamine 0,4 M pH = 7,4 à 25°C	Glycyl-glycine 0,25 M pH = 7,5 à 25°C
MnCl ₂	0,12 M	-
MgCl ₂	-	0,1M
NADP	3,4 mM	13,9 mM
Malate	0,03 M	-
Glucose-6-P	-	0,2 M

Annexe 4 : Contenu des tubes blancs et essais pour la mesure de l'activité de l'enzyme malique

Solutions (ml)	Essai 1	Essai 2	Blanc 1	Blanc 2
Tampon	0,5	0,5	0,5	0,5
MnCl ₂	0,1	0,1	0,1	0,1
NADP	0,2	0,2	0,2	0,2
Malate	0,05	0,05	-	-
Eau distillée	2,125	2,075	2,175	2,125
Surnageant	0,100	0,150	0,100	0,150

Annexe 5 : Contenu des tubes blancs et essais pour la mesure de l'activité de la glucose-6-phosphate déshydrogénase

Solutions (ml)	Essai 1	Essai 2	Blanc 1	Blanc 2
Tampon	3	3	0,5	3
MgCl ₂	0,1	0,1	0,1	0,1
NADP	0,1	0,1	0,1	0,1
Glucose-6-P	0,025	0,025	-	-
Eau distillée	0,050	-	0,075	0,025
Surnageant	0,050	0,100	0,050	0,100

Annexe 6 : Dosage de la glycémie

• Réactifs

Réactif 1 :

Une solution tampon : Tampon TRIS à pH 7,4 et le phénol.

Réactif 2 :

C'est un mélange des enzymes : le glucose oxydase (GOD), le peroxydase (POD) et le 4- Aminophénazone (4-AP).

Réactif 3 :

Le standard : une solution de glucose pour le calibrage (100mg/dl).

Le réactif de travail est un mélange des deux premiers réactifs : le réactif 2 est dissous dans le réactif 1.

• Mode opératoire

Trois solutions sont préparées, illustrés dans le tableau suivant :

	Blanc	Standard	Echantillon
Réactif de travail (ml)	1,0	1,0	1,0
Standard (µl)	--	10	--
Echantillon (µl)	--	--	10

Ces solutions sont mixées, et incubées pendant 10 minutes à 37 °C. La lecture des absorbances de chaque solution se fait à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde 505 nm.

Calcul :

$$\text{mg/dl de glucose} = \frac{(A)_{\text{échantillon}}}{(A)_{\text{standard}}} \times 100(\text{concentration du standard})$$

Facteur de conversion : mg/dl x 0,0555 = mmol/L.

Annexe 7 : Dosage de lactate déshydrogénase (LDH)

Réactifs

Réactif 1 Solution Tampon	Tampon tris pH 7,2 Pyruvate NaCl
Réactif 2 Coenzyme	NADH

La solution de travail est un mélange du substrat R2 par 10 ml de Tampon R1 : le réactif 2 est dissous dans le réactif 1.

- **Mode opératoire**

1ml de la solution de travail est pré incubée à 37°C, ensuite 20µl de l'échantillon est ajoutée, le mélange est mixé et incubé 1 min. La diminution de la densité optique est mesurée par min pendant 1 à 3 minutes à une longueur d'onde de 340 nm.

Calcul :

$$\Delta DO/\text{min} * 8095 = U/L$$

Annexe 8 : Dosage de la créatine kinase (CK)

Réactifs

Réactif 1 Tampon	Imidazol pH 7,0 Glucose Acetate magnésium EDTA
Réactif 2 Substrat	ADP AMP di- Adenosine-5-pentaphosphate NADP ⁺ Hexokinase Glucose-6-phosphate déshydrogénase N-acetyl cystéine Créatine phosphate

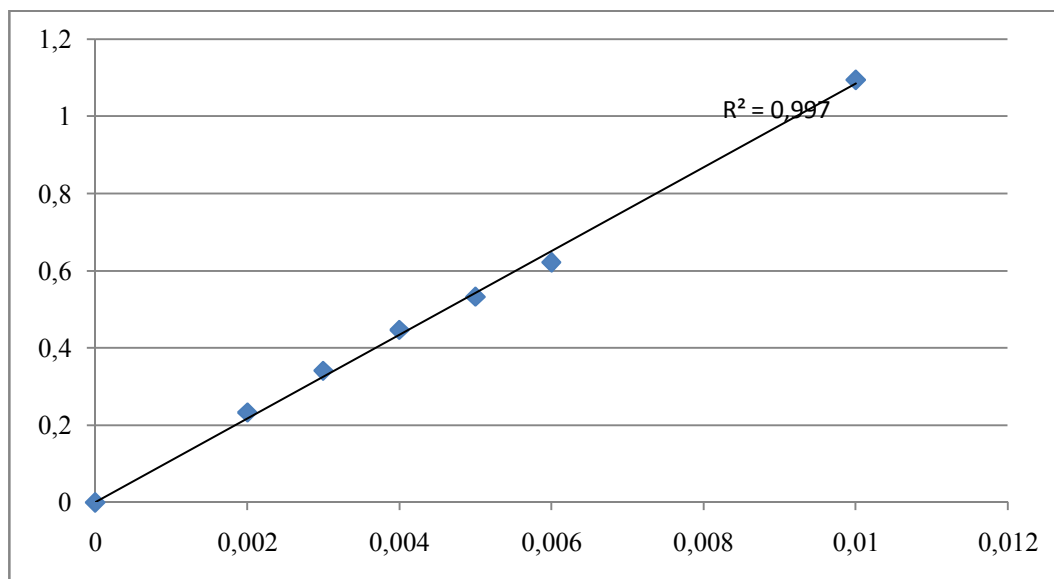
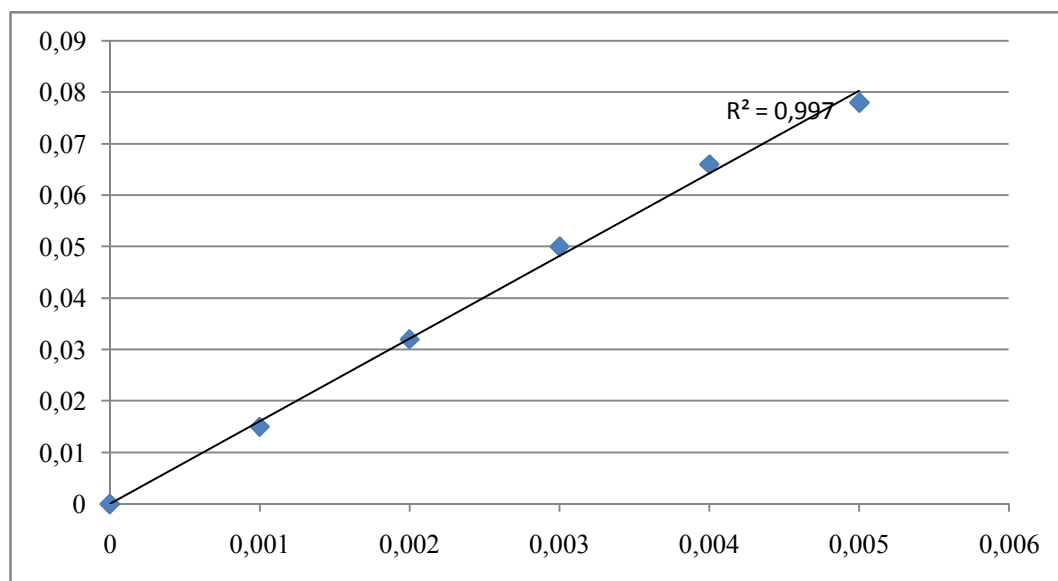
Le réactif de travail est composé d'un comprimé R 2 dissous dans un vial de R1.

- **Mode opératoire**

1ml du réactif de travail est mélangé avec 20µl d'échantillon, ensuite, le mélange est incubé à 37°C pendant 2 min. La densité optique est mesurée par min pendant 1 à 3 minutes à une longueur d'onde de 340 nm.

Calcul :

$$\Delta DO/\text{min} * 8095 = U/L$$

Annexe 9 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique**Annexe 10 : Courbe d'étalonnage de la quercétine**

ajava

Asian Journal of Animal and Veterinary Advances



Academic
Journals Inc.

www.academicjournals.com



Research Article

Effects of Dietary Canola Seed with Rosemary Supplementation on Growth Performance, Lipid Oxidation and Meat Fatty Acid Composition of Broilers

¹Asma Khaouchene, ¹Kaddour Boudroua and ²Jacques Mouro

¹Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition, Université de Mostaganem BP 300, 27000 Mostaganem, Algérie

²INRA, UMR 1079 Systèmes d'élevage Nutrition Animale et Humaine, 35590 Saint-Gilles, France

Abstract

Objective: This experiment was conducted to assess the effect of a diet containing full-fat canola seed and supplemented with rosemary leaves and vitamin C on broiler performance, carcass characteristics, meat fatty acid (FA) and lipid oxidation of broiler meat. **Methodology:** Two separate groups of 1 day old (d1) male broilers were fed from day 15-40 a diet containing 5% of canola seed and 27% of soybean meal as a control group. From days 40-56 chicks were allocated to three homogeneous groups. One group was fed a control diet without antioxidant, while the other two groups were fed with (canola seed supplemented with 10 g kg⁻¹ of rosemary leaves) or 200 mg kg⁻¹ of vitamin C. Birds were slaughtered at 56 days of age. After evisceration, thigh meat samples were separated, frozen at -20°C until to determine the fatty acid profile or stored at 4°C in the dark until to determine the lipid oxidation. **Results:** Results showed that the diet containing 5% of canola seed reduced ($p < 0.05$) chicken growth by almost 4% at 35 and 40 days compared to the control diet. However, performance parameters of chicks were generally improved by the addition of rosemary leaves and vitamin C. The inclusion of canola seed increased ($p < 0.05$) the concentration of omega-3 FA (2.14 and 1.79 against 0.85%) in meat, especially the proportion of α -linolenic acid (1.53 and 1.24 against 0.66%) and the polyunsaturated fatty acids: saturated fatty acids ratio and decreased widely the n-6: n-3 ratio. Dietary rosemary leaves were more effective ($p < 0.05$) in inhibiting lipid oxidation of the thigh meat compared to vitamin C during storage at 4°C. **Conclusion:** These results indicate that the simultaneous use of rosemary and ground canola seed improves broilers performance and meat quality.

Key words: Broilers, canola seed, fatty acid, omega-3, antioxidants, rosemary leaves, vitamin C, lipid oxidation, meat quality

Received: July 16, 2016

Accepted: September 22, 2016

Published: November 15, 2016

Citation: Asma Khaouchene, Kaddour Boudroua and Jacques Mouro, 2016. Effects of dietary canola seed with rosemary supplementation on growth performance, lipid oxidation and meat fatty acid composition of broilers. *Asian J. Anim. Vet. Adv.*, 11: 815-823.

Corresponding Author: Asma Khaouchene, Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition, Université de Mostaganem BP 300, 27000 Mostaganem, Algérie Tel: +213-797-35-06-99

Copyright: © 2016 Asma Khaouchene *et al.* This is an open access article distributed under the terms of the creative commons attribution License, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interest: The authors have declared that no competing interest exists.

Data Availability: All relevant data are within the paper and its supporting information files.

INTRODUCTION

The price of fat and oil is increasing due to increased demand from the biofuel industry and food sector and thus the costs of broiler feed have subsequently increased. Some broiler producers are including full-fat Canola Seed (CS) in broiler diets to reduce costs. Canola seed can contribute substantially more to the Metabolizable Energy (ME) than oil-extracted solvent or expeller canola meal. It contains approximately 400 g kg⁻¹ oil and 210-230 g kg⁻¹ protein¹ making it an attractive feed ingredient for broilers. Full-fat canola seed has a valuable amino acid composition, including high content of essential amino acids such as lysine, threonine, tryptophan and sulphur amino acids². In addition, flaxseed (FS) and Canola Seed (CS) are the main sources of α -linolenic acid (ALA) of terrestrial origin. This fatty acid is the precursor for the synthesis of eicosapentaenoic acid (EPA 20:5n-3) and docosahexaenoic acid (DHA 22:6n-3), which play a major role in the control of cardiovascular diseases³ and in neural and retinal development⁴. Consumption of n-3 PUFA has been shown to positively influence immune function, blood pressure, cholesterol and triglyceride levels, in addition to cardiovascular function in humans⁵.

However, some reports indicated that the use of canola seed in high amount (175 g kg⁻¹ of diet) decreased the growth performance of broiler chicks⁶. The lower energy digestibility of canola seed and subsequent poor growth performance depressing in broilers, is related to the oil covered by the cell wall polysaccharides in seed⁷. Also, increasing levels of polyunsaturated fatty acids in tissues by using CS lead to faster lipid oxidation, with a consequent quality loss and lower consumer acceptability.

So as to increase the growth performance of the birds various nutrients are to be incorporated in the diet. Studies have been conducted with various levels of vitamins like C and E. Several studies revealed a beneficial effect of vitamin C supplementation on live weight gains, meat protein^{8,9} and on growth rate in stressed broilers¹⁰⁻¹². Also, ascorbic acid (vitamin C) possesses antioxidant properties, although it can act as an antioxidant or as a prooxidant depending on the concentration, the presence of metal ions and the tocopherol content¹³. It decreases the lipid oxidation in meat of broiler chickens stored for some days¹⁴.

Whereas, consumers and health authorities increasingly dictate that the use of synthetic food additives should be phased out and where possible, only natural products should be used. Therefore, the incorporation of herbs and herbal products in livestock feeds instead of chemical products in order to stimulate or promote the effective use of feed

nutrients which result in more rapid gain, higher production and better feed efficiency is a desirable method. Moreover, herbs contain active substances that can improve digestion and metabolism and possess bacterial and immunostimulant action of animals¹⁵. Biologically, rosemary extract improved feed conversion efficiency of broilers fed diet supplemented with such herb¹⁶. Rosemary is currently a widely used aromatic and medicinal plant which has high amounts of flavonoids and phenolic acids¹⁷ that have antioxidant capacities. The use of essential oils of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) has been thoroughly investigated and a significant decrease of lipid oxidation in chicken meat has been reported by Chang *et al.*¹⁸ and Lopez-Bote *et al.*¹⁹. Also, supplementing ground rosemary to the feed has been successful in this respect in turkeys²⁰ and broilers²¹.

The aim of this study is to investigate the effect of replacing soybean meal with full-fat canola seed and to compare the effective feed supplementation of vitamin C and rosemary leaves on the growth performances and lipid oxidation of broilers thigh meat.

MATERIALS AND METHODS

Animals and diets: This study was approved by a suitably constituted ethics committee of the university of Mostaganem. A total of 132, 1-day old Hubbard-ISA male broilers, obtained from a commercial hatchery were given for 2 weeks the same starter diet (3035 kcal kg⁻¹) and allowed free access to water and food. Chicks had an average initial Body Weight (BW) of 424.5 ± 1.50 g at the age of 14 days.

From 15-39 days, birds were placed in 3 floor pens of 2 × 2.5 m with 44 birds per pen. Two diets were used, the first based on only corn (served as control diet), the second containing 5% of double zero full-fat canola seed (experimental diet). Diets were formulated to cover all nutrient requirements of broiler chicks for 56 days study period.

In the finisher period (from 40-56 days), the three dietary treatments consisted of: A control diet (C), diet containing 5% of ground canola seed+10 g kg⁻¹ of rosemary leaves (CSRL) and diet containing 5% of ground canola seed+200 mg kg⁻¹ of vitamin C (CSV). Ingredients and nutrient composition of the diets are shown in Table 1. For this study, chickens were weighted on days 14, 28, 35, 40 and 56. Also, Body Weight Gain (BWG) and Feed Conversion Ratio (FCR) were calculated throughout the experiment.

Canola seeds were purchased from Algiers institute of cultures, these seeds were finely ground using a grain mill before being mixed with the diet, 5% of soybean meal was substituted by 5% of ground canola seed.

Table 1: Composition of the experimental diets

Diet	C	CS
Ingredients (%)		
Corn	67.0	67.0
Canola seed	-	5
Soya bean meal	27.0	22.0
Wheat bran	4.0	4.0
*Vit-min premix	1.0	1.0
Calcium	0.5	0.5
Phosphorus	0.5	0.5
Calculated composition		
ME (kcal kg ⁻¹)	3035	3124.5
Crude protein (%)	21.0	19.7
Analyzed composition (%)		
Moisture	12.72	11
Lipids	4.62	3.24
Ash	3.9	4.1
FA analysis (Percentage of the identified FA)		
C14:0	0.06	0.08
C16:0	13.77	7.79
C16:1	0.13	0.18
C18:0	2.26	3.31
C18:1 (n-9)	24.45	44.07
C18:2 (n-6)	50.51	32.82
C18:3 (n-3)	3.21	6.72
C20:1 (n-9)	0.40	0.77
SFA	19.59	12.56
MUFA	25.85	47.39
PUFA	54.56	40.05
n-6	50.51	32.88
n-3	4.05	7.06
n-6:n-3	12.47	4.66

*Vit-min premix: Provided (in mg kg⁻¹ of diet), Vitamin E: 6, Vitamin K3: 0.80, Vitamin B1: 1, Vitamin B2: 3, Pantothenate of Ca: 6, Vitamin B6: 1.5, Vitamin B12: 0.006, Folic acid: 0.2, Nicotinic acid: 12, Copper: 5, Cobalt: 0.65, Manganese: 65, Zinc: 65, Selenium: 0.25, Iron: 50, Iode: 0.8, Magnesium: 100, EM: Metabolisable energy, C: Control diet, CO: Canola seed diet, SFA: Saturated fatty acids, MUFA: Monounsaturated fatty acids, PUFA: Polyunsaturated fatty acids

Wild rosemary leaves (*Rosmarinus officinalis*) were collected during the period of March, 2014 from the region of the wilaya of Chlef (250 km to West Algiers) which is located at 86 m altitude, 36°10'26" Nord latitude and 1°20'12" East longitude. These leaves were first air-oven dried at 45°C for three consecutive days and then ground to pass a 2 mm screen and stored in clean labeled airtight bottles until the beginning of the animal study.

Ascorbic acid (vitamin C) was supplied by (Sigma-Aldrich Co., St., Louis, MO) with the concentration of 99%.

Measurements at slaughter: At the day 56th of age, 10 birds from each diet were selected, weighed, slaughtered and eviscerated in a local commercial slaughter house. After evisceration, the birds were apportioned by hand. Samples (100 g) from the left thigh were obtained. Some meat samples were placed in plastic bags and frozen at -20°C until analysis

of total lipids and fatty acid profile. Whereas, the other samples were sliced at 0.5 cm thick, placed in open sterile polypropylene bags and stored at 4°C in the dark until to determine the oxidative stability. Liver and Abdominal Adipose Tissue (AAT) were also removed and weighed individually and the percentages of thigh muscle, liver and AAT (Percentage of eviscerated weight) for the individual bird were calculated.

Laboratory analysis

Analysis of diets: Samples of diets were dried and stored for subsequent analyses. Mineral content was determined by ashing at 600°C for 8 h²². Total phenol content was determined by the Folin-Ciocalteu method²³. One mL of methanolic extract was mixed with 5 mL of Folin-Ciocalteu reagent (2 mol L⁻¹) diluted 10 times. The mixture was allowed to stand for 5 min, after which 4 mL of aqueous Na₂CO₃ solution at a concentration of 75 g L⁻¹ was added. The absorbance of the mixture was measured at 765 nm after 60 min of incubation at room temperature using UV-vis spectrophotometer. All the experiments were carried out in triplicates and the amount of total phenols was expressed as Gallic Acid Equivalents (GAE g⁻¹ herb), using a gallic acid calibration curve.

Analysis of meats: The Total Lipids (TL) of each sample (diet or meat) were extracted by chloroform:methanol (2:1) according to the method of Folch *et al.*²⁴. The FA of lipids were freed by saponification (NaOH) and then methylated by methanol-BF₃²⁵. The methyl esters of FA were separated and quantified by gas chromatograph (Perkin-Elmer Auto System XL) equipped with flame ionization detector and a capillary column (30 m×0.25 mm internal diameter). The operating conditions of the gas chromatograph were as follows: Injector and detector temperature of 220 and 280°C, respectively, the oven temperature was programmed to increase from 45-240°C at 20-35°C min⁻¹, aliquots of 1 µL were injected with bicyanopropyl phenyl silicone as a stationary phase, hydrogen was used as conductor gas, FA peaks were identified by comparison with retention times of methyl fatty acid standards and quantification was made by reference to an internal standard (C17:0).

The lipid oxidation of meat samples was determined on day 1 and 5 post slaughter. Malondialdehyde (MDA), the compound used as an index of secondary lipid peroxidation, was determined by a selective third-order derivative spectrophotometric method²⁶. In brief, samples were homogenized in the presence of 8 mL of 5 g/100 mL

aqueous trichloroacetic acid (Sigma Aldrich Co., St., Louis, MO) and 5 mL of 0.8 g/100 mL butylated hydroxytoluene (Sigma Aldrich) in hexane and the mixture was centrifuged. The top layer was discarded and a 2.5 mL aliquot from the bottom layer was mixed with 1.5 mL of 0.8 g/100 mL aqueous 2-thiobarbituric acid (Sigma Aldrich Co., St., Louis, MO) and further incubated at 70°C for 30 min. Following incubation, the mixture was cooled under tap water and submitted to conventional spectrophotometry (Shimadzu, Model UV-160A, Tokyo, Japan) in the range of 400-650 nm. Third-order derivative spectra were produced by digital differentiation of the normal spectra using a derivative wavelength difference setting of 21 nm. The concentration of MDA in the analyzed samples was calculated on the basis of the height of the third-order derivative peak at 521.5 nm by referring to slope and intercept data of the computed least-squares fit of standard calibration curve prepared, using 1,1,3,3-tetraethoxypropane (Sigma Aldrich Co., St., Louis, MO).

Statistical analyses: Data were statistically analyzed by analysis of variance using SAS Software²⁷. Comparisons among means were conducted using Bonferroni's test.

RESULTS

Productive performance: The BW, BWG and FCR values are presented in Table 2 and 3. The CS diet reduced chicken growth by almost 4% ($p < 0.05$) at day 35 and 40. There was enhancement in BWG of chicks after supplementation with rosemary leaves and vitamins C which explain why at day 56, birds on both diets reached similar final weights. During 14-35 days the control broilers chicken had better ($p < 0.05$) FCR values compared to CS diet while no significant difference of this ratio was observed among experimental and control diets during 40-56 days of study.

Carcass parameters: The carcass parameters are shown in Table 4. There was no significant difference in carcass yield

Table 2: Effect of experimental diet on growth performance of broilers from 14-35 days

Treatments	C	CS	SEM	Dietary effect
BW (g) (day 14)	424.5	424.5	1.50	NS
BW (g) (day 28)	1044	1040.5	1.75	NS
BW (g) (day 35)	1517 ^a	1453.5 ^b	6.75	$p < 0.05$
BWG (g bird ⁻¹) (14-28 days)	619.5	616	2.25	NS
BWG (g bird ⁻¹) (28-35 days)	473 ^a	413 ^b	5.00	$p < 0.05$
FCR (14-35 days)	2.07	2.12	0.03	NS

For each group $n = 10$, results are expressed as Mean and Standard Error of mean (SEM), means in the same line with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$), BW: Body weight, BWG: Body weight gain, FCR: Feed conversion ratio, C: Control diet, CO: Canola seed diet, NS: Not significant

percentage of birds fed on CS supplemented with rosemary leaves (CSRL) or with vitamin C (CSVC) in comparison to the controls. A similar observation was made for AAT proportion, liver and thigh weights.

Fatty acid composition: Total lipids and FA composition of the thigh muscle are shown in Table 5. No significant effect of the diet on TL level was detected (3.33 and 2.42 vs 2.83%).

Feeding the canola seed diet led to a decrease in the SFA level ($p < 0.05$) and a lower palmitic acid content ($p < 0.05$) compared to the control diet (25.29 and 24.57 vs 26.88%). In contrast, the amount of oleic acid was significantly higher ($p < 0.05$) in the meat of broilers fed with the CS diet (38.16 vs 39.92 and 39.89%). However, no significant effect of diet on Linoleic Acid (LA) and total MUFA percentages was recorded. Incorporation of CS in the diet led to a higher PUFA level ($p < 0.05$) (19.68 and 18.46 vs 16.49%) with a corresponding increase in the level of n-3 FA, especially Alpha Linolenic Acid (ALA) content ($p < 0.05$) (1.53 and 1.24 vs 0.66% of the identified FA) and an increase in the PUFA:SFA ratio ($p < 0.05$) (0.65 and 0.57 vs 0.45%).

For the content of other FA, no differences between the types of diet were detected. The n-6: n-3 ratio was lower in animals fed with CS than the controls (8.24 and 8.70 vs 18.22%). Vitamin C and rosemary leaves supplementation had no significant effect on FA composition of thigh meat.

Table 3: Effect of experimental diet on growth performance of broilers from 40-56 days

Treatments	C	CSRL	CSVC	SEM	Dietary effect
BW (g) (day 40)	1736 ^a	1685 ^b	1685 ^b	7.3	$p < 0.05$
BW (g) (day 56)	2233	2227	2209	12.04	NS
BWG (g bird ⁻¹) (40-56 days)	497 ^a	542 ^b	524 ^b	7.58	$p < 0.05$
FCR (40-56 days)	1.91	1.89	1.91	0.03	NS

For each group $n = 10$, results are expressed as Mean and Standard Error of mean (SEM), means in the same line with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$), BW: Body weight, BWG: Body weight gain, FCR: Feed conversion ratio, CSRL: Diet containing 5% of canola seed+10 g kg⁻¹ of rosemary leaves, CSVC: Diet containing 5% of canola seed+200 mg kg⁻¹ of vitamin C, NS: Not significant

Table 4: Effect of experimental diets on carcass characteristics of broilers

Treatments	C	CSRL	CSVC	SEM	Dietary effect
EW (g)	1590	1583	1588	2.08	NS
Carcass yield (%)	70.46	70.69	69.85	0.25	NS
AAT weight (g)	28	29	28	0.87	NS
AAT weight (Percentage of EW)	1.76	1.83	1.76	0.02	NS
Thigh weight (g)	338	336	330	1.70	NS
Thigh weight (Percentage of EW)	21.26	21.23	20.97	0.09	NS
Liver weight (g)	50	48	46	1.93	NS
Liver weight (Percentage of EW)	3.14	3.03	2.90	0.07	NS

For each group $n = 10$, results are expressed as Mean and Standard Error of the mean (SEM), EW: Eviscerated weight, AAT: Abdominal adipose tissue, CSRL: Diet containing 5% of canola seed+10 g kg⁻¹ of rosemary leaves, CSVC: Diet containing 5% of canola seed+200 mg kg⁻¹ of vitamin C, NS: Not significant

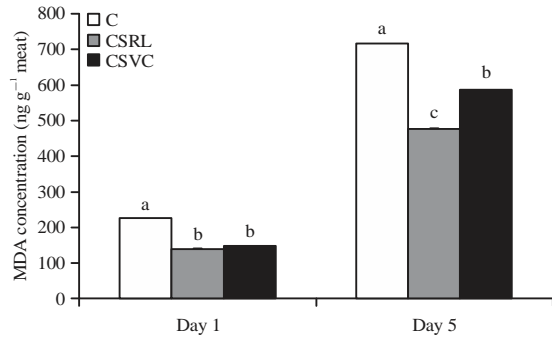


Fig. 1: Effect of rosemary and vitamin C supplementation on lipid oxidation of thigh meat (storage of samples at +4°C), C: Control diet, CSRL: Diet containing 5% of canola seed+10 g kg⁻¹ of rosemary leaves, CSVC: Diet containing 5% of canola seed+200 mg kg⁻¹ of vitamin C, MDA: Malondialdehyde

Table 5: Total lipid content (%) and fatty acid composition (Percentage of identified FA) of sartorius muscle of broilers fed control diet and canola seed diet supplemented with rosemary and vitamin C

Diet	C	CSRL	CSVC	SEM	Dietary effect
TL (%)	2.83	3.33	2.42	0.26	NS
C14:0	0.66	0.51	0.56	0.04	NS
C16:0	26.88 ^a	25.29 ^b	24.57 ^b	0.68	p<0.05
C16:1	0.53	0.52	0.60	0.03	NS
C18:0	7.53	6.30	6.15	0.44	NS
C18:1 (n-9)	38.16 ^a	39.92 ^b	39.89 ^b	0.58	p<0.05
C18:2 (n-6)	15.58	15.60	14.17	0.47	NS
C18:3 (n-3)	0.66 ^a	1.53 ^b	1.24 ^b	0.26	p<0.05
C20:1 (n-9)	0.44	0.49	0.61	0.05	NS
C20:4 (n-6)	0.69	0.72	0.72	0.01	NS
C20:5 (n-3)	0.01	0.09	0.10	0.03	NS
C22:4 (n-6)	0.17	0.25	0.18	0.03	NS
C22:5 (n-3)	0.09	0.23	0.17	0.04	NS
C22:6 (n-3)	0.07	0.16	0.11	0.03	NS
SFA	35.38 ^a	30.47 ^b	32.38 ^b	1.43	p<0.05
MUFA	48.13	50.17	49.85	0.63	NS
PUFA	16.49 ^a	19.68 ^b	18.46 ^b	0.93	p<0.05
n-6	15.47	17.38	15.54	0.63	NS
n-3	0.85 ^a	2.14 ^b	1.79 ^b	0.39	p<0.05
n-6:n-3	18.22 ^a	8.24 ^b	8.70 ^b	3.25	p<0.05
La/ala	20.91 ^a	10.55 ^b	11.44 ^b	3.31	p<0.05
PUFA:SFA	0.47 ^a	0.65 ^b	0.57 ^b	0.05	p<0.05

For each group n = 10, TL: Total lipid, results are expressed as Mean and Standard Error of the mean (SEM), means in the same line with different superscripts are significantly different (p<0.05), CSRL: Diet containing 5% of canola seed+10 g kg⁻¹ of rosemary leaves, CSVC: Diet containing 5% of canola seed+200 mg kg⁻¹ of vitamin C, NS: Not significant

Lipid stability of meat: The effect of dietary treatments on the lipid oxidation (MDA values) of thigh meat enriched with n-3 PUFAs at days 1 and 5 of storage is given in Fig. 1. The MDA concentrations increase in all thigh meat samples during storage at 4°C, but samples enriched with antioxidants had lower (p<0.05) MDA values than those of the controls. These treatments showed similar antioxidant activity at the 1st day

of storage. However, rosemary leaves had higher antioxidant effect (p<0.05) than the vitamin C after 5 days of storage (480 vs 590 ng g⁻¹ of meat).

DISCUSSION

The BW values obtained with diet containing canola seed especially at days 35 and 40 (Table 2, 3) agrees with observations of Roth-Maier *et al.*²⁸ who indicated that the use of 5, 10, 15, 20 and 25% of full-fat canola seed in the broiler ration has a negative effect on the chicken growth. This negative effects have been attributed to the lower availability of its fat fraction⁷ and the presence of anti-nutritional factors^{29,28} like lysine-arginine imbalance³⁰⁻³³ also the existence of phytic acid that will reduce the calcium ability absorption and consequently, the proteolytic enzymes inhibition³⁴. Our results of FCR obtained during (14-35) days are in agreement with those recorded by Roth-Maier *et al.*²⁸ and Talebali and Farzinpour³³. At the end of the experiment, chicks fed with canola seed diet supplemented with either rosemary or vitamin C (CSRL or CSVC) had higher BWG than the C diet and the values of their BW and FCR (CSRL and CSVC) became similar to the controls. These results may be explained by the positive effect of aromatic herbs and their volatile oils in the digestive system, where they can improve the activity of enzymes that help in the digestion³⁵. Also, Hernandez *et al.*³⁶ have demonstrated that adding 5,000 ppm of herbal mixture from different members of the Labiatae family such as rosemary can improve weight gain for 42 days. Thus, these findings agree with a previous researches conducted by Schildknecht *et al.*³⁷ and Kassim and Norziha³⁸ who found improved growth and feed efficiency in the broiler chicks supplemented with vitamin C. This vitamin is involved in growth by promoting collagen synthesis, calcium and vitamin D3 metabolism, carnitine synthesis for oxidation of fatty acids, oxidation of amino acids, electron transport in the cells and scavenging of free radicals³⁹. No significant difference of performance parameters was observed among experimental diets (CSRL vs CSVC) in this study.

In agreement with Lee *et al.*⁷ and Talebali and Farzinpour³³ studies, the present results demonstrated that diets containing 5% of canola seed resulted in similar carcass yield, AAT proportion and liver and thigh final weight as the control diet (Table 4).

A dearth of information exists in terms of carcass parameters to full-fat canola seed in poultry, therefore, direct comparisons cannot be made. In the present study, carcass composition seems not to be affected by supplementation of diet with ascorbic acid or with rosemary leaves which has been reported by others authors^{40,41}.

The total lipid content (Table 5) of thigh meat was not affected by treatment ($p>0.05$) which can be related to the moderate enrichment of muscles. Some researchers have shown that the dietary polyunsaturation level of fat does not influence intramuscular lipid content of breast^{42,43}. Oleic acid was the predominant FA in thigh muscle of both groups, whereas, its proportion was higher in the CS group. In agreement with these results with Ajuyah *et al.*⁴⁴ and Crespo and Esteve-Garcia⁴⁵ who reported that oleic acid was the major FA found in carcass and muscle fats. Also, linoleic acid content was not affected by the type of diet. Rahimi *et al.*⁴⁶ reported that canola seed is rich in oleic acid and contains more Linoleic Acid (LA) than flaxseed. In the present study, fatty acid composition of the chick's tissues generally reflected the FA profile of the diets, dietary supplementation with n-3 PUFA (7.06% of n-3 PUFA in CS diet vs 4.05% in C diet) increases the content of these FA in poultry meat⁴⁷⁻⁵⁰ especially the proportion of alpha linolenic FA ($p<0.05$)⁴⁶. In this study, eicosapentaenoic acid (EPA 20:5n-3) and docosahexaenoic acid (DHA 22:6n-3) were not affected by the type of diet, which may be explained by the limited ability of chicks to desaturate and elongate ALA and the very low deposition rate of these metabolites in muscle tissues^{51,52}. Feeding broilers canola seed caused a large decrease in the n-6/n-3 ratio in the thigh muscle ($p<0.05$), this ratio was more favourable with the inclusion of CS in broilers diet, but higher than that found by Kamran Azad *et al.*⁵³. Also, Salamatdoustnobar *et al.*⁵⁰ observed that when canola oil level increased this ratio decreased and the quality of fatty acid composition is improved.

However, our results showed that birds fed CS had enriched their muscle with a higher PUFA proportion (19.68 and 18.46 vs 16.49%) while, the content of SFA was significantly greater in the controls (35.38 vs 30.47 and 32.38%). These observations were consistent with an increase in the PUFA:SFA ratio on CS compared to the control diet (0.65 and 0.57 vs 0.47%), which has been also obtained by Kamran Azad *et al.*⁵³. In broiler chickens, it had been described that dietary PUFA, as compared to more saturated or mono-unsaturated FA sources, diminishes fat deposition which may be attributed to increased lipolysis or diminished lipogenesis or both⁵⁴.

Thiobarbituric acid (TBA) analysis is an efficient way to measure antioxidant activity in meat products. This analysis is an indicator of MDA a product of oxidation, thus the MDA value increases during storage period. Lopez-Ferrer *et al.*⁵⁵ reported that n-3 PUFAs are deposited in higher concentration in thigh meat than in breast meat when the n-3 PUFA content in the feed is increased. Moreover, some researchers have

suggested that the lower oxidative stability of thigh meat is related to a higher absolute content of PUFAs with more than two double bonds in the fat^{56,57}. In the present study, sartorius meat samples from all treatments enriched with antioxidant had lower MDA values than those of the control. However, rosemary leaves treatment had higher antioxidant effect than the vitamin C treatment after 5 days of storage. Our results are in agreement with those of Loetscher *et al.*⁴¹ who reported that when supplementing rosemary at 25 g kg⁻¹, there was a clear effect on the oxidation stability of breast meat and it was similar than that of the supranutritional vitamin E treatment. In current experiment, analyses showed that the total phenolic content of rosemary was 38.40 mg of gallic acid equivalents g⁻¹ which is lower than the total phenolic content obtained by Yesilbag *et al.*²¹ (62.5 mg GAE g⁻¹), who found that rosemary, added as ground plant material either at 11.5 g kg⁻¹ or at the corresponding amount of rosemary essential oil (200 mg kg⁻¹) was even more effective than 200 IU of α -tocopheryl acetate kg⁻¹ of feed in preventing oxidation in broiler breast meat. Also, Govaris *et al.*⁵⁸ reported that rosemary incorporation was more effective in delaying lipid oxidation of turkey breasts compared to α -tocopheryl acetate at 150 mg kg⁻¹ during refrigerated storage, in their study, the total phenol content of rosemary had been lower than in this study (29.4 mg GAE g⁻¹). According to our results and also to other authors results²¹ even low concentration of rosemary can induce a higher antioxidative protection which is based on its ability to inactivate free radicals produced during the auto-oxidation process⁵⁹. The rosemary plant is rich in polyphenols that might inhibit free radical formation and lipid oxidation²¹.

CONCLUSION

In conclusion, broilers fed diet containing CS enriched their meat with omega-3 FA, while their performance was negatively affected by oil seed supplementation. The results of this experiment suggest that rosemary may be considered as a natural growth promoter for broilers, moreover, it showed good antioxidant properties in meat when added to the diet of animals. We suggest the simultaneous use of rosemary and ground canola seed to enrich broilers meat by n-3 FA and reduce the lipid oxidation during storage.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are thankful to Dr. Meriem Mokhtar from university of Mostaganem for revising the manuscript. They are grateful for Directorate General for Research and

Technological Development of Algeria and INRA UMR PEGASE, Rennes, France for supporting this study.

REFERENCES

1. Fenwick, G.R. and R.F. Curtis, 1980. Rapeseed meal and its use in poultry diets. A review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 5: 255-298.
2. Szymeczko, R. T. Topolinski, K. Burlikowska, A. Piotrowska, M. Boguslawska-Tryk and J. Blaszyk, 2010. Effects of different levels of rape seeds in the diet on performance, blood and bone parameters of broiler chickens. *J. Cent. Eur. Agric.*, 4: 393-400.
3. Conquer, J.A. and B.J. Holub, 1998. Effect of supplementation with different doses of DHA on the levels of circulating DHA as non-esterified fatty acid in subjects of Asian Indian background. *J. Lipid Res.*, 39: 286-292.
4. Alessandri, J.M., B. Goustard, P. Guesnet and A. Durand, 1998. Docosahexaenoic acid concentrations in retinal phospholipids of piglets fed an infant formula enriched with long-chain polyunsaturated fatty acids: Effects of egg phospholipids and fish oils with different ratios of eicosapentaenoic acid to docosahexaenoic acid. *Am. J. Clin. Nutr.*, 67: 337-385.
5. Mozaffarian, D. and J.H.Y. Wu, 2012. (n-3) fatty acids and cardiovascular health: Are effects of EPA and DHA shared or complementary? *J. Nutr.*, 142: 614S-625S.
6. Summers, J.D., H. Shen and S. Leeson, 1982. The value of canola seed in poultry diets. *Can. J. Anim. Sci.*, 62: 861-868.
7. Lee, K.H., J.M. Olomu and J.S. Sim, 1991. Live performance, carcass yield, protein and energy retention of broiler chickens fed canola and flax full-fat seeds and the restored mixtures of meal and oil. *Can. J. Anim. Sci.*, 71: 897-903.
8. Sincerova, O.D., 1970. Improving the value of mixed feeds for broilers by adding ascorbic acid (vitamin C). *Nutr. Abstr. Rev.*, 40: 1491-1491.
9. Alisheihov, A.M., 1980. The effect of different amounts of ascorbic acid on growth and accumulation of vitamin C in the tissue of chickens. *J. Nutr.*, 15: 471-473.
10. Erdogan, Z., S. Erdogan, T. Aksu and E. Baytok, 2005. The effects of dietary lead exposure and ascorbic acid on performance, lipid peroxidation status and biochemical parameters of broilers. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 29: 1053-1059.
11. Seven, I., T. Aksu and P.T. Seven, 2010. The effects of propolis on biochemical parameters and activity of antioxidant enzymes in broilers exposed to lead-induced oxidative stress. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.*, 23: 1482-1489.
12. Seven, T.P., I. Seven, M. Yilmaz and U.G. Simsek, 2008. The effects of Turkish propolis on growth and carcass characteristics in broilers under heat stress. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 146: 137-148.
13. Schaefer, D.M., Q. Liu, C. Faustman and M.C. Yin, 1995. Supranutritional administration of vitamins E and C improves oxidative stability of beef. *J. Nutr.*, 125: 1792S-1798S.
14. Skrivan, M., M. Marounek, M. Englmaierova and E. Skrivanova, 2012. Influence of dietary vitamin C and selenium, alone and in combination, on the composition and oxidative stability of meat of broilers. *Food Chem.*, 130: 660-664.
15. Sabra, K.L. and R.K. Mehta, 1990. A comparative study on additive of livol (herbal growth promoter) and some chemical growth promoters in the diets of broiler chickens. *Indian J. Anim. Prod. Manage.*, 6: 115-118.
16. Singletary, K.W. and J.T. Rokusek, 1997. Tissue-specific enhancement of xenobiotic detoxification enzymes in mice by dietary rosemary extract. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 50: 47-53.
17. Ho, C.T., M.F. Wang, G.J. Wei, T.C. Huang and M.T. Huang, 2000. Chemistry and anti-oxidative factors in rosemary and sage. *Proceedings of the 2nd International Conference Food Factors (Ico FF, 99)*, December 12-17, 1999, Bio-Factors, Kyoto, Japan, pp: 161-166.
18. Chang, S.S., B. Ostric-Matijasevic, O.L. Hsieh and C.L. Huang, 1977. Natural antioxidants from rosemary and sage. *J. Food Sci.*, 42: 1102-1106.
19. Lopez-Bote, C.J., J.I. Gray, E.A. Goma and C.I. Flegal, 1998. Effect of dietary administration of oil extracts from rosemary and sage on lipid oxidation in broiler meat. *Br. Poult. Sci.*, 39: 235-240.
20. Botsoglou, N.A., A. Govaris, I. Giannenas, E. Botsoglou and G. Papageorgiou, 2007. The incorporation of dehydrated rosemary leaves in the rations of turkeys and their impact on the oxidative stability of the produced raw and cooked meat. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 58: 312-320.
21. Yesilbag, D., M. Eren, H. Agel, A. Kovanlikaya and F. Balci, 2011. Effects of dietary rosemary, rosemary volatile oil and vitamin E on broiler performance, meat quality and serum SOD activity. *Br. Poult. Sci.*, 52: 472-482.
22. AOAC., 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th Edn., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC., USA., Pages: 684.
23. Miliauskas, G., P.R. Venskutonis and T.A. van Beek, 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chem.*, 85: 231-237.
24. Folch, J., M. Less and G.H.S. Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226: 497-509.
25. Morrison, W.R. and L.M. Smith, 1964. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. *J. Lipid Res.*, 5: 600-608.
26. Botsoglou, N.A., D.J. Fletouris, G.E. Papageorgiou, V.N. Vassilopoulos, A.J. Mantis and A.G. Trakatellis, 1994. Rapid, sensitive and specific thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissue, food and feedstuff samples. *J. Agric. Food Chem.*, 42: 1931-1937.

27. SAS, 1989. SAS/STAT User's Guide Version 6.0. 4th Edn., Vol. 2, SAS Institute Inc., Cary, NC USA.
28. Roth-Maier, A., A. Dora and M. Kirchgessener, 1998. Feeding of DD-rapeseed to fattening chicken and laying hens. *Landwirtsch Forschung*, 41: 140-150.
29. Chadha, R.K., J.F. Lawrence and W.M.N. Ratnayake, 1995. Ion chromatographic determination of cyanide released from flaxseed under autohydrolysis conditions. *Food Addit. Contam.*, 12: 527-533.
30. Klosterman, H.J., G.L. Lamoureux and J.L. Parsons, 1967. Isolation, characterization and synthesis of linatine. A vitamin B6 antagonist from flaxseed (*Linum usitatissimum*). *Biochemistry*, 6: 170-177.
31. Summers, J.D. and S. Leeson, 1978. Feeding value and amino acid balance of low-glucosinolate *Brassica napus* (Cv. Tower) rapeseed meal. *Poult. Sci.*, 57: 235-241.
32. Oomah, B.D., G. Mazza and E.O. Kenaschuk, 1992. Cyanogenic compounds in flaxseed. *J. Agric. Food Chem.*, 40: 1346-1348.
33. Talebali, H. and A. Farzinpour, 2005. Effect of different levels of full-fat canola seed as a replacement for soybean meal on the performance of broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci.*, 4: 982-985.
34. Summers, J.D., S. Leeson and D. Spratt, 1988. Canola meal and egg size. *Can. J. Anim. Sci.*, 68: 907-913.
35. Jamroz, D. and C. Kamel, 2002. Plant extracts enhance broiler performance in non-ruminant nutrition: Antimicrobial agents and plant extracts on immunity, health and performance. *J. Anim. Sci.*, 80: 41-46.
36. Hernandez, F., J. Madrid, V. Garcia, J. Orengo and M.D. Megias, 2004. Influence of two plant extracts on broilers performance, digestibility and digestive organ size. *Poult. Sci.*, 83: 169-174.
37. Schildknecht, E., T. Curtis, G.G. Untawale, A. Bendich and C. Gerenze, 1986. Effect of High Levels of Ascorbic Acid in Broiler Chickens Infected with Coccidiosis During Stress. In: *Research in Avian Coccidiosis*. Mc Dougald, L.R., L.P. Joyner and P.L. Long, (Eds.), University of Georgia, Athens, Georgia..
38. Kassim, H. and I. Norziha, 1995. Effects of ascorbic acid (Vitamin C) supplementation in layer and broiler diets in the tropics. *Asian Aus. J. Anim. Sci.*, 8: 607-610.
39. Combs, G.F., 1992. Vitamin C. in *Vitamins*. Academic Press, Inc., New York, pp: 223-249.
40. Njoku, P.C., 1986. Effect of dietary ascorbic acid (vitamin C) supplementation on the performance of broiler chickens in a tropical environment. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 16: 17-24.
41. Loetscher, Y., M. Kreuzer and R.E. Messikommer, 2013. Oxidative stability of the meat of broilers supplemented with rosemary leaves, rosehip fruits, chokeberry pomace and entire nettle and effects on performance and meat quality. *Poult. Sci.*, 92: 2938-2948.
42. Scaife, J.R., J. Moyo, H. Galbraith, W. Michie and V. Campbell, 1994. Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty acid composition and growth of female broilers. *Br. Poult. Sci.*, 35: 107-118.
43. Crespo, N. and E. Esteve-Garcia, 2002. Nutrient and fatty acid deposition in broilers fed different dietary fatty acid profiles. *Poult. Sci.*, 81: 1533-1542.
44. Ajuyah, A.O., K.H. Lee, R.T. Hardin and J.S. Sim, 1991. Changes in the yield and in the fatty acid composition of whole carcass and selected meat portions of broiler chickens fed full-fat oil seeds. *Poult. Sci.*, 70: 2304-2314.
45. Crespo, N. and E. Esteve-Garcia, 2001. Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poult. Sci.*, 80: 71-78.
46. Rahimi, S., S.K. Azad and M.A.K. Torshizi, 2011. Omega-3 enrichment of broiler meat by using two oil seeds. *J. Agric. Sci. Technol.*, 13: 353-365.
47. Ozpinar, H., R. Kahraman, I. Abas, H.C. Kutay, H. Eseceli and M.A. Grashorn, 2002. Effect of dietary fat source on n-3 fatty acid enrichment of broiler meat. *Arch. Geflugelk.*, 67: 57-64.
48. Kahraman, R., H. Ozpinar, I. Abas, H.C. Kutay, H. Eseceli and M.A. Grashorn, 2004. Effects of different dietary oil sources on fatty acid composition and malondialdehyde levels of thigh meat in broiler chickens. *Arch. Geflugelk.*, 68: 77-86.
49. Shen, Y., D. Feng, M.Z. Fan and E.R. Chavez, 2005. Performance, carcass cut-up and fatty acids deposition in broilers fed different levels of pellet-processed flaxseed. *J. Sci. Food Agric.*, 85: 2005-2014.
50. Salamatdoustnobar, R., K. Nazeradi, H. Aghdamshahriyar, A. Ghorbani and P. Fouladi, 2007. The ratio of $\omega 6$: $\omega 3$ fatty acids in broiler meat fed with canola oil and choline chloride supplement. *J. Anim. Vet. Adv.*, 6: 893-898.
51. Chanmugam, P., M. Boudreau, T. Boutte, R.S. Park, J. Hebert, L. Berrio and D.H. Hwang, 1992. Incorporation of different types of n-3 fatty acids into tissue lipids of poultry. *Poult. Sci.*, 71: 516-521.
52. Lopez-Ferrer, S., M.D. Baucells, A.C. Barroeta, J. Galobart and M.A. Grashorn, 2001. N-3 enrichment of chicken meat. 2. Use of precursors of long-chain polyunsaturated fatty acids: Linseed oil. *Poult. Sci.*, 80: 753-761.
53. Kamran Azad, S., S. Rahimi and M.A.K. Torshizi, 2009. Effect of dietary oil seeds on n-3 fatty acid enrichment, performance parameters and humoral immune response of broiler chickens. *Iran. J. Vet. Res.*, 10: 158-165.
54. Gonzalez-Ortiz, G., R. Sala, E. Canovas, N. Abed and A.C. Barroeta, 2013. Consumption of dietary n-3 fatty acids decreases fat deposition and adipocyte size, but increases oxidative susceptibility in broiler chickens. *Lipids*, 48: 705-717.
55. Lopez-Ferrer, S., M.D. Baucells, A.C. Barroeta, A. Blanch and M.A. Grashorn, 1997. ω -enrichment of chicken meat: Use of fish, rapeseed and linseed oils. *Proceedings of the 12th European Symposium on Quality of Poultry Meat*, September 21-26, 1997, Poznan, Poland..

56. Jensen, C., L.H. Skibsted, K. Jakobsen and G. Bertelsen, 1995. Supplementation of broiler diets with all-rac- α - or a mixture of natural source RRR- α - γ δ -tocopheryl acetate. 2. Effect on the oxidative stability of raw and precooked broiler meat products. *Poult. Sci.*, 74: 2048-2056.
57. Botsoglou, N.A., E. Christaki, P. Florou-Paneri, I. Giannenas, G. Papageorgiou and A.B. Spais, 2004. The effect of a mixture of herbal essential oils or α -tocopheryl acetate on performance parameters and oxidation of body. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 34: 52-61.
58. Govaris, A., E. Botsoglou, A. Moulas and N. Botsoglou, 2010. Effect of dietary olive leaves and rosemary on microbial growth and lipid oxidation of turkey breast during refrigerated storage. *South Afr. J. Anim. Sci.*, 40: 145-155.
59. Pokorny, J., Z. Reblova and W. Janitz, 1998. Extracts from rosemary and sage as natural antioxidants for fats and oils. *Czech. J. Food. Sci.*, 16: 227-234.