



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة ابن خلدون تيارت
Université Ibn Khaldoun – Tiaret
كلية علوم الطبيعة والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité : Sciences de la Nature et de la Vie

Présenté par M^{me} :
BENAMIROUCHE Karima

Impact de l'utilisation des produits biologiques en
élevage avicole sur la santé de l'animal et la qualité de
ses produits

Soutenue publiquement le 27 octobre 2020

Devant le Jury composé de :

Président	Mr. GUEMOUR Djilali	Professeur à l'université de Tiaret
Examineur	Mr. BADIS Abdelmalek	Professeur à l'université de Blida
Examineur	Mr. LOUACINI Brahim Kamal	M.C.A à l'université de Tiaret
Examineur	Mr. MOHAMED SAID Ramdane	M.C.A à l'université de Blida
Directeur de thèse	Mr. NIAR Abdellatif	Professeur à l'université de Tiaret
Co-directeur de thèse	Mr. GUETARNI Djamel	Professeur à l'université de Blida

Année Universitaire 2019-2020

REMERCEIMENTS

*Je tiens à remercier mon directeur de thèse Monsieur **NIAR Abdellatif**, Professeur à l'université Ibn Khaldoun - Tiaret, pour la confiance qu'il m'a témoignée en acceptant la direction de mes travaux. Soyez rassuré Monsieur de ma plus haute considération.*

*Mes remerciements s'adressent particulièrement à mon co-directeur de thèse Monsieur **GUETARNI Djamel**, Professeur à l'université de Blida 1, qui m'a initiée à l'univers de la recherche scientifique. Son encadrement, sa rigueur scientifique et ses conseils avisés ont contribué à la réussite de cette thèse. Veuillez trouver en ce travail l'expression de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect.*

J'exprime tous mes remerciements à l'ensemble des membres de mon jury pour avoir accepté de consacrer leur temps pour juger ce travail :

*Monsieur **GUEMOUR Djilali** Professeur à l'université Ibn Khaldoun - Tiaret, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury.*

*Monsieur **BADIS Abdelmalek** Professeur à l'université de Blida 1, d'avoir participé à ma formation de Magister et ensuite de m'avoir fait l'honneur de faire partie de mon jury.*

*Monsieur **LOUACINI Brahim Kamal** Maitre de conférences A à l'université Ibn Khaldoun - Tiaret, de l'intérêt qu'il a apporté à ce travail, et en acceptant d'être examinateur.*

*Monsieur **MOHAMED SAID Ramdane** Maitre de conférences A à l'Université de Blida 1, de l'honneur qu'il m'a fait d'avoir accepté d'examiner ce manuscrit.*

Qu'ils veuillent bien trouver ici le témoignage de ma respectueuse gratitude.

*J'exprime également tous mes remerciements et ma reconnaissance à l'ensemble du personnel du **CRAPC**. Une partie des analyses de cette thèse ont d'ailleurs été réalisées au niveau des laboratoires du **CRAPC**.*

*Un grand merci à Madame **BAZZIZ-AMMI Djamila**, Maitre de conférences à l'Institut Vétérinaire de Blida, pour sa grande disponibilité et ses conseils qui m'ont permis d'améliorer la qualité de mes travaux.*

*Je tiens également à remercier ma chère amie **CHARFAOUI Maya**, Maitre de recherche en sein de la division Produits naturels et Sciences des Aliments (**CRAPC**), pour ses orientations et remarques constructives durant la rédaction de l'article.*

Je tiens aussi à remercier tous les membres de l'équipe vétérinaire de Blida spécialement Madame HAZIL Nadia, Maître-assistant à l'Institut Vétérinaire de Blida.

Enfin, ma profonde sympathie s'adresse à toute et tous qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

B.K,

*A mes parents,
A mon époux,
A mes frères et sœurs,
Et à ma famille...*

RESUME

L'utilisation des produits biologiques suscite un intérêt grandissant en production avicole suite à l'apparition de la résistance bactérienne ainsi que la présence des résidus d'antibiotiques dans la viande. L'objectif du présent travail est d'évaluer l'effet d'une supplémentation en probiotiques (*Pediococcus acidilactici* et *Saccharomyces cerevisiae*) et en extrait de *Yucca schidigera* sur la qualité de la viande des poulets de chair.

Pour ce faire, nous avons initié, dans un premier temps, une étude *in vitro* sur l'interaction entre les deux probiotiques *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* et l'effet de l'extrait de *Yucca schidigera* doué d'une activité anticoccidienne sur leur croissance en culture mixte. Selon les paramètres de croissance et de l'évolution du pH, il existe une interaction synergique entre les deux probiotiques, alors que l'extrait de *Yucca schidigera* a favorisé la croissance de *P. acidilactici* et a ralenti celle de *S. cerevisiae*. Dans un second temps, nous avons étudié *in vivo* l'impact de cette association en supplémentation alimentaire sur la qualité de viande des poulets de chair. Les analyses physicochimiques des filets ont montré que cette association a augmenté le pH ($p < 0,05$) et n'a montré aucun effet significatif sur les pertes en eau ($p > 0,05$). En ce qui concerne la qualité microbiologique, la quantification de la flore mésophile totale, des entérobactéries et de la flore lactique des filets à 2, 4, 6 et 9 jours après abattage a révélé une charge importante des flores des filets du groupe des poulets recevant cette association à 2 jours *post-mortem* par rapport groupe témoin. Des caractéristiques nutritionnelles des muscles du filet et de la cuisse ont été modulé positivement par l'ajout de cette association ; une augmentation des teneurs en protéines, en Fe, en Zn, en Na, en P et une diminution de celles en lipides, en Cu et en Cr ont été observées ($p < 0,05$). Les proportions d'acide stéarique et des acides gras saturés ont été réduites ($p < 0,05$), tandis que celles de l'acide linoléique et des acides gras polyinsaturés ont été augmentées ($p < 0,05$). De plus, d'addition de cette association a permis d'améliorer l'activité de piégeage des radicaux 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle dans les muscles du filet et de la cuisse ($p < 0,05$).

En conclusion, la supplémentation de l'alimentation des poulets de chair avec les probiotiques (*P. acidilactici* et *S. cerevisiae*) et l'extrait de *Yucca schidigera* pour améliorer les performances zootechniques et maîtriser le risque coccidien a un impact positif sur la qualité de la viande.

Mots clés : acides gras, cuisse, filet, *Pediococcus acidilactici*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Yucca schidegera*.

ABSTRACT

The use of natural feed supplements is generating rising interest in poultry production following the appearance of bacterial resistance and the presence of antibiotic residues in meat. The objective of the present work is to evaluate the effect of dietary supplementation of probiotics (*Pediococcus acidilactici* and *Saccharomyces cerevisiae*) and *Yucca schidigera* extract on broiler meat quality.

To achieve this, we initiated, as a first step, *in vitro* study on the interaction between two probiotics *P. acidilactici* and *S. cerevisiae* and the effect of *Yucca schidigera* extract which has an anticoccidial activity on their growth in mixed culture. According to the results of growth parameters and pH evolution, there is a synergistic interaction between two probiotics, whereas, the *Yucca* extract favored *P. acidilactici* growth and slowed that of *S. cerevisiae*. As a second step, we studied *in vivo* the impact of dietary supplementation with this association on broiler meat quality. Physicochemical analyzes of breast showed that this association increase pH ($p < 0.05$) and has no significant effect on water losses ($p > 0.05$). With respect to microbiological quality, the quantification of total mesophilic flora, *Enterobacteria* and lactic flora of breast muscle at 2, 4, 6 and 9 days after slaughter revealed a high microbial load in the group of chickens receiving this association at 2 days *post-mortem*. The nutritional characteristics of breast and thigh muscles were modulated positively by addition of this association, an increase of the protein, Fe, Zn, Na, P contents and a decrease of those in lipids, Cu and Cr were observed ($p < 0.05$). The proportions of stearic acid and saturated fatty acids were reduced ($p < 0.05$), whereas those of linoleic acid and polyunsaturated fatty acids were increased ($p < 0.05$). In addition, the use of this combination has improved radical 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl scavenging activity in breast and thigh muscles ($p < 0.05$).

In conclusion, dietary supplementation of probiotics (*P. acidilactici* and *S. cerevisiae*) and *Yucca schidigera* extract to improve growth performance and control coccidian risk has a positive impact on broiler meat quality.

Key words: breast, fatty acids, *Pediococcus acidilactici*, *Saccharomyces cerevisiae*, thigh *Yucca schidigera*.

الملخص

إن استخدام المنتجات الطبيعية في إنتاج الدواجن يلقي إهتماماً متزايداً بعد ظهور المقاومة البكتيرية ووجود بقايا المضادات الحيوية في اللحم. الهدف من هذا العمل هو تقييم أثر إضافة المعززات الحيوية (*Pediococcus acidilactici* و *Saccharomyces cerevisiae*) ومستخلص *Yucca schidigera* على جودة لحم الدجاج. للقيام بذلك، بدأنا أولاً دراسة في المختبر (*in vitro*) حول طبيعة العلاقة بين المعززات الحيوية *P. acidilactici* و *S. cerevisiae* وتأثير مستخلص *Yucca schidigera* المعروفة بنشاطها المضاد للكوكسيديا على نموها. وفقاً لمعايير النمو وتطور الأس الهيدروجيني، هناك تنافس بين المعززات الحيوية، في حين أن مستخلص *Yucca schidigera* يحفز نمو *P. acidilactici* في حين يبطئ نمو *S. cerevisiae*. في خطوة ثانية، درسنا في الجسم الحي (*in vivo*) تأثير استعمال هذه المكملات الغذائية مع بعضها البعض على جودة لحم الدجاج. أظهرت التحليلات الفيزيائية والكيميائية للحم صدر الدجاج أن استخدام هذه المكملات معاً زاد من درجة الحموضة ($P > 0.05$) ولم يظهر أي تأثير كبير على خسارة الماء ($P < 0.05$). فيما يتعلق بالجودة الميكروبيولوجية، كشف التقدير الكمي لبكتيريا FAMT والبكتيريا المعوية والبكتيريا اللبنية للحم صدر الدجاج في الأيام 2، 4، 6، و9 بعد الذبح وجود نسبة عالية من البكتيريا في صدور الدجاج للعينات التجريبية بالمقارنة مع العينة شاهد في اليوم الثاني بعد الذبح. فحين تم تعديل الخصائص الغذائية لصدور الدجاج وأفاذاها بشكل إيجابي من خلال إضافة هذا المزيج من المكملات؛ زيادة في البروتين، Fe، Zn، Na و P وانخفاض في الدهون، Cu و Cr ($P > 0.05$). كذلك لوحظ انخفاض نسب *acide stéarique* والأحماض الدهنية المشبعة ($P > 0.05$)، وزيادة نسب *acide linoléique* والأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة ($P > 0.05$). بالإضافة إلى ذلك، مكنت إضافة هذه الرابطة من تحسين نشاط الكسح لجذور 1,1-1.1 *diphényl-2 picrylhydrazyle* في عضلات الصدر والفخذ ($P > 0.05$). في الختام، إن إضافة المعززات الحيوية (*P. acidilactici* و *S. cerevisiae*) ومستخلص *Yucca schidigera* لتحسين مردودية الانتاج والحفاظ على الصحة (كوكسيديا)، لها تأثير إيجابي على جودة لحوم الدجاج.

الكلمات المفتاحية: الأحماض الدهنية، الفخذ، الصدر، *Saccharomyces cerevisiae*، *Pediococcus acidilactici*، *Yucca schidigera*.

LISTE DES ABREVIATIONS

ACC	Acetyl-CoA carboxylase
ACI	Indice anticoccidien
AGMI	Acides monoinsaturés
AGPI	Acides polyinsaturés
AGS	Acides gras saturés
ANOVA	Analysis of variance
<i>ante</i>	<i>ante mortem</i>
ARNm	acide ribonucléique messenger
aw	Activité d'eau
CAT	Catalase
D6DES	D-6 desaturase
DFD	Dark, Firm & Dry
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
ESBL	<i>Salmonella</i> productrices de β -lactamase
FAO	Food and Agriculture Organisation
FAS	Fatty acid synthase
FDA	Food and Drug Administration
GC/MS	chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse
GRAS	Generally recognized as safe
IFN-c	Interféron c
IgG	Immunoglobulines G
IgM	Immunoglobulines M
IL-1β	Interleukine-1 Beta
KH₂PO₄	Potassium phosphate monobasique
Mqt	Quintaux
MRS	Man, Rogosa et Sharpe
n3	Acides gras oméga 3
n6	Acides gras oméga 6
Na₂CO₃	Carbonate de sodium
NaCl	Chlorure de sodium

NDV	Virus de la maladie de Newcastle
OMS	Organisation mondiale de la Santé
PAM	Plantes aromatiques et médicinales
PCA	Plate Count Agar
pH	Potential d'hydrogène
<i>pm</i>	<i>post mortem</i>
PSE	Pale, Soft & Exudative
PTFE	Polytétrafluoroéthylène
SAA	Spectrométrie d'absorption atomique
SARM	<i>Staphylococcus aureus</i> résistant à la méthicilline
SOD	Superoxide dismutase
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
T-AOC	Total Antioxidant Capacity Colorimetric
TSE	Tryptone Sel Eau
UFC	Unité formant colonie
VRBG	Cristal violet et au rouge neutre

LISTE DES FIGURES

Partie bibliographique

Figure 1.1 : Distribution géographique de la résistance antimicrobienne en Algérie, représentée par la proportion de composés antimicrobiens présentant une résistance supérieure à 50% (anonyme 1).....	06
Figure 2.1 : Modes d'action et activités bénéfiques des probiotiques chez le poulet.....	12
Figure 2.2 : <i>Yucca schidigera</i> : plante et fleur.....	16
Figure 3.1 : Diagramme de découpe de viande de volailles.....	22
Figure 3.2 : Qualités de la viande en fonction de l'évolution <i>post mortem</i> du pH (PSE : Pale, Soft & Exudative, DFD : Dark, Firm & Dry).....	26

Partie expérimentale

Figure 1.1 : Diagramme de la culture pure et mixte de <i>P. acidilactici</i> et de <i>S. cerevisiae</i>	32
Figure 1.2 : Illustration de l'effet de différentes concentrations l'extrait de <i>Yucca schidigera</i> sur la croissance de <i>P. acidilactici</i> et <i>S. cerevisiae</i> au milieu solide.....	33
Figure 1.3 : Diagramme de la culture mixte des probiotiques en présence et en absence de l'extrait de <i>Yucca schidigera</i>	35
Figure 1.4 : Suivi de la croissance de <i>P. acidilactici</i> et de <i>S. cerevisiae</i> en culture pure et en culture mixte.....	36
Figure 1.5 : Suivi de croissance de <i>P. acidilactici</i> et <i>S. cerevisiae</i> en culture mixte en présence et en absence de l'extrait de <i>Yucca schidigera</i>	40
Figure 2.1 : Schéma expérimental de l'évaluation de la qualité technologique de la viande	45
Figure 2.2 : Pertes en eau des échantillons de filets des deux régimes.....	49
Figure 2.3 : Courbes de l'évolution de la flore bactérienne des échantillons de filets au cours d'une conservation réfrigéré à + 4°C	53
Figure 3.1 : Effet du régime sur la composition chimique des muscles.....	65
Figure 3.2 : Effet du régime sur la composition en minéraux des muscles du filet et de la cuisse.....	71
Figure 3.3 : Effet du régime sur la composition des acides gras des muscles.....	77
Figure 3.4 : Effet du régime sur l'activité de piégeage du radical DPPH dans les muscles du filet et de la cuisse.....	79
Figure 3.5 : Structure du DPPH avant et après la réaction avec un antioxydant (Anonyme 2)	79

LISTE DES TABLEAUX

Partie bibliographique

Tableau 2.1 : Les probiotiques utilisés en alimentation des volailles.....	09
Tableau 3.1 : Principales caractéristiques nutritionnelles de différents types de viandes (pour une portion de 100g de viande).....	23

Partie expérimentale

Tableau 1.1 : Diamètres des zones d'inhibitions de la croissance de <i>P. acidilactici</i> et <i>S. cerevisiae</i> en présence des concentrations de l'extrait de <i>Y. schidigera</i>	39
Tableau 2.1 : Composition du régime alimentaire de base	44
Tableau 2.2 : Résultats des analyses physicochimiques des échantillons de filets	49
Tableau 2.3 : Evolution de la flore bactérienne des échantillons de filets au cours d'une conservation réfrigéré à + 4°C	52
Tableau 3.1 : Composition chimique des muscles du filet et de la cuisse	64
Tableau 3.2 : Composition en minéraux (mg/100g de viande) des muscles du filet et de la cuisse.....	69
Tableau 3.3 : Composition en acides gras (%) des muscles du filet et de la cuisse.....	74
Tableau 3.4 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH des solutions aqueuses des muscles du filet et de la cuisse.....	78

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Filière avicole en Algérie et problèmes de sécurité sanitaire	
1. Filière avicole en Algérie.....	03
2. Coccidiose et moyen de lutte.....	03
3. Modalités d'utilisation des antibiotiques.....	04
4. Risques pour la santé publique.....	05
4.1. Résidus dans la viande.....	05
4.2. Bactéries résistantes aux antibiotiques.....	06
chapitre 2 : Les alternatives aux antibiotiques : les probiotiques et <i>Yucca schidigera</i>	
1. Les probiotiques.....	08
1.1. Critères de sélection des probiotiques.....	09
1.2. Microorganismes probiotiques	09
1.2.1. <i>Pediococcus acidilactici</i>	10
1.2.2. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	10
1.3. Mode d'action des probiotiques	11
1.4. Effets bénéfiques des probiotiques chez le poulet de chair.....	13
1.4.1. Effet sur les performances zootechniques.....	13
1.4.2. Effet sur la santé intestinale.....	13
1.4.3. Effets sur la qualité de carcasse et de viande.....	14
1.4.3.1. Effet des probiotiques sur les caractéristiques physico-chimiques de viande de poulets de chair.....	14
1.4.3.2. Influence des probiotiques sur la composition en acides gras et l'oxydation des lipides.....	15
2. Les extraits de plantes : <i>Yucca schidigera</i>	15
2.1. <i>Yucca schidigera</i>	16
2.2. Substances bioactives.....	17
2.2.1. Les saponines.....	17
2.2.2. Les composées phénoliques.....	18
2.3. Effets de <i>Yucca schidigera</i> en production de poulet de chair.....	18

2.3.1. Effet anticoccidien.....	18
2.3.2. Effet sur les performances zootechniques et la qualité de la litière.....	19
2.3.2. Effet sur les fonctions immunitaires et antioxydantes.....	19
2.3.3. Effet sur la qualité de la carcasse et de la viande.....	20
Chapitre 3 : Qualité de la viande de poulet de chair	
1. Viande de volaille.....	22
2. Caractéristiques nutritionnelles de la viande de poulet.....	22
2.1. Protéines.....	23
2.2. Lipides.....	23
2.3. Valeur énergétique.....	24
2.4. Minéraux.....	24
2.5. Vitamines.....	24
3. Propriétés technologiques de la viande de poulet.....	24
3.1. Le pH.....	25
3.2. Capacité de rétention en eau.....	26
3.3. La couleur.....	27
4. Qualité hygiénique et sanitaire de la viande.....	27
5. Alimentation des poulets de chair et qualité de la viande.....	28

PARTIE EXPERIMENTALE

Objectif de thèse	29
Chapitre 1 : Etude de l'interaction entre les probiotiques <i>Pediococcus acidilactici</i> et <i>Saccharomyces cerevisiae</i> et l'effet de l'extrait de <i>yucca schidigera</i> sur leur croissance en culture mixte - essai in vitro	
1. Matériel et méthodes	30
1.1. Microorganismes et milieux de culture.....	30
1.2. Matériel végétal.....	30
1.3. Evaluation de l'interaction entre <i>Pediococcus acidilactici</i> et <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30
1.3.1. Revivification des souches.....	30
1.3.2. Préparation des <i>inocula</i>	31
1.3.3. Culture pure et mixte.....	31
1.3.4. Paramètres de croissance.....	31
1.4. Evaluation de l'effet de l'extrait de <i>Yucca schidigera</i> sur la croissance de l'association de <i>Pediococcus acidilactici</i> et <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	33
1.4.1. Préparation de la gamme de concentration d'extrait de <i>Yucca schidigera</i>	33
1.4.2. Test de sensibilité.....	33
1.4.3. Culture mixte des probiotiques en présence et en absence de l'extrait de <i>Yucca schidigera</i>	34
1.4.4. Paramètres de croissance.....	34
2. Résultats et discussion	36
2.1. Evaluation de l'interaction entre <i>Pediococcus acidilactici</i> et <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	36

2.2. Evaluation de l'effet de l'extrait de <i>Yucca schidigera</i> sur la croissance de <i>Pediococcus acidilactici</i> et <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en culture mixte.....	38
2.2.1. Test de sensibilité.....	38
2.2.2. Evaluation de l'effet de l'extrait de <i>Yucca schidigera</i> sur la croissance de <i>Pediococcus acidilactici</i> et <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	39
Chapitre 2 : Effet d'un régime supplémenté de probiotiques et de l'extrait de <i>Yucca schidigera</i> sur la qualité technologique et microbiologique des muscles du filet de poulet de chair	
1. Matériel et méthodes	43
1.1. Animaux et aliment.....	43
1.2. Abattage et prélèvement des échantillons.....	45
1.3. Méthodes.....	45
1.3.1. Qualité technologique.....	45
1.3.1.1. pH.....	46
1.3.1.2. Perte à la conservation.....	46
1.3.1.3. Perte à la cuisson.....	46
1.3.1.4. Perte à la décongélation.....	46
1.3.2. Qualité microbiologique.....	47
1.3.2.1. Prise d'essai et dilutions décimales.....	47
1.3.2.2. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale.....	47
1.3.2.3. Recherche et dénombrement des entérobactéries.....	47
1.3.2.4. Recherche et dénombrement de la flore lactique.....	48
1.3.4. Analyse statistique.....	48
2. Résultats et discussion	49
2.1. Qualité technologique.....	49
2.2. Qualité microbiologique.....	51
Chapitre 3 : Effet d'un régime supplémenté de probiotiques et de l'extrait de <i>Yucca schidigera</i> sur la qualité nutritionnelle des muscles du filet et de la cuisse du poulet de chair	
1. Matériel et méthodes	56
1.1. Prélèvement des échantillons.....	56
1.2. Composition chimique.....	56
1.2.1. Détermination de l'humidité	56
1.2.2. Teneur en cendres.....	56
1.2.3. Dosage des protéines.....	57
1.2.4. Dosage des lipides	57
1.3. Composition en minéraux.....	58
1.3.1. Détermination de Cu, Fe, Zn, K, Na, Mg et Cr.....	58
1.3.2. Détermination du phosphore.....	59
1.4. Profil en acides gras.....	60
1.4.1. Préparation des esters méthyliques	60
1.4.2. Analyse chromatographique.....	60
1.5. Statut antioxydant de la viande.....	61
1.5.1. Préparation de l'extrait aqueux de la viande.....	61

1.5.2. Mesure de l'activité antioxydante par DPPH.....	61
1.6. Analyse statistique.....	62
2. Résultats et discussion.....	63
2.1. Composition chimique	63
2.2. Composition en minéraux.....	68
2.3. Profil en acides gras.....	73
2.4. Statut antioxydant de la viande.....	78
Conclusion générale.....	81
Références bibliographiques	
Annexes	
Publication	

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

En Algérie, l'aviculture est l'une des principales filières du secteur agricole algérien. Elle représente, en outre, un enjeu économique et social ; une place de choix dans l'économie nationale en général (1,1% du PIB national) et dans l'économie agricole (12% du Produit agricole brut), en particulier et une source d'approvisionnement privilégiée en protéines animales des populations urbaines (Kaci, 2015). L'accroissement de la production avicole est dû à une maîtrise de la conduite des élevages, à une meilleure optimisation nutritionnelle des régimes alimentaires et à l'utilisation des facteurs de croissance qui sont surtout des antibiotiques.

En raison de ces effets bénéfiques sur la santé intestinale et la productivité des élevages, l'utilisation des antibiotiques est devenue une pratique nécessaire et régulière en production avicole, particulièrement en Algérie. L'un des principaux modes d'action des antibiotiques est leur capacité à modifier l'équilibre microbien de l'intestin, réduisant ainsi les agents pathogènes (Butaye *et al.*, 2003) et à améliorer l'efficacité alimentaire et les performances. Toutefois, l'utilisation répétée de certains antibiotiques dans les traitements curatifs et / ou préventifs en aviculture a amené plusieurs bactéries pathogènes à développer des résistances à ces antibiotiques ainsi qu'à l'apparition des résidus d'antibiotiques dans la chaîne alimentaire (Yassin *et al.*, 2017). En Algérie, Mezali et Hamdi, (2012) ont révélé que 90,32% des isolats de *Salmonella* provenant des viandes de volaille, des viandes rouges et de produits à base de viande sont résistants à au moins un antimicrobien, dont 32,26% ont montré une multi-résistance aux médicaments. En conséquence, au cours des dix dernières années, plusieurs stratégies alternatives visant à éliminer ou à réduire l'utilisation d'antibiotiques en élevage de volailles ont suscité un intérêt croissant. L'utilisation de probiotiques et des extraits de plantes est particulièrement intéressante (Kheirabadi *et al.*, 2014 et Gaggia *et al.*, 2010).

Les probiotiques se définissent comme un supplément alimentaire de microbes vivants qui a un effet bénéfique sur l'animal hôte. Il a été rapporté que l'utilisation des probiotiques dans l'alimentation de poulet de chair a entraîné une amélioration significative des performances zootechniques, du système immunitaire et de la qualité de viande (Vittorio *et al.*, 2005, Djezzar *et al.*, 2013, Hossain *et al.*, 2014 et Chou *et al.*, 2017).

En effet, l'extrait de la plante *Yucca schidigera* est l'un des principales sources de saponines stéroïdiennes. Plusieurs études ont montré que l'utilisation de cette plante comme complément

Introduction

alimentaire chez les poulets de chair a contribué à l'amélioration des performances zootechniques et la qualité de litière (Sahoo *et al.*, 2015 et Sun *et al.*, 2017), à la réduction des coûts de production (Sariozkan *et al.*, 2015) et surtout à la gestion du risque de coccidiose (Djezzar *et al.*, 2014). Toutefois, à notre connaissance, peu de données sont actuellement disponibles sur l'effet de *Yucca schidigera* en tant que complément alimentaire sur la qualité de la viande.

Du point de vue nutritionnel, la viande de poulet est une source précieuse de protéines, de lipides, de minéraux et de vitamines. Des travaux antérieurs ont témoigné que le niveau et la nature de ces composés, ainsi que la qualité de la viande, est non seulement déterminé par le génotype, la composition de l'aliment et l'âge, mais également par les additifs naturels ajoutés dans les régimes alimentaires (Hossain *et al.*, 2014 et Kim *et al.*, 2018). A titre d'exemple, les phytobiotiques augmentent la biodisponibilité de certains micro et macroéléments, qui s'accumulent plus facilement dans les muscles (El-yasiry *et al.*, 2017).

Récemment, l'industrie des aliments pour animaux a montré un intérêt croissant pour le développement des aliments fonctionnel contenant des combinaisons de produits naturels. Il a été démontré que l'utilisation combinée des probiotiques peut provoquer une inhibition plus importante de la croissance des agents pathogènes que celle produite par une seule souche de *Lactobacillus* (Chapman *et al.*, 2012). En outre, les travaux de Kim *et al.*, (2007) ont révélé que la combinaison des extraits de plantes et de *lactobacillus* pourrait être une alternative aux antibiotiques pour améliorer les performances des poulets de chair. En effet, dans nos travaux antérieurs (Djezzar *et al.*, 2012), nous avons montré que l'utilisation de *Pediococcus acidilactici* permet certes une amélioration des performances zootechniques mais son efficacité demeure limitée à cause du problème de la coccidiose. Cette maladie intestinale causée par des protozoaires du genre *Eimeria* ayant un impact économique le plus important chez la volaille dans le monde (Chapman *et al.*, 2013). Nos travaux sur l'utilisation combinée de probiotique *P. acidilactici* et de l'anticoccidien à base de l'extrait de *Yucca schidigera* dans l'aliment a permis en plus de l'amélioration des performances la maîtrise du risque coccidien chez les poulets de chair (Djezzar *et al.*, 2014).

Dans le présent travail, nous nous proposons de vérifier l'hypothèse que la supplémentation en probiotiques (*P. acidilactici* et *S. cerevisiae*) et en extrait de *Yucca schidigera* dans l'alimentation pour améliorer les performances zootechniques et maîtriser le risque coccidien en assurant le bien-être et la santé de l'animal puisse avoir un impact positif sur la qualité de viande chez le poulet de chair.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1
FILIERE AVICOLE EN ALGERIE ET PROBLEMES DE
SECURITE SANITAIRE

CHAPITRE 1

FILIERE AVICOLE EN ALGERIE ET PROBLEMES DE SECURITE SANITAIRE

1. Filière avicole en Algérie

En Algérie, et durant les trois dernières décennies, la filière avicole a atteint un stade de développement qui lui confère désormais une place de choix dans l'économie nationale. Cet essor de la filière contribue à la création d'emplois. Selon les professionnels de la filière, celle-ci emploie environ 100 000 personnes (Kaci, 2015). La viande blanche et les œufs de consommation sont une source de protéines de qualité et peu onéreuse comparativement aux viandes rouges. Ces produits constituent la source d'approvisionnement de prédilection des catégories sociales à bas et moyens revenus (CREAD, 2018).

En terme de consommation, la volaille est le deuxième type de viande le plus consommé au monde, représentant environ 35% de la consommation totale de viande comparé au porc et au bœuf (36% et 22%, respectivement) (FAO, 2014). En effet, selon les statistiques du Ministère de l'Agriculture et du développement rural (MADR) la production nationale en viande blanche a connu une évolution considérable en 2017, atteignant 5,3 millions de quintaux (Mqt), contre 2,092 Mqt en 2009, soit une augmentation de 153%. Ceci a permis d'améliorer la ration alimentaire moyenne en protéines animales d'une grande frange de la population Algérienne. Cependant, avec 12 Kg de viande de poulet par personne et par an (MADR, 2011), l'algérien demeure parmi les plus faibles consommateurs, loin derrière l'Européen avec ses 23,7 Kg, le brésilien (37 Kg), l'américain (52,6 Kg) ou encore le Marocain (15,9 kg) et le Tunisien (18,6 kg) (OFIVAL, 2011).

L'accroissement de la production est dû à l'intensification des élevages. Toutefois, plusieurs facteurs limitent la filière dont, des contraintes alimentaires, commerciales, techniques ainsi que pathologiques. En fait, l'aviculture industrielle est soumise à une forte pression pathologique qui limite son épanouissement. Parmi les affections, la coccidiose, la pathologie la plus récurrente dans nos élevages avicoles.

2. Coccidiose et moyen de lutte

La coccidiose est une maladie infectieuse qui affecte la production de volaille, l'incidence économique de la maladie est estimée à plus de deux milliards de dollars par an (Williams, 1999). C'est une maladie parasitaire causée par un protozoaire du genre *Eimeria*. Chez le

poulet de chair, les coccidies *E. acervulina*, *E. maxima* et *E. tenella* sont les espèces de la plus grande importance économique pour la production. En Algérie, selon l'étude de Debbou-Iouknane *et al.* (2018) menée à Bejaia, *E. acervulina* et *E. tenella* ont été les principales espèces infectant les poulets dans les exploitations avicoles visitées (32,05% et 26,92%, respectivement).

On distingue 2 phases du cycle biologique : sexuée et asexuée. La multiplication asexuée ou schizogonie a lieu dans les cellules épithéliales intestinales. La multiplication sexuée ou gamogonie aboutit aux œufs fécondés ou ookystes, rejetés dans l'intestin puis dans le milieu extérieur. Il s'agit d'un cycle diphasique monoxène direct. La période prépatente (délai entre ingestion du parasite et excrétion des ookystes dans les fientes) est de 4 à 7 jours (Williams, 1999).

La coccidiose se caractérise par une réduction de la consommation et de gain de poids, une modification de l'emplument, des diarrhées qui peuvent être sanguinolentes. Cette pathologie, largement associée à la destruction de l'épithélium intestinal, est responsable d'une diminution de l'absorption des nutriments dans le cas des coccidies affectant l'intestin grêle ou provoque des hémorragies qui peuvent être mortelles dans le cas d'infections sévères par *Eimeria necatrix* ou l'espèce caecale *E. tenella* (Gabriel et Naciri, 2001). De plus, elle réduit le rendement en viande et en protéines et affecte les caractéristiques sensorielles de la viande (Lilic *et al.*, 2009).

L'usage des antibiotiques a été largement pratiqué dans l'industrie de volaille pendant des décennies pour maintenir l'équilibre de l'écosystème dans l'intestin et améliorer les performances de croissance des poulets (Huyghebaert *et al.*, 2011). En effet, la lutte contre la coccidiose est basée sur la prévention médicamenteuse (anticoccidiens synthétiques et ionophores) ou vaccinale et le traitement à la suite d'un diagnostic (Kadykalo *et al.*, 2018). En Algérie, la prévention de la coccidiose dans la production de poulets de chair dépend uniquement de la chimioprophylaxie et est limitée aux médicaments destinés à l'alimentation des animaux avec des ionophores monoéthers (Djemai *et al.*, 2016).

3. Modalités d'utilisation des antibiotiques

Au cours des 50 dernières années, l'utilisation d'antibiotiques, associée à des mesures strictes de biosécurité et d'hygiène, a permis à l'industrie avicole de se développer en prévenant les impacts négatifs de nombreuses maladies aviaires (Mehdi, 2018).

Selon Sanders (2017), les antibiotiques sont utilisés selon les modalités suivantes :

- Comme promoteur de croissance, utilisés à faibles doses sur une longue période dans l'alimentation des animaux pour un gain d'indice de croissance ;
- Comme médicament vétérinaire :
 - Administrés à des animaux sans signes cliniques, ils préviennent le risque d'infection pendant des phases critiques pour l'animal.
 - En cas d'apparition de quelques individus malades dans un groupe d'animaux, les antibiotiques peuvent être prescrits à l'ensemble des animaux du groupe pour stopper la contagion. On parle alors de traitement métaphylactique ou de contrôle.
 - Ils sont prescrits à titre curatif pour traiter un animal ou un groupe d'animaux malades du fait d'une infection d'étiologie bactérienne.

Chez les animaux d'élevage, notamment le poulet de chair, il a été démontré que, l'utilisation d'antibiotiques dans l'alimentation est un moyen efficace pour améliorer la croissance et protéger la santé des oiseaux en modifiant leur statut immunitaire et cela est principalement dû au contrôle des infections gastro-intestinales et à la modification du microbiote dans l'intestin (Engberg *et al.*, 2000 ; Torok *et al.*, 2011 ; Lee *et al.*, 2012).

En Algérie, l'usage des antibiotiques additifs a été autorisé suite à la loi n° 88-09 du 26 janvier 1988 relative à la médecine vétérinaire et à la protection de la santé animale. Selon l'enquête de Berghiche *et al.* (2018) au nord-est d'Algérie, 70% des vétérinaires interrogés déclarent que l'automédication dans les élevages de volailles est assez fréquente.

4. Risques pour la santé publique

Pour la santé publique, les risques peuvent être de deux ordres :

4.1. Résidus dans la viande de consommation

L'utilisation abusive des antibiotiques et le non-respect des délais d'attente ont entraîné la présence des résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires d'origine animale. Selon Berghiche *et al.*, (2017), pour la région de Souk Ahras (Algérie), 34% des échantillons analysés de poulet de chair ont été positifs aux antibiotiques, avec un taux de contamination plus élevé dans le foie (70,58%) où les tétracyclines, l'érythromycine et la colistine sont les résidus d'antibiotiques les plus détectés. Les travaux de Boutrid et Tebbani, (2017), ont montré que les résidus d'oxytétracycline sont présents dans des tissus comestibles des poulets, prélevés dans des fermes avicoles dans la région de Batna (Algérie); sur un total de 600 échantillons, 37,5%, 30,5% et 23% des échantillons de foie, de rein et de muscle respectivement, ont été positifs. L'analyse chromatographique des échantillons positifs a

démontré que les résidus d'oxytétracycline sont estimés à raison de $33071,4643 \pm 7,948$, $84799,32 \pm 4,902$ et $4966,55 \pm 0,614$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans le foie, les reins et les muscles, respectivement. La consommation de tels produits peut entraîner de nombreux problèmes de santé chez l'homme. En effet, Gassner et Wuethrich (1994) ont montré un lien de possibilité entre la présence des résidus de chloramphénicol dans la viande et la survenue d'une anémie aplastique chez l'homme.

4.2. Bactéries résistantes aux antibiotiques

L'utilisation des antibiotiques conduit dans la très grande majorité des cas à la sélection de populations microbiennes résistantes. La résistance aux antibiotiques est définie comme la capacité des microorganismes à proliférer en présence d'un antibiotique qui inhibe ou tue généralement les microorganismes de la même espèce (RUMA, 2016). Cette résistance est due à des mutations chromosomiques ou à l'acquisition de gènes de résistance portés par des éléments génétiques mobiles (plasmides, phages, transposons, intégrons...) (Kempf et Zeitouni, 2012).

La figure ci-après représente la distribution géographique de la résistance antimicrobienne en production animale en Algérie.

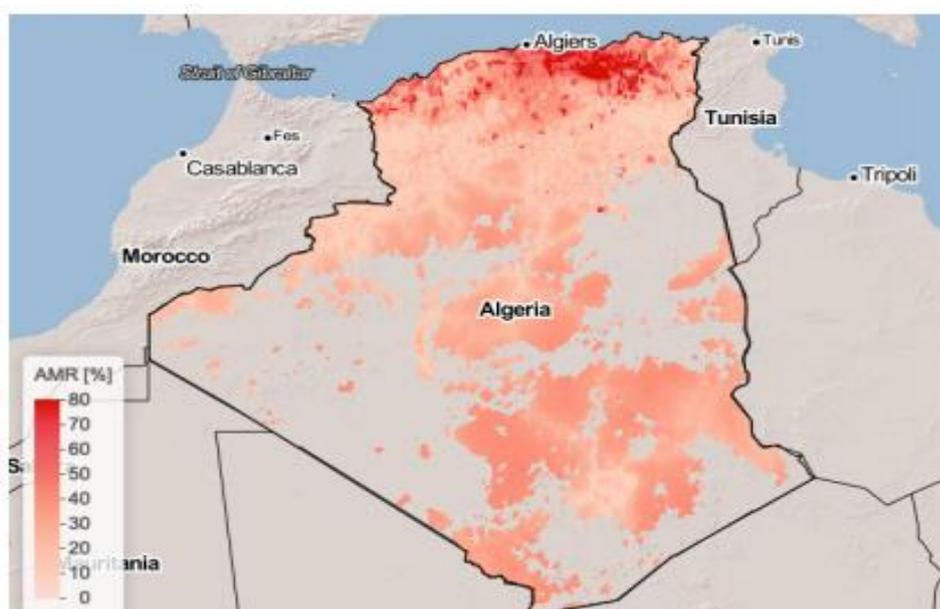


Figure 1.1 : Distribution géographique de la résistance antimicrobienne en Algérie, représentée par la proportion de composés antimicrobiens présentant une résistance supérieure à 50% (anonyme 1)

Au cours de ces dernières années, la résistance aux antibiotiques a fait l'objet de plusieurs études chez la volaille. Dans une récente étude qui a porté sur la description de la résistance

aux ionophores de deux espèces d'*Eimeria* à savoir *E. acervulina* et *E. maxima*, isolées à partir de 34 exploitations avicoles de la région de Jijel (Algérie), les profils de la sensibilité anticoccidienne basés sur le score lésionnel et l'indice anticoccidien (ACI), ont montré une résistance totale au monensine, au narasine et au diclazuril ainsi qu'une résistance partielle à la salinomycine et au lasalocide (Djemai *et al.*, 2016). Dans une autre étude sur des isolats d'*Escherichia coli* collectés chez des poulets de chair sains à Bejaia, Belmahdi *et al.* (2016) ont signalé une résistance très élevée (> 90%) à l'amoxicilline, à l'amoxicilline/acide clavulanique, pipéracilline/tazobactam, aztréonam, ceftazidime, streptomycine, tobramycine, acide nalidixique et ciprofloxacine. L'étude menée par Halfaoui *et al.* (2017) sur des échantillons de différents organes de poulets de chair, prélevés dans la région d'Ain Defla, présentant des lésions de colibacillose a révélé (i) une résistance à des niveaux élevés d'*Escherichia coli* aux tétracyclines (94,12%), à la fluméquine (91,5%), au sulfaméthoxazole-triméthoprimine (88,89%), à l'enrofloxacin (86,27%), à l'acide nalidixique (85,62%), à l'ampicilline (83,0%), à la doxycycline (75,81%) et (ii) une résistance moyenne au chloramphénicol (39,22%) et amoxicilline-acide clavulanique (43,13%). Quant aux travaux de Bounar-Kechih *et al.*, (2018), ils rapportent une résistance croisée aux aminosides, aux fluoroquinolones, aux macrolides, aux sulfonamides et aux cyclines chez *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM) isolés chez des poulets de chair.

La résistance bactérienne aux antibiotiques d'origine animale est un problème de santé publique. En effet, Schwaiger *et al.* (2012) pour une étude menée en Allemagne, ont montré que des isolats résistants et multi-résistants sont très courants dans la viande de poulet. Chez nous (région d'Alger), Mezali et Hamdi, (2012) ont établi que 90,32% des isolats de *Salmonella* provenant de viande crue rouge et de volaille et de produits à base de viande ont été résistants à au moins un antimicrobien et 32,26% des isolats ont montré une multi-résistance. La volaille peut donc jouer un rôle dans l'épidémiologie des infections humaines. En fait, Djefjel *et al.* (2017) ont évalué la relation entre des isolats des souches aviaires et humaines collectés dans la région de Skikda. Ils ont indiqué que sept isolats de *Salmonella* productrices de β -lactamase (ESBL) (5 aviaires et 2 humaines) appartiennent au même sérotype, suggérant donc une origine commune. Egalement, Agabou *et al.* (2015) ont mis en évidence l'existence des liens clonaux et épidémiologiques pour des souches d'*E. coli* isolées chez le poulet et des isolats d'*E. coli* résistants à la ciprofloxacine d'origine humaine ; ce qui pourrait représenter une menace pour la santé publique.

CHAPITRE 2

LES ALTERNATIVES AUX ANTIBIOTIQUES : LES PROBIOTIQUES ET *Yucca schidigera*

CHAPITRE 2

LES ALTERNATIVES AUX ANTIBIOTIQUES : LES PROBIOTIQUES ET *Yucca Schidigera*

L'inquiétude suscitée par les effets néfastes de l'utilisation des antibiotiques et leur interdiction dans l'Union européenne ont conduit à la recherche d'alternatives capables de maintenir un taux de mortalité bas, un bon niveau de rendement animal tout en préservant la santé des consommateurs.

De nombreuses études ont été menées pour rechercher des agents naturels ayant les mêmes effets bénéfiques que les promoteurs de croissance. En effet, il existe un certain nombre d'alternatives non thérapeutiques pouvant remplacer l'utilisation des antibiotiques tels que : les enzymes, les huiles essentielles, les acides organiques, les probiotiques et les extraits de plantes.

Dans la présente étude, nous nous sommes intéressés aux deux probiotiques *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* et à l'extrait de la plante *Yucca schidegera*.

1. Les probiotiques

Les probiotiques sont des cultures uniques ou mixtes de microorganismes vivants qui, lorsqu'ils sont administrés en nombre suffisant, exercent des effets bénéfiques sur la santé de l'hôte en améliorant l'équilibre microbien de l'intestin, en renforçant la résistance de la colonisation contre les agents pathogènes et en améliorant les réponses immunitaires (Kabir, 2009). La FAO et l'OMS ont définis les probiotiques comme étant "des microorganismes vivants qui administrés en quantités adéquates sont bénéfiques pour la santé de l'hôte" (FAO/WHO, 2001).

Dans l'alimentation des volailles, l'utilisation des probiotiques a commencé depuis 30 ans, elle est liée au développement du concept "Exclusion compétitive" décrit par Nurmi et Rantala en 1973. Leur utilisation a été encouragée d'une part par le Comité Swann en 1969 qui recommandait de restreindre l'usage des antibiotiques en alimentation animale à la seule fin thérapeutique et d'autre part par la nécessité de faire face aux conséquences d'une production animale toujours plus intense et stressante pour les animaux (économie d'échelle, augmentation de la taille des élevages, concentration des animaux,...) (Bernardeau et Vernoux, 2009).

1.1. Critères de sélection des probiotiques

Sur la base des travaux de Klaenhammer et Kullen, (1999) ; Gaggia *et al.*, (2010) et Papova, (2017), les principales caractéristiques pour qu'un microorganisme soit considéré candidat probiotique sont :

- Etre non toxique et non pathogène ;
- Etre identifié ;
- Survivre, coloniser leur hôte et avoir un métabolisme actif, qui implique :
 - Résistance à la bile gastrique
 - Persistance dans le tractus gastro-intestinal
 - Adhérence à l'épithélium ou au mucus intestinal
- Production des substances antimicrobiennes ;
- Antagonisme vers les bactéries pathogènes ;
- Stimulation du système immunitaire ;
- Génétiquement stable ;
- Survivre aux différents procédés technologiques de production industrielle.

1.2. Microorganismes probiotiques

Les probiotiques utilisés dans l'alimentation des poulets de chair peuvent contenir une ou plusieurs souches de microorganismes et peuvent être administrés soit seuls, soit en combinaison avec d'autres additifs, dans l'aliment ou dans l'eau. Une étude rétrospective de Papova, (2017) fait état des probiotiques largement utilisés en alimentation des volailles qui sont rapportés dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Les probiotiques utilisés en alimentation des volailles (Papova, 2017)

Microorganismes	Genre	Espèce
Bactéries	<i>Lactobacillus</i>	<i>thermophilus, acidophilus, brevis, bulgaricus, casei,</i>
	<i>Bacillus</i>	<i>amyloliquefaciens, cereus, coagulans, licheniformis,</i>
	<i>Bifidobacterium</i>	<i>animalis, bifidium, bifidus, thermophilus</i>
	<i>Enterococcus</i>	<i>Faecium</i>
	<i>Pediococcus</i>	<i>acidilactici</i>
Champignons	<i>Aspergillus</i>	<i>niger, oryzae</i>
Levures	<i>Saccharomyces</i>	<i>boulardii, cerevisiae, faecium, salivarius subsp.</i>

1.2.1. *Pediococcus acidilactici*

Les pédiocoques sont des cocci anaérobies facultatifs à Gram positif appartenant au groupe des bactéries lactiques homofermentaires, produisant à partir d'hexoses de l'acide lactique DL ou L(+) selon les espèces (Simpson et Taguchi, 2005).

Toutes les espèces sont mésophiles ; se développent bien à 30°C, et leurs températures optimales de croissance sont comprises entre 25°C et 40°C. Toutefois, l'espèce *acidilactici* ne produit que le type L(+) et persiste à des températures allant de 45 à 50°C (Bourgeois et Larpent, 1996). Ces bactéries peuvent survivre dans des conditions très acides et en fortes teneurs en sels biliaries (Erkkila et Petaja, 2000), et avoir des activités antimicrobiennes contre des bactéries pathogènes de la flore intestinale dont *S. aureus* et *C. perfringens* (Elegado *et al.*, 1997; Papagianni et Anastasiadou, 2009) ainsi que *S. enteritidis* et *E. coli*. (Noohi *et al.*, 2016). Les effets antagonistes des espèces de pedicoques sont attribués à la production de l'acide lactique, à la sécrétion des peptides antimicrobiens (pediocines) créant ainsi des pores sur la membrane cytoplasmique des cellules cibles (Chikindas *et al.*, 1993) et à la production des toxines protéiques (Papagianni *et al.*, 2009).

En aviculture, l'espèce principalement utilisée est *P. acidilactici*. Chez le poulet de chair, l'administration de *P. acidilactici* a permis (i) l'amélioration de la résistance des poulets face à une infection par *E. coli* (Awaad *et al.*, 2003) ; (ii) l'amélioration de la croissance, la réduction de l'indice de consommation, l'augmentation de la population caecale en Lactobacilles et la diminution du contenu caecal en *E. coli*/coliformes (Stella *et al.*, 2005).

1.2.2. *Saccharomyces cerevisiae*

Les levures *Saccharomyces* sont des eucaryotes unicellulaires de forme sphérique ou ovale et appartiennent au règne des champignons. Elles sont considérées comme des anaérobies facultatives, ce qui signifie qu'elles peuvent survivre et se développer en présence ou en absence d'oxygène (Stone, 2006). Leur état physiologique et leur morphologie peuvent donc varier selon les conditions de l'environnement. Lorsqu'elles se trouvent dans des conditions favorables de culture (température, pH, etc.), elles peuvent se diviser activement par bourgeonnement (Boze *et al.*, 2008). Les souches *S. boulardii*, *S. cerevisiae* et *S. unisporus* ont montré un potentiel probiotique. Elles sont capables de survivre aux conditions du tractus gastro-intestinal, tolérants au faible pH, à la présence de sels biliaries et à la protéase pancréatique, tant in vitro qu'in vivo (Palma *et al.*, 2015).

S. cerevisiae est la levure la plus utilisée comme additif alimentaire chez les animaux d'élevage. Elle est riche en protéines digestibles, en vitamines (vitamine B6, thiamine, biotine, riboflavine, acide nicotinique et acide pantothénique), en magnésium et en zinc (Haiman et Frank 1994). Sa teneur en calcium est cependant faible. Les polysaccharides α -D-mannane, la chitine et le β -D-glucane sont les principaux constituants de la paroi cellulaire de *S. cerevisiae* (Elghandour *et al.*, 2019).

Selon Oyedeji *et al.* (2008), l'inclusion de 200, 250 et 300 mg de *S. cerevisiae* (Levucel SB) par kg d'aliment permet l'obtention d'un gain de poids, un faible taux de conversion alimentaire et une réduction du taux de mortalité des poulets de chair après 4 semaines d'élevage. Il a également été signalé que *S. cerevisiae* pourrait moduler ou neutraliser l'effet de l'aflatoxine B1 (Parlat *et al.*, 2001).

1.3. Mode d'action des probiotiques

Les probiotiques peuvent suivre différents mécanismes basés sur des interactions entre les éléments constitutifs de la biocénose et par les interactions entre la biocénose et le biotope ou l'hôte :

- **Bactéries – bactéries** : l'efficacité des bactéries probiotiques contre les pathogènes peut être liée à l'effet antagoniste qui est particulièrement accrue par la production d'acides organiques et de substances antibactériennes, à savoir le peroxyde d'hydrogène, les bactériocines et les défensines ; également à l'existence d'une compétition entre les microorganismes, qu'elle soit nutritionnelle ou pour les sites d'adhésion aux cellules épithéliales intestinales (Tiwari *et al.*, 2012).
- **Cellules bactériennes et épithélium** : la production d'enzymes par les souches probiotiques serait une des possibilités pour favoriser la digestibilité de la ration alimentaire, ainsi certaines bactéries probiotiques excrètent la galactosidase souvent déficiente dans le tractus digestif de l'hôte ce qui facilite la digestion du lactose. Chez le poulet, l'utilisation des probiotiques permet d'augmenter la vitesse d'amylolyse et la production d'acide lactique (Gournier-Château *et al.*, 1994), En outre, ils peuvent également stimuler le pH acide qui facilite l'absorption des protéines et des minéraux comme le cuivre, le calcium, le fer, le manganèse et le magnésium (Raghuwanshi *et al.*, 2015).
- **Bactéries et système immunitaire** : D'après Ahmad, (2006), l'amélioration du système immunitaire par les probiotiques chez les poulets peut être de trois manières différentes :

- Stimulation d'activité phagocytaire des macrophages : Chez des souris nourries avec *L. rhamnosus* (HN001), *L. acidophilus* (HN017) et *Bifidobacterium lactis* (HN019), une augmentation de la fonction phagocytaire dans le sang périphérique est devenue significative après 10 jours d'alimentation, et a été maintenue à un niveau semblable pendant toute la période d'alimentation (Gill *et al.*, 2000) ;
- Augmentation de la production des anticorps protecteurs IgG et IgM et de l'interleukine : une activation du système immunitaire spécifique (immunité humorale) a été démontrée en réponse à l'infection par *Eimeria acervulina*, *E. tenella* chez des poulets de chair traités avec deux probiotiques *Pediococcus acidilactici* et *Saccharomyces boulardii* (Lee, 2007).
- Augmentation de la production des anticorps sécrétoires, notamment des IgA : un traitement par *B. lactis* ou *L. rhamnosus* suivi d'un challenge avec *E. coli* entérohémorragique se traduit chez la souris par une augmentation d'IgA (Shu *et al.*, 2001).

Les modes d'action et les effets bénéfiques des probiotiques chez le poulet sont schématisés dans la figure 2.1 (Alagawany *et al.*, 2018).

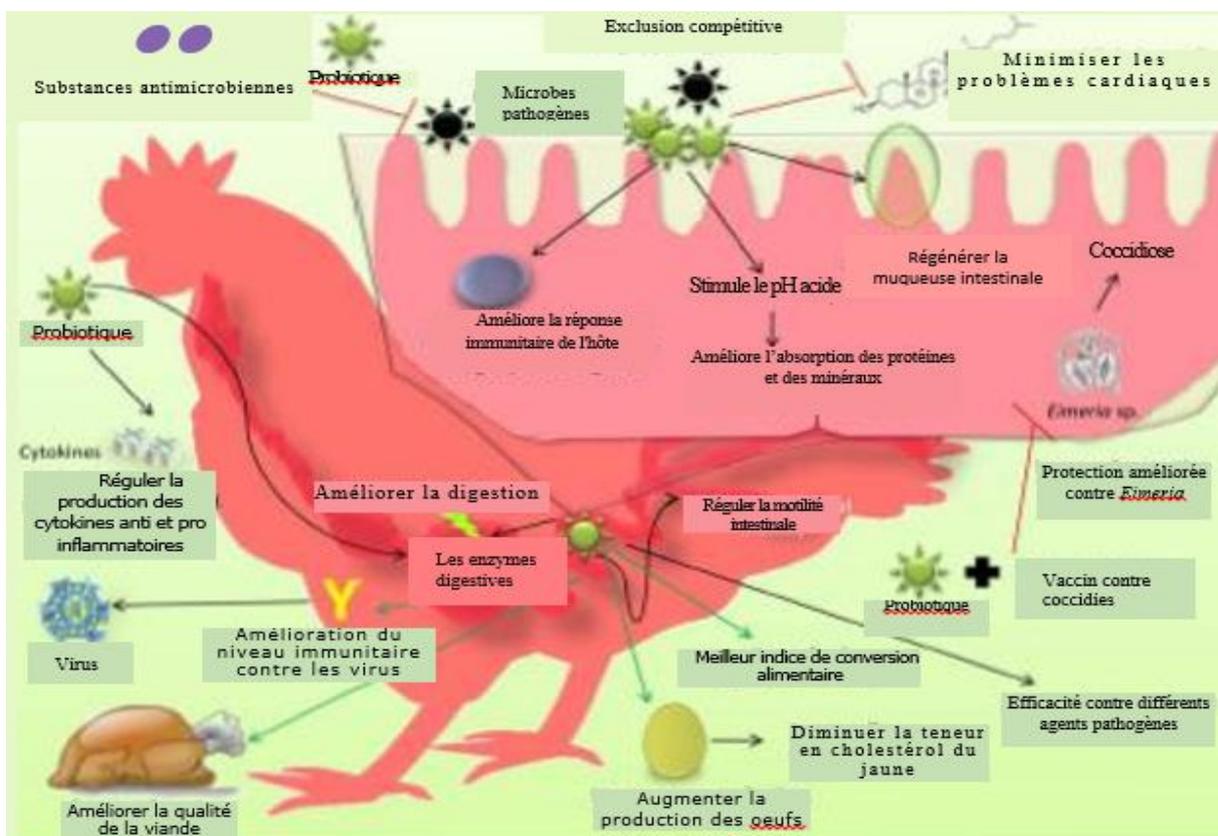


Figure 2.1 : Modes d'action et activités bénéfiques des probiotiques chez le poulet (Alagawany *et al.*, 2018)

1.4. Effets bénéfiques des probiotiques chez le poulet de chair

1.4.1. Effet sur les performances zootechniques

La supplémentation des probiotiques dans le régime alimentaire des poulets a montré une grande efficacité dans l'amélioration du gain quotidien de poids, l'indice de consommation et le taux de mortalité (Vittorio *et al.*, 2005 ; Djezzar *et al.*, 2012 et Macelline *et al.*, 2017). Cependant, des résultats contradictoires ont été rapportés par Willis et Reid., (2009). Selon Wang et Gu, (2010), la souche choisie, sa dose et la méthode de préparation ainsi que l'état des animaux ont pu être partiellement responsables de telles anomalies.

L'étude de Vittorio *et al.* (2005) portant sur l'utilisation du probiotique *P. acidilactici* chez le poulet a montré un effet positif sur la croissance des femelles que des mâles ; le gain de poids quotidien moyen de l'ensemble des poulets recevant des probiotiques a été significativement supérieur à celui des témoins à 35 jours d'âge, l'indice de consommation à 35 jours a été réduit pour l'ensemble des poulets ayant reçu *P. acidilactici*, et que le taux de mortalité est demeuré identique entre les groupes. Les travaux de Satheesh *et al.* (2012), ont révélé que l'usage de *P. acidilactici* encapsulé a accru la densité, la longueur et la largeur des villosités intestinales, ce qui a permis d'améliorer les performances de croissance. L'inclusion de *S. cerevisiae* dans l'alimentation des poulets de chair s'est également traduite par un indice de productivité plus élevé, mesuré en fonction du gain de poids quotidien et de l'efficacité alimentaire (Paryad et Mahmoudi, 2008 et Macelline *et al.*, 2017).

Dans une étude utilisant plusieurs espèces contenant des souches de *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Bifidobacterium* et *Enterococcus* dans l'aliment des animaux et dans de l'eau de boisson, Mountzouris *et al.* (2007) ont enregistré un taux de croissance comparable à celui de l'administration de 2,5 mg/kg d'antibiotique à l'avilamycine où il a montré que les probiotiques inclus dans l'eau de boisson ont été plus efficaces que dans l'aliment. Dans une autre étude, la supplémentation alimentaire de la combinaison de *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bacillus subtilis* et *Aspergillus oryzae* en tant qu'additif alimentaire chez le poulet de chair a améliorée les performances de croissance (Hussein et Selim, 2018).

1.4.2. Effet sur la santé intestinale

L'intérêt principal des probiotiques réside sans doute dans leur effet stabilisant sur la flore digestive et l'amélioration de l'état de santé des animaux d'élevage. Dans le cas du probiotique *P. acidilactici*, en comparaison au groupe témoin, la population d'*E. coli* / coliformes a diminué dans l'iléon et dans le caeca (Awaad *et al.*, 2003 ; Stella *et al.*, 2005 et

Taheri *et al.*, 2010) alors que celle des lactobacilles a augmenté au niveau de la flore duodénale et flore caecale à 10j, 28j et 49 jours d'âge (Stella *et al.*, 2005 et Temim, 2009).

De plus, il a été démontré que les deux probiotiques *P. acidilactici* et *Saccharomyces spp.* réduisent l'infection due à *salmonella* (Zenki *et al.*, 2009).

L'utilisation des probiotiques multi espèces ou multi souches a montré des effets bénéfiques sur la flore intestinale. En effet, Mountzouris *et al.* (2007) ont révélé que l'ajout d'un probiotique multi-espèces contenant des souches *d'Enterococcus*, *Bifidobacterium* et *Pediococcus* dans l'aliment ou l'eau de boisson des poulets de chair a augmenté les populations caecale de lactobacilles, de bifidobactéries et de cocci à Gram positif et a réduit celles de salmonelles. Les travaux de Lee *et al.* (2007) ont rapporté que le probiotique commercial MitoMax contenant *P. acidilactici* et *S. boulardii* est susceptible d'améliorer la résistance des poulets à la coccidiose en augmentant l'immunité humorale, par incorporation à environ 0.1% dans la ration alimentaire des poulets.

1.4.3. Effets sur la qualité de carcasse et de viande

Les recherches sur l'application des probiotiques dans l'alimentation des poulets mettent davantage en avant leur influence sur les performances zootechniques et sur la flore intestinale. Peu d'études ont examiné les effets des probiotiques sur la qualité de la viande chez les poulets de chair. De plus, il n'est pas établi que les modifications des paramètres de croissance pourraient être associées à une altération des caractéristiques de la qualité de la viande. En effet, les effets de l'application *post-mortem* des probiotiques dans les produits transformés de viande de poulet a été rapporté par da Costa *et al.* (2019).

1.4.3.1. Effet des probiotiques sur les caractéristiques physico-chimiques de viande de poulets de chair

Les propriétés physicochimiques de la viande dont le pH, la capacité de rétention en eau et la couleur sont importantes, car elles déterminent dans une large mesure les possibilités de stockage ou de transformation ultérieure. Aristides *et al.* (2018) ont rapporté que l'administration des produits fermentés par *S. cerevisiae* (SCFP) dans l'alimentation des poulets n'a pas modifié la couleur, les pertes en eau à la cuisson et la force de cisaillement ; toutefois, l'inclusion de 1500g/t de SCFP a diminué le pH. De même, Macelline *et al.* (2017) ont enregistré une diminution du pH et une augmentation de la capacité de rétention en eau des filets de poulets. Les recherches sur la composition chimique de la viande ont révélé que

les principaux caractères affectés par les probiotiques sont les acides aminés, les protéines et les lipides (Liu *et al.*, 2012 ; Sahraoui *et al.*, 2013). Des différences de la qualité de la viande des poulets de chair entre deux différents probiotiques a été constaté par Zhao *et al.* (2013). La teneur en lipides dans les muscles du filet a été augmentée de 3,6% (1,99 vs. 1,92 mg/g) chez les poulets nourris avec le probiotique *C. butyricum*, alors qu'il n'y a eu aucun effet avec le probiotique *E. faecium*.

1.4.3.2. Influence des probiotiques sur la composition en acides gras et l'oxydation des lipides

La composition en acides gras est un élément important de la qualité de la viande, associée à sa valeur diététique. Les recherches sur l'influence de divers probiotiques sur le profil des acides gras de la viande sont limitées, mais les résultats globaux montrent un effet positif des probiotiques, principalement lié à la réduction des acides gras saturés et à l'augmentation des acides gras insaturés. L'alimentation des poulets avec *Aspergillus awamori* et *S. cerevisiae* ou une combinaison de ceux-ci a entraîné une diminution significative des C16 : 0 et C18 : 0, ainsi qu'une augmentation des C18 : 1 et des polyinsaturés C18 : 2, C18 : 3, C20 : 4 (Saleh *et al.*, 2012 et Saleh *et al.*, 2013). En outre, Ashayerizadeh *et al.* (2009) ont signalé une baisse des concentrations de cholestérol et de triglycérides dans la viande des poulets nourris aux probiotiques par rapport à ceux nourris aux antibiotiques et sans additifs (témoin). De même, les travaux de Sahraoui *et al.* (2014) ont montré un effet positif de probiotique *P. acidilactici* sur le bilan lipidique sanguin des poulets. L'utilisation de *S. cerevisiae* à 0,2% dans l'alimentation des poulets de chair est un bon moyen de réduire l'oxydation des lipides et la détérioration microbiologique des produits à base de viande de volaille pendant le stockage congelé (Aksu *et al.*, 2014).

2. Les extraits de plantes : *Yucca schidigera*

Divers extraits de plantes ont été couramment inclus dans les régimes alimentaires des poulets de chair dans un but d'améliorer la santé de animal et les performances zootechniques. L'action principale des extraits de plantes en tant qu'additif alimentaire consiste à améliorer l'écosystème du microbiote gastro-intestinal en contrôlant les agents pathogènes potentiels et la capacité digestive de l'intestin grêle (Hashemi et Davoodi, 2011). Les composés actifs des plantes et ses extraits sont principalement des métabolites secondaires, tels que des terpénoïdes (mono et sesquiterpènes, stéroïdes, etc), des phénoliques (tanins), des glycosides

et des alcaloïdes (présents sous forme d'alcool, d'aldéhydes, de cétones, d'esters, d'éthers, de lactones, etc.) (Sugiharto, 2014).

2.1. *Yucca schidigera*

Yucca schidigera Roezl (appelée encore *Yucca Mohave* ou *Yucca Mojave*) est une plante arborescente, monocotylédone, appartenant au genre *Yucca* qui compte une quarantaine d'espèces, de la famille des Agaves (*Agavaceae*) (Piacente *et al.*, 2004).

C'est une plante à fleurs, qui mesure environ 5 m de hauteur (quelques spécimens exceptionnels ont atteint 9 m), persistante, munie d'un petit tronc vigoureux et presque lisse et dont les feuilles jaune-vert à bleu-vert, longues de 30 à 150 cm, larges à la base de 4 à 11 cm, épaisses, très rigides aux bords dentelés, et disposées en spirale en haut du tronc donnent à l'arbuste l'aspect d'une dense couronne de baïonnettes comme rapporté dans la figure 2.2 (Vaquier, 2010).



Figure 2.2 : *Yucca schidigera* : plante et fleur (Bietrix , 2004)

De la plante, c'est l'écorce qui représente la partie utilisée et riche en principes actifs. Une fois les feuilles enlevées, les troncs sont transportés à l'usine où ils sont débités en grumes (morceaux d'écorce fraîche et/ou copeaux de bois encore revêtus de l'écorce). Ces grumes peu ligneuses et ayant la consistance d'un matelas fibreux saturé de sève mousseuse sont déchiquetées et macérées.

Le yucca issu de la macération peut subir deux procédés différents (Cheeke, 2001 et Vaquier, 2010):

- pressé mécaniquement, pour en extraire un jus mousseux ensuite concentré par évaporation thermique pour obtenir des *extraits de yucca*, qui parfois subiront un séchage supplémentaire sur support inerte et deviendront des extraits secs,
- ou directement séché et broyé finement pour obtenir une poudre de yucca.

Ces deux produits ne sont pas équivalents. Une partie des substances actives du yucca (une part importante des polyphénols) semble manquer à l'extrait, contrairement à la poudre qui contiendrait, elle, 100% des substances phyto-chimiques de la plante. Les propriétés de la poudre sont donc plus complètes que celles de l'extrait (Cheeke et Otero, 2005).

2.2. Substances bioactives

Yucca schidigera possède plusieurs substances phyto-chimiques dont des saponines stéroïdiennes et des composés phénoliques, qui ont de nombreux effets bénéfiques sur l'Homme et les animaux (Piacente *et al.*, 2005).

2.2.1. Les saponines

Les saponines sont des glycosides à poids moléculaire élevé, regroupant un ensemble complexe et chimiquement très diversifié de molécules triterpéniques ou stéroïdes. Elles se composent d'une fraction aglycone hydrophobe (un noyau stéroïdique ou triterpénique) liée à une chaîne mono ou polysaccharidique hydrophile (Wallace, 2004). Les saponines stéroïdiennes se trouvent principalement dans les monocotylédones, c'est le cas de *Yucca schidigera* (Cheeke et Otero, 2005).

Dans une étude réalisée sur de la poudre de *Yucca schidigera*, Oleszek *et al.* (2001) ont isolé et identifié 8 saponines stéroïdiennes dont 5 de structure connue spirostanol [sarsapogénine (66%), gloriogénine (24%), markogénine (3,5%)] et 3 nouvelles de structure furostanol inédite, bidesmosidiques, représentant seulement 6,8 % des saponines totales isolées.

Les saponines dérivées de *Yucca schidigera* ont de nombreux effets bénéfiques tels que antimicrobiens, anti-inflammatoires, immuno-stimulateurs, hypoglycémiants, hypocholestérolémiants et anti-cancérigènes (Wang *et al.*, 2000 ; Cheeke *et al.*, 2006 et Gupta *et al.*, 2014). Elles possèdent aussi une remarquable activité anticoccidienne chez les poulets de chair et les veaux (Djezzar *et al.*, 2014 et Rambozzi *et al.*, 2011). Selon la Food and Drug Administration (FDA), les saponines de *Yucca* sont considérés sans danger (generally recognized as safe) et actuellement utilisées en tant qu'additif dans la fabrication de boissons, de cosmétiques et d'aliments pour animaux et volailles (Cheeke, 2000 ; Tamura *et al.*, 2012).

2.2.2. Les composées phénoliques

D'autres constituants physiologiquement actifs de la plante *Yucca schidigera* ont été identifiés : les polyphénols, qui sont présents exclusivement dans l'écorce de *Yucca* pas à l'intérieur. Oleszek *et al.* (2001) ont isolé et identifié cinq d'entre eux, deux stilbènes et trois yuccaols A, B, C. La famille est complétée par la yuccaone A, puis les yuccaols D et E et le larixinol.

Le resvératrol est le principal composé phyto-chimique de la plante *Yucca schidigera*, qui joue un rôle important en tant qu'agent antiplaquettaire, antioxydant, antiviral, antimutagène et anti-inflammatoire (Piacente *et al.*, 2005).

2.3. Effets de *Yucca schidigera* en production de poulet de chair

2.3.1. Effet anticoccidien

Chez le poulet de chair, la maîtrise du risque coccidien a été obtenu par supplémentation de cet extrait dans l'alimentation des poussins dès leur mise en place (Djezzar *et al.*, 2014). Les travaux de Galii *et al.* (2017) ont révélé que l'ajout de l'extrait de *Yucca schidigera* et de glutamine dans la ration des poulets a eu un effet positif sur la coccidiose, réduisant la présence d'ocystes ; en outre, le dosage des enzymes anti-oxydantes a montré une réduction des taux de superoxide dismutase (SOD) et de catalase (CAT) dans le sang dans les groupes supplémentés par rapport au groupe témoin en raison de la baisse du parasitisme et des lésions intestinales. Dans une récente étude, Oelschlager *et al.* (2019) ont suggéré qu'une supplémentation de saponines de *Yucca schidigera* à raison de 250 mg/kg a eu une influence sur la réponse immunitaire des poulets exposés à des ocystes d'*Eimeria*. Le nombre de lymphocytes et l'épaisseur de la muqueuse de jéjunum ont été augmentés dans tous les groupes infectés par *Eimeria* par rapport aux poulets non infectés, mais les poulets recevant une supplémentation en saponines ne sont pas significativement différents des poulets non infectés. L'expression génique de l'*IL-1 β* dans les amygdales cæcales et le duodénum a augmenté après l'infection, mais la supplémentation en 250 ou 500 mg/kg de saponine a réduit l'expression de l'*IL-1 β* aux niveaux observés chez les poulets inoculés. En effet, les propriétés anticoccidiens de *Yucca schidigera* sont liées aux saponines qui inhibent le développement des protozoaires en interagissant avec le cholestérol présent sur la membrane cellulaire du parasite, entraînant ainsi la mort du parasite (Wang *et al.*, 1998).

2.3.2. Effet sur les performances zootechniques et la qualité de la litière

L'utilisation de *Yucca schidigera* dans l'élevage de poulet de chair a montré une amélioration de la croissance et de l'efficacité alimentaire (Begum *et al.*, 2014 ; Sahoo *et al.*, 2015 et Sun *et al.*, 2017a, 2019).

Pour ce qui est de nos travaux antérieurs (Djezzar *et al.*, 2014), nous avons montré que l'ajout de *Yucca schidigera* associé au probiotique *P. acidilactici* dans la ration des poulets permettait une augmentation du poids de manière non significative (2678 g vs 2791 g, respectivement), un meilleur taux de conversion alimentaire pour les trois phases de croissance (1,32 vs. 1,48 pour la phase de démarrage ; 1,57 vs. 1,73 pour phase de croissance et 2,39 vs. 2,83 pour la phase de finition ; respectivement) ainsi qu'une augmentation significative de la longueur des intestins des poulets mesuré à la fin de chaque phase de croissance, cette augmentation atteint 10% à J₂₈, environ 7% à J₄₂ et 15% à J₅₂. Les travaux de Sahoo *et al.* (2015) ont également montré que la supplémentation en *Yucca schidigera* a amélioré la croissance des poulets de 173 g au cours de la 6^{ème} semaine d'élevage, avec une consommation alimentaire inférieure à celle du groupe témoin, ce qui se traduit par un meilleur taux de conversion alimentaire, de l'efficacité protéique et de rendement énergétique dans la production de poulets de chair.

Yucca schidigera est également utilisé comme complément alimentaire pour le bétail principalement pour lutter contre l'ammoniac et les odeurs (Hussain et Cheeke, 1995) et par conséquent l'amélioration de la qualité de la litière. Chez le poulet de chair, l'introduction de *Yucca* dans l'alimentation a réduit nettement la concentration d'ammoniac dans le lieu de vie des animaux et dans les fientes sans aucun effet secondaire sur les performances zootechniques (Cabuk *et al.*, 2004). Selon les travaux de Sahoo *et al.*, (2015), l'analyse physicochimique de la litière des poulets a révélé une diminution non significative de la teneur en humidité et aucune tendance spécifique concernant le pH et le pourcentage d'azote disponible. Dans les exploitations avicoles, le pH du fumier joue un rôle essentiel dans les émissions d'ammoniac. *Yucca schidigera* a un grand potentiel pour abaisser la valeur du pH dans l'environnement des volailles, et ce mécanisme d'action conduit à la suppression des émissions et de la formation d'ammoniac (Saeed *et al.*, 2018).

2.3.2. Effet sur les fonctions immunitaires et antioxydantes

La capacité de *Yucca schidigera* à améliorer la fonction immunitaire et antioxydante chez les poulets de chair a été rapportée récemment dans plusieurs études. Les travaux réalisés par Sun

et al. (2017a et 2019) ont montré que la supplémentation de l'extrait de cette plante à raison de 200 mg/kg a augmenté les capacités antioxydantes du petit intestin et du foie, ce qui a contribué à des meilleures performances zootechniques chez les poulets de chair. De même, *Su et al.* (2016) ont rapporté que les régimes supplémentés avec 100 et 200 mg/kg de *Yucca* ont montré une augmentation des niveaux de CAT, de SOD, d'IgG, d'IgM et de T-AOC, ainsi, des effets positifs sur l'induction de la maturation des organes immunitaires ont été signalés. Des effets positifs sur les fonctions immunitaires des poulets de chair consécutifs à une supplémentation de 100 mg/kg de *Yucca* ont été enregistrés par *Sun et al.*, (2017b) ; les modifications de la réponse inflammatoire sont liées à la stimulation des concentrations d'*IL-6* et d'*IFN-c* au cours de la phase de finition des poulets de chair et à l'augmentation des titres en anticorps dirigés contre le virus de la maladie de Newcastle (NDV) pendant toute la période d'élevage. Selon Palatnik de Sousa *et al.* (2004), les saponines dérivées de *Yucca schidigera* pourraient augmenter la production de cytokines et activer l'immunité naturelle, ainsi que stimuler l'immunité cellulaire et humorale.

2.3.3. Effet sur la qualité de la carcasse et de la viande

À notre connaissance, très peu d'études ont été menées sur l'impact de l'usage de *Yucca schidigera* en tant que complément alimentaire sur la qualité des produits du poulet de chair. En fait, la plupart des études réalisées ont été portées sur l'évaluation de la qualité de la carcasse. En effet, *Sahoo et al.* (2015) ont rapporté que l'ajout de l'extrait de cette plante dans la ration des poulets comparé à un régime témoin a montré une augmentation des pourcentages de la carcasse éviscérée (58,50% vs.54,10%), du muscle du filet (32,23% vs.30,33%), du muscle de la cuisse (18,92% vs.16,97%) et du rendement global en viande comestible (63,40% vs.59,50%). Dans une autre étude, l'addition de *Yucca schidigera* et de l'acide caprylique dans l'aliment n'a pas eu d'effet sur le poids du foie, de la rate, du filet et de la graisse abdominale alors que l'indice de rouge (a*) du filet a été réduit dans le régime supplémenté par rapport au régime témoin (*Begum et al.*, 2014). L'ajout de la même association de produits biologiques chez la poule pondeuse a montré une diminution de la concentration sérique en triglycérides et en cholestérol ainsi que celle du cholestérol du jaune d'œuf (*Wang*, 2011). Selon *Guclu* (2003), la supplémentation de l'extrait de *Yucca* (30, 60 et 90 ppm) n'a pas eu d'influence sur l'indice de blanc et de jaune, l'indice de Haugh et l'épaisseur de la coquille mais a réduit la densité spécifique de l'œuf. Chez la dinde, l'étude de *Sahraoui et al.*, (2018) utilisant un extrait à base de *Yucca schidigera* et de *Trigonella*

graecum a révélé une augmentation considérable de la teneur en acides gras mono-insaturés et polyinsaturés et n'a eu aucun effet sur les niveaux des acides gras saturés de viande. Les travaux de Ashour *et al.*, (2014) ont montré chez le lapin que le poids du foie, de la rate et des poumons à 13 semaines d'élevage n'a pas été affecté, alors que le pourcentage de rendement de la carcasse et des cuisses ont été significativement influencés par l'ajout de l'extrait de *Yucca*.

CHAPITRE 3

QUALITE DE LA VIANDE DE POULET DE CHAIR

CHAPITRE 3

QUALITE DE LA VIANDE DE POULET DE CHAIR

1. Viande de volaille

La viande est un produit hétérogène résultant de l'évolution *post-mortem* des muscles liés aux os (muscles squelettiques) essentiellement et de la graisse de la carcasse des animaux (Frayssé et Darre, 1990). Le terme volaille désigne tout type d'oiseau domestique, en particulier celles appréciées pour leur viande et leurs œufs, tels que les poulets, les dindes, les canards et les oies. Dans l'ensemble, la viande de volaille se distingue par sa faible concentration en énergie et sa forte qualité nutritionnelle, bien que de nombreux facteurs tels que l'espèce, le patrimoine génétique, le régime alimentaire de l'animal, les systèmes de production (biologique, en plein air, intensif), la présence de peau, ainsi que la procédure de cuisson peuvent affecter certains constituants de la viande (Boedoni *et al.*, 2017). En fait, les parties les plus sollicitées de la viande de poulet sont les muscles de vol situés sur sa poitrine, appelés viande «de poitrine ou filet» et marches muscles sur les jambes, appelés les «cuisses» (Figure 3.1).

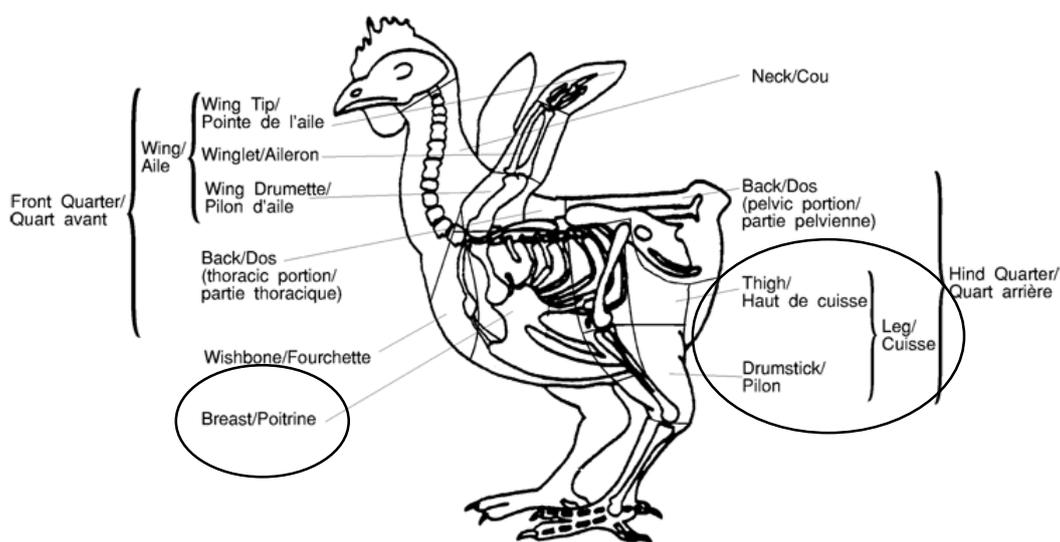


Figure 3.1 : Diagramme de découpe de viande de poulet

2. Caractéristiques nutritionnelles de la viande de poulet

Les principales caractéristiques nutritionnelles des différents types de viandes sont rapportées dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 : Principales caractéristiques nutritionnelles de différents types de viandes (pour une portion de 100g de viande) (Wood, 2017)

	Bœuf	Agneau	Poulet	Dinde
Eau (g)	71.9	70.6	75.1	75.3
Protéine (g)	22.5	20.2	22.3	22.6
Lipides (g)	4.3	8.0	2.1	1.6
Energie (kJ)	542	639	457	443
Cholestérol (mg)	58	74	90	70

2.1. Protéines

La viande de poulet est une bonne source de protéines à haute valeur biologique avec une valeur moyenne de 20 à 22 g pour 100 g de viande (Brunel *et al.*, 2010 et Boedoni *et al.*, 2017). Cette valeur est beaucoup plus variable entre le filet et la cuisse avec une différence de près de 4 g (Brunel *et al.*, 2010). La cuisson entraîne également une augmentation de la concentration en protéines, qui peut atteindre 60% en poids pour le pilon de dinde sans peau et le pilon de poulet sans peau. La faible teneur en collagène est une autre caractéristique favorable de la viande de poulet. Le collagène réduit la digestibilité de la viande, et des niveaux élevés de cette protéine dans la viande musculaire sont associés à un pourcentage inférieur de produit digéré par unité de temps (Marangoni *et al.*, 2015). Selon Boedoni *et al.* (2017), une ration de 100 g de viande de volaille crue couvre environ le tiers des besoins quotidiens en protéines d'un homme de 70 kg.

2.2. Lipides

Comparativement à d'autres types de viande, celle de poulet semble être relativement faible en gras, près de 3 g/100 g (Brunel *et al.*, 2010). Les viandes de volailles contiennent une grande variété d'acides gras, dont la teneur est plus ou moins importante et sont particulièrement riches en acides palmitique et stéarique ainsi qu'en acides oléique et linoléique (Brunel *et al.*, 2010). Le rapport acides gras saturés / acides gras insaturés (AGS / AGIS) est d'environ 1/3; il est plus faible dans le filet que dans les autres morceaux et lorsque la peau est enlevée. Une caractéristique nutritionnelle intéressante de la viande de poulet est sa teneur élevée en acides gras polyinsaturés à chaîne longue n-3 (AGPI n-3) qui pourrait

contribuer de manière significative à l'amélioration de la nutrition humaine, compte tenu également de son taux de consommation élevé (Boedoni *et al.*, 2017).

2.3. Valeur énergétique

Globalement, la valeur énergétique des viandes de volaille se situe dans la plage des autres viandes. A l'état cru, la valeur la plus élevée concerne les cuisses de poulet (196 kcal/100 g) et la plus faible dans la poitrine sans peau (100 kcal/100 g). En général, la présence de peau augmente la valeur calorique d'environ 25% à 30%. Cela est dû à la teneur élevée en graisse de la peau. La valeur énergétique de la viande de volaille cuite est plus élevée, en raison non seulement de l'addition possible de graisses, mais également de la perte d'eau au cours de la cuisson (Boedoni *et al.*, 2017).

2.4. Minéraux

Parmi les viandes, la viande de cheval présente la teneur en fer la plus élevée (3,9 mg/100 g). Le pourcentage de fer hémique dans le fer total dans la viande du filet de poulet cru est de 30%. La teneur en zinc de la volaille varie selon les espèces et les coupes, allant de 2,68 mg de zinc / 100 g chez les dindes sans peau à 0,67 mg de zinc / 100 g dans le filet de poulet. La teneur en sélénium du poulet est d'environ 10 µg / 100 g et de 6 -7 µg / 100g chez la dinde (Boedoni *et al.*, 2017).

2.5. Vitamines

La viande représente une excellente source de la majorité des vitamines hydrophiles et constitue la source alimentaire idéale de vitamine B12. Les quantités de vitamines du groupe B (par exemple, la niacine, la vitamine B6 et l'acide pantothénique) dans la volaille sont très similaires à celles des autres viandes et ne diminuent pas de manière significative pendant la cuisson. Bien que la viande rouge soit la plus abondante en vitamine B12, la volaille fournit une quantité importante de niacine. Les vitamines lipophiles telles que les vitamines E et K, contenues dans les muscles, sont moins abondantes dans la viande que dans les aliments à base de plantes (Marangoni *et al.*, 2015).

3. Propriétés technologiques de la viande de poulet

La qualité technologique de la viande correspond à son aptitude à être transformée en produits cuits ou crus, entiers ou divisés (Lebret *et al.*, 2015). La mesure du pH, des pertes en eau et de

la couleur sont les principaux indicateurs de la qualité technologique de la viande (Listrat *et al.*, 2016).

3.1. Le pH

Le pH de la viande est une mesure de l'acidification du muscle par la production d'acide lactique *post mortem* par la voie de la glycolyse en absence de respiration et de circulation (Korkeala *et al.*, 1986). La chute du pH *post mortem* se caractérise par sa vitesse et son amplitude. La vitesse de la chute est déterminée principalement par l'activité ATPasique, alors que l'amplitude de la chute du pH *post mortem* dépend principalement des réserves du muscle en glycogène (réserves énergétiques) au moment de l'abattage. En effet, la vitesse de chute de pH est toujours plus importante dans les muscles blancs glycolytiques que dans les muscles oxydants rouges en raison de la teneur plus élevée en glycogène musculaire *in vivo* et pendant l'abattage dans les fibres glycolytiques blanches à contraction rapide (Lebret *et al.*, 2005 et Listrat *et al.*, 2016).

La stimulation du métabolisme glycolytique du muscle dans l'heure qui suit l'abattage augmente le taux de diminution du pH. Chez le poulet de chair, il passe de 7,0 à 6,0 – 6,2 après 24 h *post mortem* (Keeton et Osburn, 2010). En fait, un muscle avec une baisse rapide de pH et une valeur de pH proche du point isoélectrique peut être caractérisé comme étant aqueux et de couleur pâle, connu sous le nom d'état pâle, mou et exsudatif (PSE). Toutefois, si la baisse et l'ampleur du pH diminuent, les niveaux de pH seront beaucoup plus élevés que le point isoélectrique conduisant à une viande sèche de couleur foncée. Cet aspect est connue sous le nom du syndrome sombre, ferme et sèche (DFD) (Figure 3.2) (Braden, 2013 et Listrat *et al.*, 2016).

En effet, le pH a une incidence directe sur les critères de qualité de la viande tels que la capacité de rétention d'eau, la couleur, la jutosité et la durée de vie. La viande du filet de poulet à pH élevé a une capacité de rétention d'eau plus élevée que la viande à pH inférieur. L'identification de la couleur est un moyen facile de déterminer le pH de la viande. Si la viande est très sombre, elle aura un pH élevé et si elle est très claire, elle aura un pH bas (Allen *et al.*, 1997 et Nacir *et al.*, 2017).

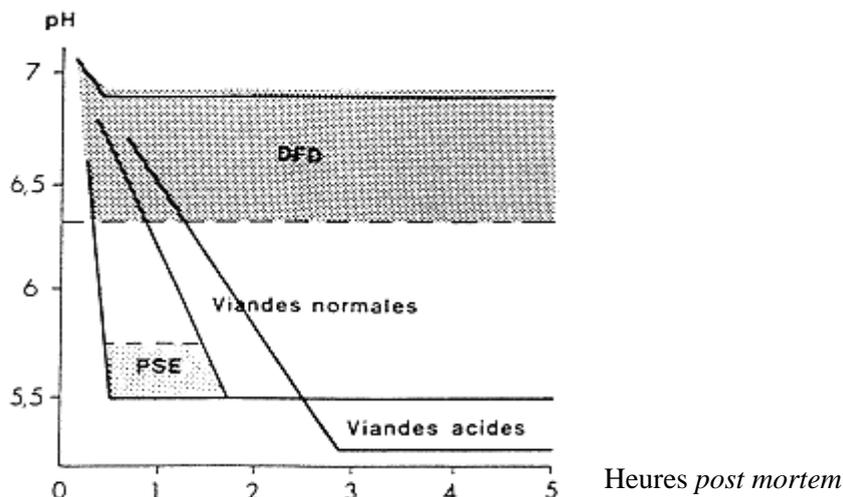


Figure 3.2 : Qualités de la viande en fonction de l'évolution *post mortem* du pH (PSE : Pale, Soft & Exudative, DFD : Dark, Firm & Dry) (Monin, 1988)

3.2. Capacité de rétention en eau

Le pouvoir de rétention d'eau représente la capacité de la viande à retenir l'eau qui s'écoule spontanément après la coupe ou au moment des applications de forces externes comme le chauffage et la pression. L'augmentation de la teneur en eau des muscles, renforçant la tendreté, la jutosité et l'apparence et améliore ainsi la qualité et la valeur économique de la viande. La capacité de rétention en eau est fonction de facteurs tels que le pH, la longueur du sarcomère, la force ionique, la pression osmotique et le développement de la *rigor mortis* qui agissent en modifiant les composants cellulaires et extracellulaires (Offer et Knight, 1988).

Après l'abattage, en raison de l'absence de respiration, la production d'acide lactique se traduit par une baisse du pH qui entraîne une dénaturation des protéines, une perte de solubilité des protéines et une réduction globale des groupes réactifs disponibles pour la liaison de l'eau aux protéines musculaires. Lorsque le pH post-mortem du muscle a atteint le point isoélectrique auquel sont égales les charges positives et négatives sur les groupes réactifs des protéines, cela réduit la capacité de l'eau à attirer l'actine et la myosine et à perdre l'eau goutte à goutte (Miller, 2002 et nacir *et al.*, 2017). Lorsque le pH de la viande augmente ou diminue à partir du point isoélectrique, le rapport des charges positives et négatives changera, augmentant la capacité de l'actine et de la myosine à lier étroitement l'eau (Miller, 2002). Le manque d'apport en énergie entraîne aussi une accumulation de complexe d'actinomyosine, ce qui entraîne une perte d'espace entre les protéines myofibrillaires et la diminution de la capacité de rétention en eau qui en résulte (Nacir *et al.*, 2017). Au fur et à

mesure que la *rigor mortis* progresse, les cations divalents tels que Mg^{2+} et Ca^{2+} présents dans le sarcoplasme neutralisent les groupes réactifs chargés négativement sur les chaînes protéiques adjacentes, réduisant ainsi la répulsion électrostatique entre eux, ce qui réduit davantage l'espace disponible pour la rétention d'eau par voie intramusculaire et augmente la quantité d'eau expulsée vers l'espace extracellulaire (Nacir *et al.*, 2017).

3.3. La couleur

La composition des fibres musculaires influe sur la couleur de la viande en fonction de la quantité et de l'état chimique de la myoglobine (Listrat *et al.*, 2016). De nombreux facteurs *ante mortem* et *post mortem*, tels que l'espèce animale, le sexe, l'âge, la localisation anatomique et la fonction physiologique des muscles, l'activité physique, la cinétique de diminution du pH, le conditionnement de la viande, influencent la concentration et l'état chimique de pigments et par conséquent la couleur de la viande (Lebret *et al.*, 2015). Les muscles à $pH \geq 6,0$ sont caractérisés par une dénaturation minimale des protéines, une faible diffusion de la lumière et donc un aspect translucide. Cependant, les muscles à $pH \leq 6,0$ subissent une plus grande dénaturation des protéines, ce qui entraîne une diffusion accrue de la lumière et une opacité accrue (Anadon, 2002). De plus, la couleur de la viande dépend aussi de l'alimentation. A titre d'exemple, l'alimentation des veaux avec du lait de vache en poudre ne contenant pas de fer limite la biosynthèse de la myoglobine, ce qui donne une chair pâle résultant d'une carence en fer.

4. Qualité hygiénique et sanitaire de la viande

Cette qualité est primordiale, la viande destinée à être consommée dans des conditions de sécurité quasi absolues. La contamination de la viande de volaille par des agents pathogènes reste un important problème de santé publique. En fait, pendant et après l'abattage, les bactéries issues du microbiote animal, de l'environnement de l'abattoir et de l'équipement utilisé contaminent les carcasses, leurs découpes ultérieures et les produits transformés. Certains de ces contaminants bactériens peuvent se développer ou survivre pendant la transformation et le stockage de viande. Les deux principaux agents pathogènes responsables de la gastro-entérite humaine due à la consommation de viande de volaille sont *Salmonella* et *Campylobacter spp.* (Rouger *et al.*, 2017).

La viande peut également contenir des substances chimiques provenant de produits utilisés volontairement, tels que les médicaments vétérinaires (antibiotiques et hormones), les additifs

alimentaires et les auxiliaires technologiques, tandis que les désinfectants, les métaux lourds et les pesticides sont introduits de manière non intentionnelle au cours de l'élevage et/ou de la transformation. L'utilisation intensive des antibiotiques dans de nombreux pays et en Algérie a entraîné la présence de résidus d'antibiotiques dans la viande, ce qui entraîne également un risque pour la sécurité sanitaire des aliments d'origine animale (Boutrid et Tebbani, 2017 ; Baazize-Ammi *et al.*, 2019). Ces résidus chimiques de la viande peuvent causer de graves problèmes de santé.

5. Alimentation des poulets de chair et qualité de la viande

Parmi de nombreux facteurs (Age, sexe, environnement,...), l'alimentation des poulets de chair a un impact significatif sur la qualité et la sécurité de la viande. Le niveau et la nature des apports alimentaires permet de contrôler la croissance et la composition de la viande (Lebret *et al.*, 2015). Berri *et al.* (2014) ont montré qu'un apport élevé en lysine favorise la production de viande dont le pH ultime est suffisamment élevé et peut avoir aussi un impact significatif sur les rendements en filets, qui, ajouté aux pertes en eau moins élevées lors du stockage ou de la transformation, réduisant ainsi les coûts de production du produit fini. De plus, une augmentation de la teneur en protéines et en acides aminés des carcasses a été rapportée en réduisant les graisses alimentaires et en augmentant les protéines ou les acides aminés (Waldroup *et al.*, 2001). De même, les dépôts de lipides dans les tissus adipeux et musculaires sont affectés par la quantité des apports, mais aussi le rapport énergie/protéine, ainsi que par la composition des lipides ingérés ($\omega 3/\omega 6$) (Lebret *et al.*, 2015). Une baisse de la graisse abdominale a été rapportée chez des poulets ayant une alimentation riche en AGPI (Crespo et Esteve-Garcia, 2001).

L'enrichissement de l'alimentation des poulets par les additifs biologiques a des effets remarquables sur la qualité de la viande. A titre d'exemple l'administration des probiotiques (*cf* chapitre 2). En effet, les travaux portant sur l'alimentation visent à développer des stratégies alimentaires permettant d'augmenter la valeur de la viande de poulet en tant qu'aliment sans danger produit à partir d'animaux en bonne santé non traités avec des antibiotiques, à savoir un aliment fonctionnel sain riche en AGPI *n-3* et en antioxydants.

PARTIE EXPERIMENTALE

OBJECTIFS DE LA THESE

Pour apporter notre contribution dans l'évaluation de "l'impact de l'utilisation des produits biologiques en élevage avicole sur la santé de l'animal et la qualité de ses produits", nous avons retenu l'association de probiotiques (*Pediococcus acidilactici* et *Saccharomyces cerevisiae*) et de l'extrait de *Yucca schidigera* pour l'amélioration des performances zootechniques et la maîtrise du risque coccidien en vue de permettre le bien-être et la santé de l'animal et par conséquent une meilleure qualité de la viande.

Pour atteindre cet objectif, nous avons adopté une démarche expérimentale qui repose sur trois chapitres, à savoir :

- **Chapitre 1 :** Etude de l'interaction entre les probiotiques (*Pediococcus acidilactici* et *Saccharomyces cerevisiae*) et l'effet de l'extrait de *Yucca schidigera* (anticoccidien naturel) sur leur croissance en culture mixte - essai in vitro.
- **Chapitre 2 :** Effet d'un régime supplémenté de probiotiques et de l'extrait de *Yucca schidigera* sur la qualité technologique et microbiologique des muscles du filet de viande de poulet de chair.
- **Chapitre 3 :** Effet d'un régime supplémenté de probiotiques et de l'extrait de *Yucca schidigera* sur la qualité nutritionnelle des muscles du filet et de la cuisse du poulet de chair.

CHAPITRE 1
ETUDE DE L'INTERACTION ENTRE LES PROBIOTIQUES
***Pediococcus acidilactici* ET *saccharomyces cerevisiae* ET L'EFFET**
D'UN EXTRAIT DE *Yucca schidigera* SUR LEUR CROISSANCE EN
CULTURE MIXTE - ESSAI IN VITRO

CHAPITRE 1

ETUDE DE L'INTERACTION ENTRE LES PROBIOTIQUES *Pediococcus acidilactici* ET *Saccharomyces cerevisiae* ET L'EFFET DE L'EXTRAIT DE *Yucca schidigera* SUR LEUR CROISSANCE EN CULTURE MIXTE - ESSAI IN VITRO

1. Matériel et méthodes

1.1. Microorganismes et milieux de culture

Les microorganismes retenus dans ce travail sont deux probiotiques, produits spécifiquement pour la nutrition animale par la société Lallemand :

- La bactérie lactique, *Pediococcus acidilactici* MA18/5M, commercialisée sous la désignation (Bactocell® PA10).
- La levure *Saccharomyces cerevisiae* type boulardii CNCM I-1077, commercialisée sous la désignation LEVUCCELL SB 10ME TITAN.

Le milieu de culture utilisé pour l'évaluation de l'interaction entre les deux probiotiques est un bouillon nutritif optimisé par des essais préliminaires, contenant : 25g de glucose, 5g de peptone, 4g d'extrait de levure et 2g d'extrait de viande dans 1000 ml d'eau distillée. Le pH de ce milieu est ajusté à pH 5,5.

1.2. Matériel végétal

L'anticoccidien à base de plantes, utilisé dans le présent travail, commercialisé par la société NORFEED SUD (France) sous l'appellation Norponin XO[®], est un produit naturel liquide à base de la plante *Yucca schidigera*, riche en saponines. Il est administré dans le régime alimentaire des volailles à raison de 1 litre pour 1000 litres d'eau de boisson.

1.3. Evaluation de l'interaction entre *Pediococcus acidilactici* et *Saccharomyces cerevisiae*

1.3.1. Revivification des souches

Les souches probiotiques sont revivifiées, à partir de cultures lyophilisées, par repiquages successifs dans du bouillon MRS et Sabouraud pour *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* et incubées à 37°C pendant 16heures et 30°C pendant 24 heures, respectivement. Après vérification de la pureté des souches par des examens macroscopiques et microscopiques, les cultures ainsi obtenues sont réparties à raison d'un millilitre par cryotube stérile, 200µl de glycérol stérile sont ajoutés et conservés à -18 °C.

1.3.2. Préparation des *inocula*

Les souches probiotiques, préalablement stockées à -18 °C, sont décongelées, mises en culture par des repiquages successifs et incubées à leur température optimale de croissance pendant 24h. À partir de chaque pré-culture nous avons réalisé un ensemencement à la surface de géloses spécifiques et incubées à 37°C pendant 48 heures et 25°C pendant 5 jours pour *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* respectivement.

Une population de $\approx 7 \log$ UFC/mL et $\approx 6 \log$ UFC/mL de *P. acidilactici* et *S. cerevisiae*, respectivement a été retenue par repiquage des colonies dans le bouillon spécifique de chaque souche et incubation à leur température optimale de croissance pendant 18h.

1.3.3. Culture pure et mixte

La croissance de *P. acidilactici* et de *S. cerevisiae* a été suivie en culture pure et mixte sur bouillon nutritif optimisé selon la méthode de Haines et Harmon modifiée (1973).

Trois séries de sept tubes de 10ml de bouillon nutritif optimisé ont été préparé, les deux premières séries correspondant aux cultures pures de *P. acidilactici* et de *S. cerevisiae*, respectivement, et la dernière, celle de leur culture mixte. Ces tubes ont été ensemencés par 100 μ l de chaque inoculum correspond, préalablement préparé. L'ensemble est incubé à 30°C. La cinétique de croissance a été évaluée par dénombrement des cellules viables sur milieu gélosé et mesure du pH du milieu cultivé aux différents intervalles de temps (0h, 4h, 8h, 12h, 16h, 20h et 24h) (figure 1.1).

A partir des cultures ainsi préparées pour chaque intervalle de temps, un millilitre est prélevé pour la réalisation des dilutions décimales. A partir de chaque dilution, 100 μ l ont été ensemencés sur la gélose spécifique de chaque souche. Après incubation, seules les boites contenant entre 30 à 300 colonies sont prises en compte. Les résultats sont exprimés en log UFC/ml.

1.3.4. Paramètres de croissance

Les paramètres caractéristiques pour la croissance des souches probiotiques ont été calculés selon les équations cités par Shin *et al.* (2000) :

- Taux de croissance (μ h⁻¹) où le nombre des divisions qui se produisent dans une heure :
$$\mu = (\ln X_2 - \ln X_1) / (t_1 - t_2) \text{ (h}^{-1}\text{)}$$
 où X₂ et X₁ sont la densité cellulaire à l'instant t₂ et t₁.
- Temps de génération (G) représente l'intervalle du temps nécessaire pour le doublement par division d'une seule cellule : $G = \ln 2 / \mu$ (min).

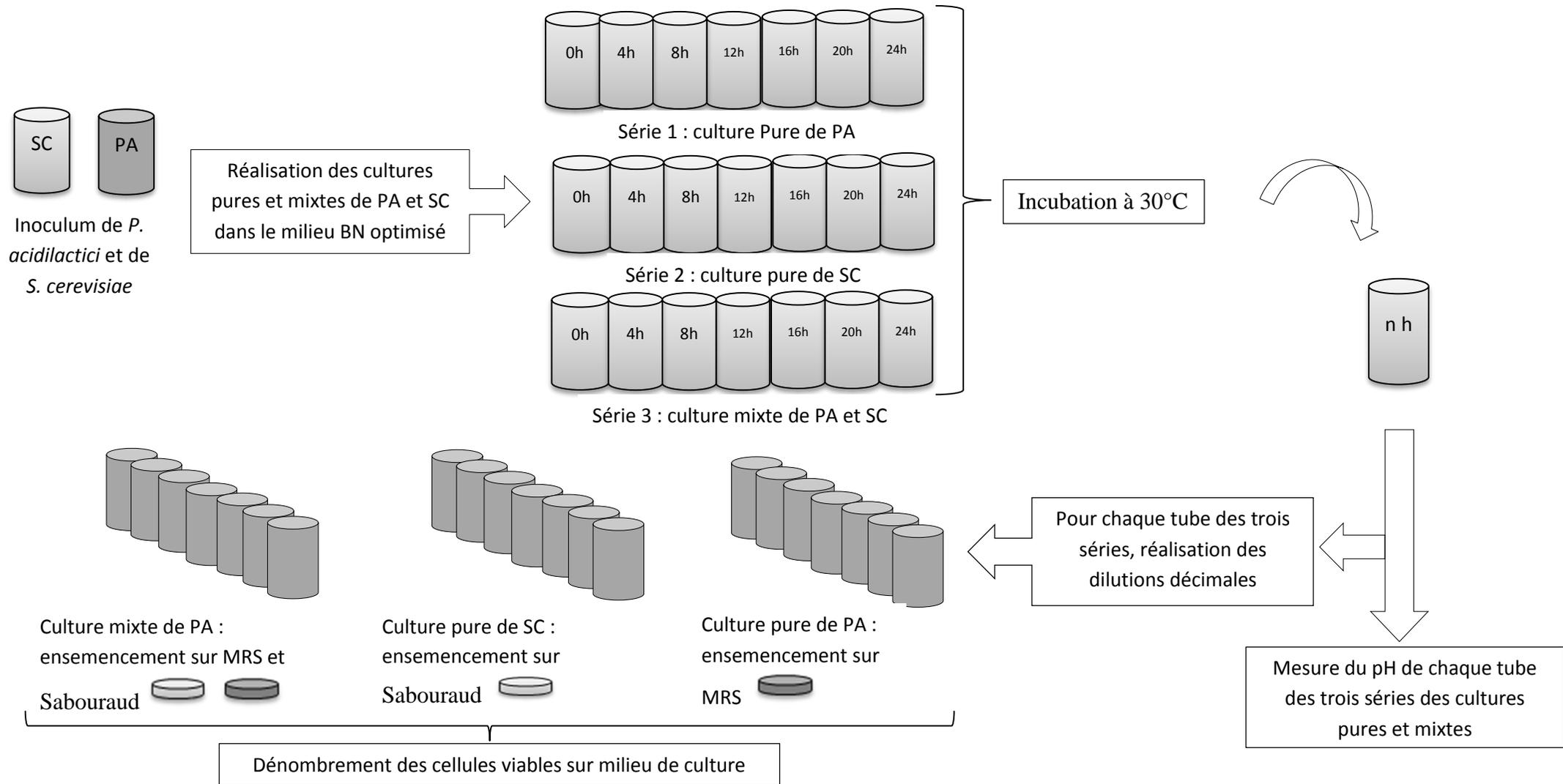


Figure 1.1 : Diagramme de la culture pure et mixte de *P. acidilactici* et de *S. cerevisiae*

1.4. Evaluation de l'effet de l'extrait de *Yucca schidigera* sur la croissance de *Pediococcus acidilactici* et de *Saccharomyces cerevisiae* en culture mixte

1.4.1. Préparation de la gamme de concentration d'extrait de *Yucca schidigera*

Une gamme de concentration variant de 10 à 300 µl/ml est réalisée à partir de la solution de l'extrait anticoccidien à base de *Yucca schidigera* filtrée sur membrane Millipore stérile (diamètre 0,45 µm).

1.4.2. Test de sensibilité

La sensibilité des souches probiotiques à l'extrait d'anticoccidien à base de *Yucca schidigera* a été réalisée par la technique de diffusion sur milieu gélosé (Figure 1.2).

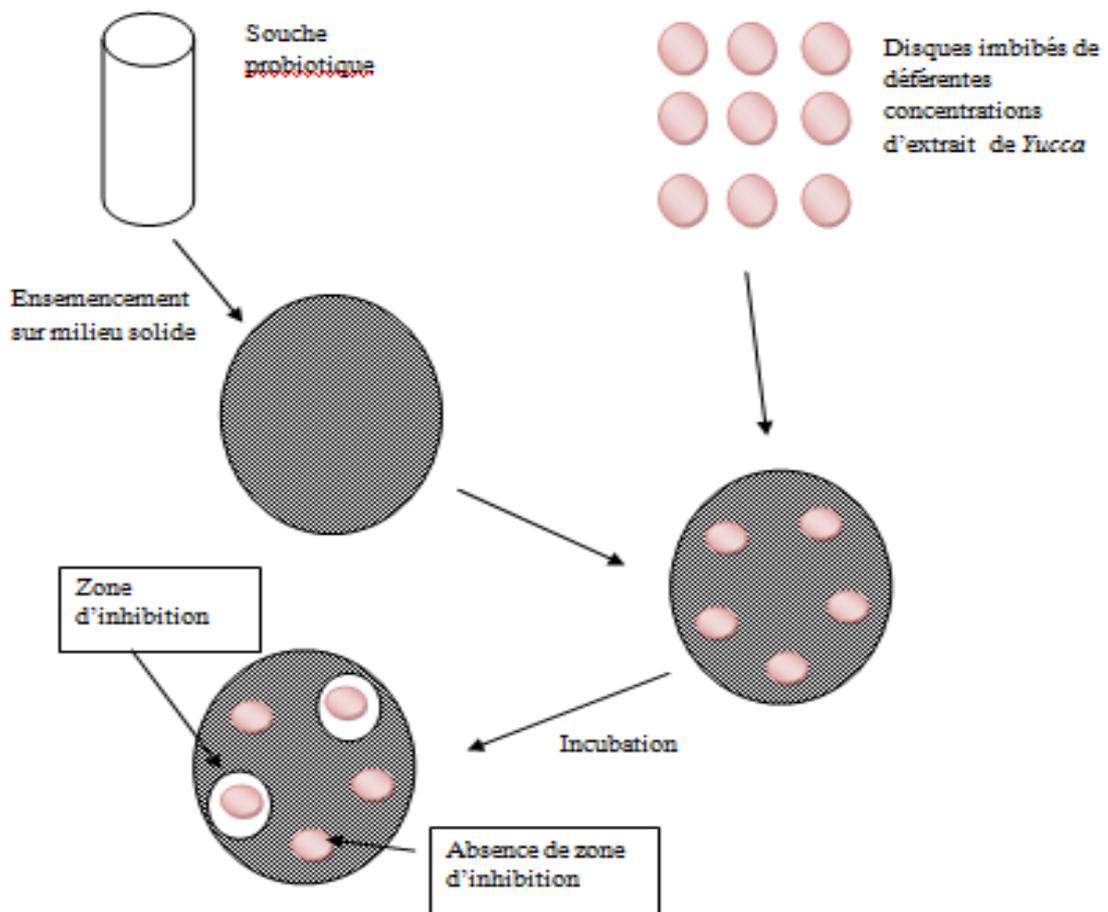


Figure 1.2 : Illustration de l'effet de différentes concentrations l'extrait de *Yucca schidigera* sur la croissance de *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* au milieu solide

Les milieux MRS et Sabouraud ont été ensemencés, selon la méthode d'écouvillonnage, par des inocula de *P. acidilactici* ($\approx 7 \log$ UFC/ml) et *S. cerevisiae* ($\approx 6 \log$ UFC/ml), respectivement. Une série de disques, d'un diamètre de 6 mm, imbibés avec une gamme de concentrations d'extrait anticoccidien ont été déposés à la surface des milieux en respectant la distance minimale entre deux disques de 30 mm. Nous avons utilisés comme témoin négatif, un disque imprégné par de l'eau distillée et comme témoin positif, des disques imprégnés par l'Ampicilline (concentration : 10 μ g) et le Fluconazole (concentration : 25 μ g).

Après 30 min de diffusion à la température du laboratoire, l'incubation a été faite à 37°C pendant 24h pour *P. acidilactici* et 25°C pendant 48h pour *S. cerevisiae*. L'absence ou la présence autour des disques d'une zone d'inhibition a été observée. L'interprétation a été faite selon Ponce *et al.* (2003).

1.4.3. Culture mixte des probiotiques en présence et en absence de l'extrait de *Yucca schidigera*

L'effet de l'extrait anticoccidien de *Yucca schidigera* sur la croissance de *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* en culture mixte a été réalisée par la méthode de Haines et Harmon modifiée (1973). Deux séries de tubes de 10 ml, la première contenant le bouillon nutritif optimisé seul et la seconde le bouillon nutritif optimisé additionné de l'extrait anticoccidien de *Yucca schidigera* à raison de 100 μ l/ml ont été ensemencées par une culture mixte de *P. acidilactici* et de *S. cerevisiae* à raison de 100 μ l de chaque inoculum préalablement préparé puis incubées à 30°C (Figure 1.3).

La cinétique de croissance a été évaluée par dénombrement des cellules viables sur milieu gélosé et le pH du milieu cultivé a été mesuré aux différents intervalles de temps (0h, 4h, 8h, 12h, 16h, 20h, 24h, 48h, et 72h). Le dénombrement des cellules viables a été réalisé selon le même protocole déjà cité.

1.4.4. Paramètres de croissance

Les paramètres caractéristiques pour la croissance des souches probiotiques ont été calculés selon les équations de Shin *et al.* (2000) déjà citées.

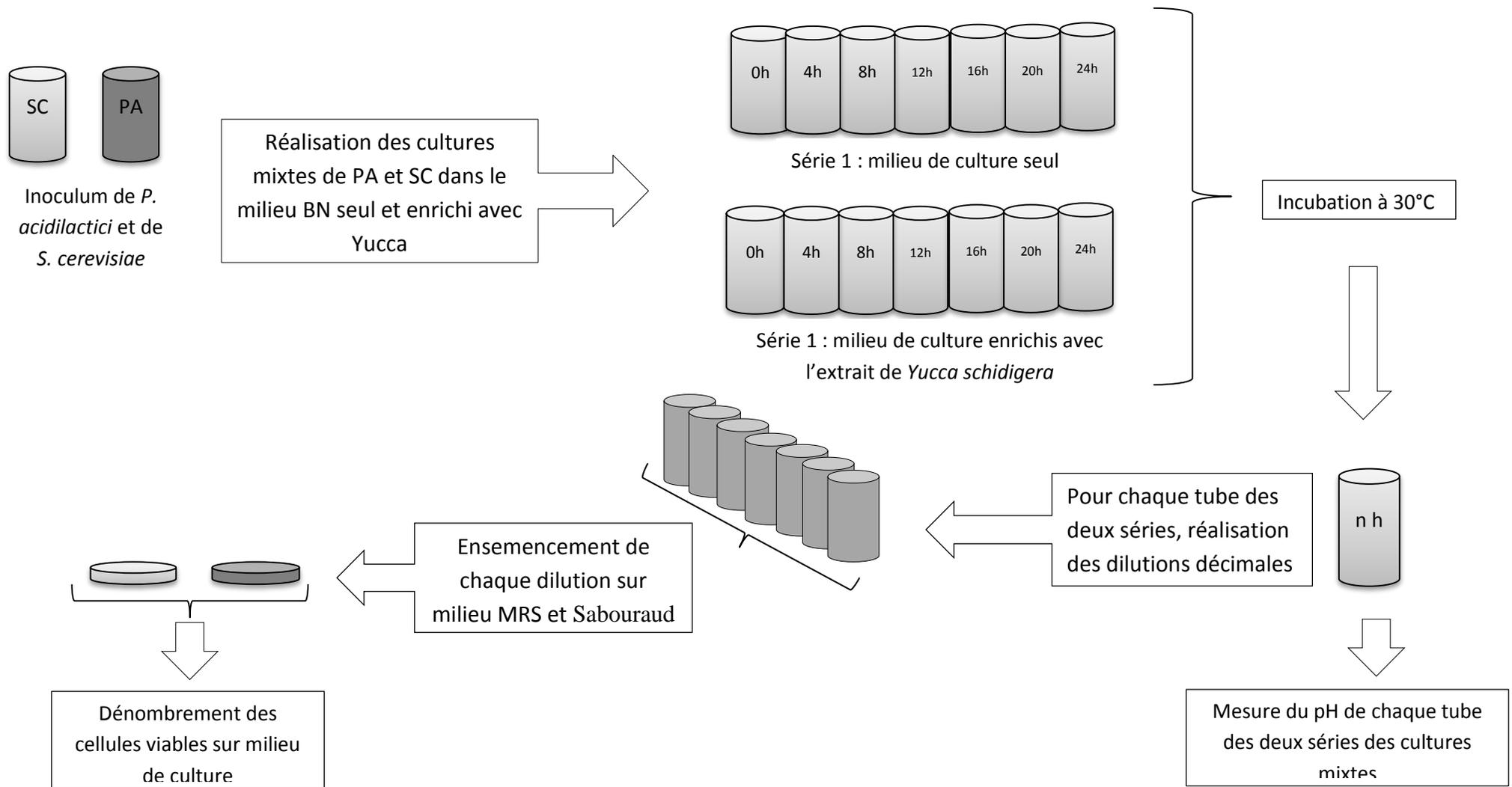


Figure 1.3 : Diagramme de la culture mixte des probiotiques en présence et en absence de l'extrait de *Yucca schidigera*

2. Résultats et discussion

2.1. Evaluation de l'interaction entre *Pediococcus acidilactici* et *Saccharomyces cerevisiae*

L'évolution de la croissance de *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* en culture pure et en culture mixte est représentée en figure 1.4.

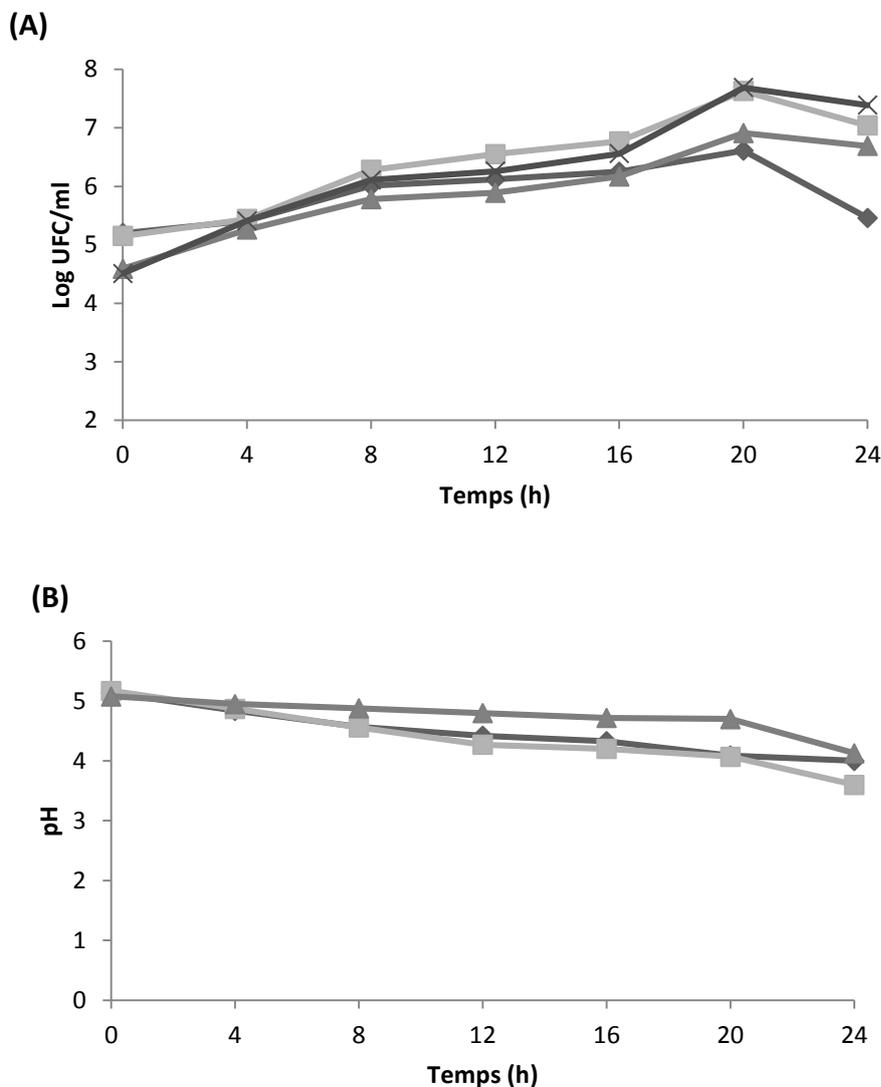


Figure 1.4 : Suivi de la croissance de *P. acidilactici* et de *S. cerevisiae* en culture pure et en culture mixte.

(A) : Courbes de croissance de (◆) *P. acidilactici* et de (▲) *S. cerevisiae* en culture pure ; de (■) *P. acidilactici* et (×) *S. cerevisiae* en culture mixte.

(B) : Courbes de l'évolution de pH de la culture pure de (◆) *P. acidilactici* et de (▲) *S. cerevisiae* et la (■) culture mixte de *P. acidilactici* et *S. cerevisiae*.

Nous avons enregistré une augmentation des populations de *P. acidilactici* et de *S. cerevisiae* au cours des 20 premières heures pour toutes les cultures avec un maximum de croissance en culture mixte de 7,63 et 7,69 log UFC/ml, respectivement.

Nous avons noté une diminution du temps de génération des populations de *P. acidilactici* et de *S. cerevisiae* dans la culture mixte par rapport à la culture pure, à savoir : 134 min vs 181 min pour *P. acidilactici* et 113 min vs 155 min pour *S. cerevisiae*.

Le suivi du pH des milieux de culture a montré, pour la culture pure de *P. acidilactici* et la culture mixte des deux probiotiques, une baisse du pH de 5,0 à 4,0 après 20 h d'incubation seulement alors que pour la culture pure de *S. cerevisiae* la baisse du pH 5,15 à 4,12 n'a été obtenue qu'après 24h.

De nombreux travaux ont montré qu'il existe des interactions positives et négatives entre les levures et les bactéries lactiques dans les produits alimentaires : levain (sourdough) (Damiani *et al.*, 1996 ; Gobetti *et al.*, 1994), lait de kefir (Cheirsilp *et al.*, 2003a, 2003b), lait fermenté (Gadaga *et al.*, 2001 ; Alvarez-Martin *et al.*, 2008 ; Liu *et al.*, 2009) et boissons fermentées (Freire *et al.*, 2017).

Dans la présente étude, nous pouvons dire qu'il existe une interaction positive (stimulation) entre *P. acidilactici* et *S. cerevisiae*. Dans la classification de Frederickson (1977), cette interaction s'apparente à un mutualisme plus spécifiquement, une proto-coopération puisque la coexistence des deux souches n'est pas vitale mais favorise le développement de chacune des populations.

L'association bactérienne composée par *S. thermophilus* et *L. bulgaricus* impliquée dans l'écosystème yaourt (Sasaki *et al.*, 2014) représente un bon exemple de cette interaction ; *L. bulgaricus* présente une activité protéolytique plus élevée que celle de *S. thermophilus*, qui lui permet de libérer des acides aminés comme la valine, l'histidine, la glycine, la leucine et la méthionine qui stimulent la croissance de *S. thermophilus*. Cette dernière stimule la croissance de *L. bulgaricus* par la production de certains métabolites comme l'acide formique, le CO₂, l'acide pyruvique et l'acide folique (Zourari *et al.*, 1992).

Quant aux interactions entre la levure *S. cerevisiae* et les bactéries lactiques, l'étude de Neviani, (2001) a révélé qu'il y avait une proto-coopération entre *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* et la levure *S. cerevisiae*. De même, Cheirsilp *et al.* (2003b) ont montré aussi qu'il y avait un mutualisme entre *Lactobacillus kefiranofaciens* et *S. cerevisiae* utilisés dans la production du kefir. Les travaux de Stadie *et al.* (2013) portent sur l'étude des interactions entre une collection de souches de Lactobacilles

et la levure *S. cerevisiae* isolés à partir de l'eau de kéfir, ont rapporté une stimulation de chaque population.

Cette interaction positive entre *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* pourrait être s'expliquer par leur métabolites secrétés dans le milieu de culture dont les acides aminées, les vitamines et les acides organiques (cinétique de l'évolution du pH, figure 1.4). Selon Ponomarova *et al.* (2017), l'accroissement des niveaux de la population levurienne est dû à l'acidification du milieu par les lactobacilles tandis que la population de ces derniers est améliorée par la richesse du milieu de culture par des éléments nutritifs produits par les levures tels les acides aminés et la vitamine B₆.

En conséquence, cette synergie entre les probiotiques peuvent potentialiser leur effets bénéfiques, notamment vis-à-vis des agents pathogènes, une inhibition d'*Escherichia coli* et de *Staphylococcus aureus* a été rapporté sous l'action combinée des bactéries lactiques et des levures (kéfir) (Kivanc et Yapici, 2019). En effet, nos observations peuvent expliquer les effets positifs obtenus *in vivo* dans d'autres études portant sur l'association des probiotiques en élevage de poulets de chair. A titre d'exemple, l'association de *Lactobacillus* et de *S. cerevisiae* a permis d'obtenir des meilleures performances zootechniques des poulets que l'utilisation de chaque probiotique seul Chen *et al.* (2017).

2.2. Evaluation de l'effet de l'extrait de *Yucca schidigera* sur la croissance de *Pediococcus acidilactici* et de *Saccharomyces cerevisiae* en culture mixte

2.2.1. Test de sensibilité

Les résultats du test de sensibilité sont rapportés dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1 : Diamètres des zones d'inhibitions de la croissance de *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* en présence de l'extrait de *Y. schidigera*.

		zones d'inhibitions de croissance de (mm)	
		<i>P. acidilactici</i>	<i>S. cerevisiae</i>
Témoin négatif		0	0
Témoin positif	Ampicilline	30	/
	Fluconazole	/	18
Concentrations de l'extrait de <i>Yucca</i>	10 µl/ml	0	0
	50 µl/ml	0	0
	100 µl/ml	0	8
	200 µl/ml	0	10
	300 µl/ml	0	15

Les diamètres obtenus ont révélé que l'extrait de *Yucca schidigera* n'a aucun effet sur la croissance de *P. acidilactici* alors que la levure *S. cerevisiae* a montré une sensibilité à partir de la concentration de 0,1 ml/ml avec une corrélation directement proportionnelle avec la concentration de l'extrait.

2.2.2. Evaluation de l'effet de l'extrait de *Yucca schidigera* sur la croissance de *Pediococcus acidilactici* et *Saccharomyces cerevisiae*

L'évolution de la croissance de *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* en culture mixte en présence et en absence de l'extrait de *Yucca schidigera* est représentée en figure 1.5.

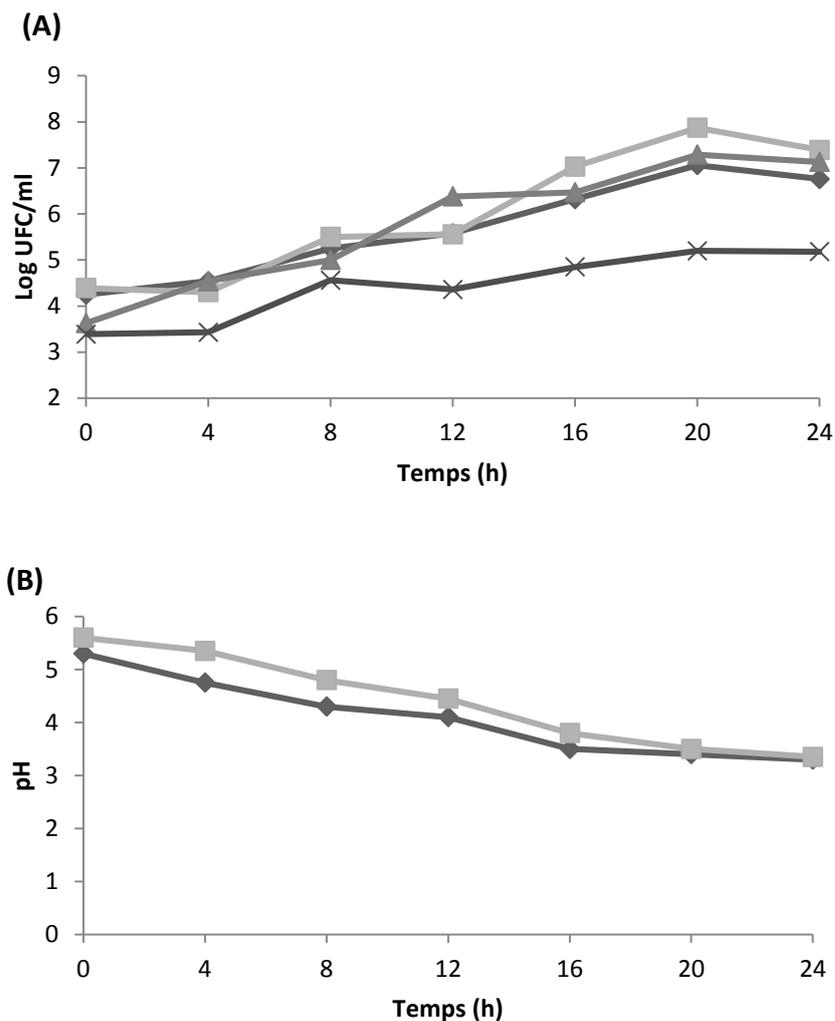


Figure 1.5 : Suivi de croissance de *P.acidilactici* et *S. cerevisiae* en culture mixte en présence et en absence de l'extrait de *Yucca schidigera*.

(A) : Courbes de croissance de (◆) *P.acidilactici* et de (▲) *S. cerevisiae* en absence de *Yucca schidigera* et de (■) *P.acidilactici* et (×) *S. cerevisiae* en présence de *Yucca schidigera*

(B) : Courbes de l'évolution de pH des cultures: (◆) en absence de *Yucca schidigera* et (■) en présence de *Yucca schidigera*

Nous avons constaté que l'extrait de *Yucca schidigera* a favorisé la croissance de *P. acidilactici* atteignant une population maximale de 7,87 log UFC/ml au bout de 20h, alors qu'il inhibe celle de *S. cerevisiae* (5,2 log UFC/ml).

Nous avons noté aussi qu'en présence de l'extrait de *Yucca schidigera*, le temps de génération de la population de *P. acidilactici* a diminué (81 min vs 115 min) alors que celui de *S. cerevisiae* a augmenté (101 min vs 164 min).

Le suivi du pH des milieux de culture a révélé un abaissement du pH 5,0 à pH 4,0 dans toutes les cultures en présence et en absence de l'extrait de *Yucca schidigera*.

Par conséquent, nous pouvons dire que la culture en présence de l'extrait de *Yucca schidigera* accuse une stimulation de croissance de *P. acidilactici* et un ralentissement de croissance de *S. cerevisiae*.

L'action stimulatrice de l'extrait de *Yucca schidigera* vis-à-vis de *P. acidilactici* a été rapportée par de nombreux auteurs qui ont étudié l'effet des plantes à saponines sur la croissance des bactéries lactiques en vue de développer des compléments alimentaires naturels en santé humaine et animale. En effet Grandhi *et al.* (1998) ont signalé un effet simulant de l'extrait de *Yucca schidigera* sur la croissance des bifidobactéries. De même, l'étude de Shori, (2013) a révélé que l'addition de soja connu par sa richesse en composés actifs (polyphénols, saponines,...) au yaourt, stimule la croissance de *Lactobacillus spp.* et *Streptococcus thermophilus*. He *et al.* (2011) ont étudié l'effet des saponines stéroïdes de *Fructus tribuli* sur la croissance des souches de bifidobactéries et de *Lactobacillus acidophilus* par suivi de croissance et mesure de pH ; les résultats ont montré que ces saponines ont un effet stimulateur de la croissance de bifidobactéries alors qu'elles n'ont pas un effet évident sur la croissance de *Lactobacillus acidophilus*. En revanche, l'étude de Salem *et al.* (2010) a montré que des métabolites secondaires extraits de la plante *Acacia saligna leaves*, tels les polyphénols totaux et les saponines ayant des effets négatifs sur la croissance des souches de *L. plantarum*, *E. faecium* isolées du tube digestif de moutons.

Pour l'action inhibitrice à l'égard de *S. cerevisiae*, les propriétés antimicrobiennes des substances bioactives de *Yucca*, ont déjà été rapporté par de nombreux auteurs vis-à-vis de quelques levures et bactéries pathogènes (Cheeke, 1996 ; Wallace, 2004 ; Hassan *et al.*, 2010 et Guil-Guerrero *et al.*, 2016). La levure *S. cerevisiae* s'est avérée sensible à l'extrait de *Yucca*, résultat qui est en accord avec ceux de Killen *et al.*, (1998) indiquant que les saponines stéroïdes de *Yucca schidigera* inhibent la croissance de *S. cerevisiae* et *Bacillus pasteurii*, cette inhibition n'a été observée qu'avec les populations microbiennes de faible densité. L'étude de Bononi *et al.* (2013) montre que l'extrait de *Yucca filamentosa* inhibe la croissance de *S. cerevisiae*, et n'a aucun effet sur la croissance d'*Aspergillus brasiliensis*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*. Aussi, Avato *et al.* (2006) ont rapporté l'effet inhibiteur des saponines de *Medicago sp.* vis-à-vis des bactéries ayant un intérêt médical tel : *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *Staphylococcus aureus* et *Enterococcus faecalis*, et aussi à l'égard de la levure *S. cerevisiae* qu'a également montré une sensibilité envers ces saponines.

L'effet antimicrobien de l'extrait de *Yucca schidigera* est attribué à l'action des saponines (Killen *et al.*, 1998) qui provoquent une diminution de la tension de surface de la membrane des cellules microbiennes entre la phase hydrophile et la phase hydrophobe causant une fragilisation (Hostettmann *et al.*, 1995) et une perturbation de la membrane, action semblable à celle des ionophores (Cheeke, 2001).

La variabilité de la sensibilité des souches probiotiques vis à vis de l'extrait de *Yucca schidigera* pourrait s'expliquer par :

- La nature de la souche testée et sa densité : Les travaux de Wang *et al.* (2000) ont montré que certains champignons (*Neocallimastix frontalis* et *Piromyces rhizinflata*) sont plus sensibles vis-à-vis l'extrait de *yucca schidigera* que les bactéries. Cependant, les travaux de Killen *et al.* (1998), montrent que les saponines de *Yucca schidigera* peuvent empêcher la croissance microbienne à de basses densités cellulaires et n'ont aucun effet sur les populations microbiennes denses.
- La dose de l'extrait : Selon Sen *et al.* (1998), il existe une forte corrélation entre la concentration des saponines et l'inhibition ou stimulation d'*E. coli*.
- La méthode d'évaluation de l'activité biologique : chaque méthode de détermination de l'activité antimicrobienne des extraits de plantes a des avantages et des limites. En effet, Othman *et al.* (2011) proposent d'utiliser à la fois la méthode de diffusion dans l'agar et la méthode de bouillon pour évaluer l'activité antimicrobienne des extraits de plantes.

Nous pouvons donc dire que l'utilisation de l'extrait de *Yucca schidigera* en association avec les probiotiques *P. acidilactici* et *S. cerevisiae*, semble intéressante. Ces résultats *in vitro* expliquent les effets positifs obtenus *in vivo* par d'autres auteurs utilisant des associations entre les probiotiques et les extraits de plantes. L'étude *in vivo* de Hossain *et al.* (2012) porte sur la supplémentation d'aliment des poulets de chair par une synergie entre la plante *Alisma canaliculatum* connu par son activité antibactérienne (vis-à-vis *Escherichia coli*) et des probiotiques à base de bactéries lactiques (*Lactobacillus acidophilus* KCTC 3111, *Enterococcus faecium* KCTC 2022, *Bacillus subtilis* KCTC 3239) et de la levure *Saccharomyces cerevisiae* KCTC, a montré une amélioration des performances zootechniques des poulets.

CHAPITRE 2

EFFET D'UN REGIME SUPPLEMENTE DE PROBIOTIQUES ET DE
L'EXTRAIT DE *Yucca schidigera* SUR LA QUALITE
TECHNOLOGIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES MUSCLES DU
FILET DE POULET DE CHAIR

CHAPITRE 2
EFFET D'UN REGIME SUPPLEMENTE DE PROBIOTIQUES ET DE L'EXTRAIT
DE *Yucca schidigera* SUR LA QUALITE TECHNOLOGIQUE ET
MICROBIOLOGIQUE DES MUSCLES DU FILET DE POULET DE CHAIR

1. Matériel et méthodes

1.1. Animaux et aliment

L'étude a porté sur deux cents quarante (240) poussins d'un jour d'espèce *Gallus gallus domesticus*, appartenant à la souche de type chair Cobb 500 d'un poids homogène ($38 \pm 1,5$ g), mis en place pour une durée de 50 jours, dans un bâtiment de type traditionnel sis à Douaouda (W de Tipaza).

L'aliment utilisé, de type farineux, a été produit pour notre expérimentation sur la base d'une formulation tenant compte des trois phases d'élevage (démarrage, croissance et finition). La composition chimique de la ration alimentaire distribuée est donnée dans le tableau 2.1.

Les animaux ont été divisés en deux régimes avec quatre répliques :

- Régime témoin : les animaux recevaient l'aliment et l'eau de besoin sans aucun additif.
- Régime expérimental : les animaux recevaient le même aliment additionné de deux probiotiques à savoir : *Pediococcus acidilactici* MA 18/5M (Bactocell®, France) à raison de 100 ppm (concentration de 10^9 UFC/g) et *Saccharomyces cerevisiae* type boulardii CNCM I-1077, commercialisée sous la désignation LEVUCCELL SB 10ME TITAN) à raison de 100 ppm (concentration de 10^9 UFC/g). Ainsi, qu'une eau de boisson additionnée de l'anticoccidien "Norponin XO®" (NOR-FEED SUD, France) à base de l'extrait de *Yucca schidigera* à raison de 1 litre pour 1000 litres d'eau de boisson.

Les sujets des deux lots ont été vaccinés contre la maladie de Newcastle UNI L CEVA® à J₆ et rappel avec NEW L CEVA® à J₁₉ et aussi contre la maladie de Gumboro IBD L CEVA® à J₁₅.

Tableau 2.1 : Composition du régime alimentaire de base

Ingrédients, %	Démarrage	Croissance	Finition
Mais	61.00	62.00	67.00
Tourteau de soja	29.70	26.00	18.00
Carbonate de calcium	6.00	8.50	12.00
Sel	0.60	0.90	1.00
Phosphate dibasique de calcium	1.70	1.60	1.00
Premix de vitamines et minéraux ¹	1.00	1.00	1.00
Composition chimique			
Energie métabolisable, kcal/kg	3200	3300	3300
Protéine %	22.00	19.80	18.00
Ether extract %	2.90	3.00	3.00
Cendres %	5.90	7.30	6.50
P %	0.42	0.42	0.38
Calcium %	1.00	1.00	0.90

¹ Composition/ kg du produit. démarrage: vitamine A: 1200 UI; vitamine D3: 300 UI; vitamine E: 3600UI; vitamine K3: 360 mg; vitamine B1: 240 mg; vitamine B2: 720 mg; vitamine B3: 1440 mg; vitamine B5:3600 mg, vitamine B6: 360 mg; vitamine B9: 96 mg; vitamine B12: 3.0 mg; biotine: 15.0 mg; choline chloride: 65 mg; Fe: 4.4 mg; Zn: 8.8 mg; Cu: 1.65 mg; Mn: 9.9 mg; I: 138 mg; Se: 39 mg; Na: 0.02 g, Cl: 1.06 g; antioxydant: 200mg. Croissance et finition: vitamine A: 1000 UI; vitamine D3: 250 UI; vitamine E: 3000UI; vitamine K3: 300 mg; vitamine B1: 200 mg; vitamine B2: 600 mg; vitamine B3: 1200 mg; vitamine B5:3000 mg, vitamine B6: 300 mg; vitamine B9: 80 mg; vitamine B12: 2.5 mg; biotine: 12.5 mg; choline chloride: 50 mg; Fe: 4 mg; Zn: 8 mg; Cu: 1.5 mg; Mn: 9 mg; I: 125 mg; Se: 35 mg; Na: 0.02 g, Cl: 1.06 g; antioxydant: 200mg.

1.2. Abattage et prélèvement des échantillons

A la fin de l'élevage, quatre sujets représentatifs de chaque répétition ont été pris au hasard et sacrifiés. Après dépouillement et éviscération en respectant les conditions d'hygiène, les carcasses ont été maintenues à 4°C pendant 24 heures ; cette étape a pour but la maturation des muscles (*post mortem*). Etant donné la grande variété des pièces de découpes, nous avons choisi le filet représentatif du blanc de poulet, et la cuisse qui correspond aux muscles rouges. Ces prélèvements ont fait l'objet des opérations suivantes :

- Des échantillons de filets sont mis dans des pots stériles et conservés à + 4°C pour l'évaluation de la qualité microbiologique.
- Des échantillons de filets sont mis en barquette filmé et conservé à + 4°C pour l'évaluation de la qualité technologique.
- Des échantillons des muscles du filet et de la cuisse sont coupées en petits morceaux et mis chacun dans des sacs en plastique identifiés (régime, pièce, date de prélèvement) et conservés à - 18°C pour l'évaluation de la qualité nutritionnelle (voir chapitre 3).

1.3. Méthodes

1.3.1. Qualité technologique

Pour évaluer la qualité technologique de la viande, nous avons procédé à des analyses physicochimiques de la viande à savoir : le pH et les pertes en eau à la conservation à 4°C, à la cuisson et à la décongélation (figure 2.1).

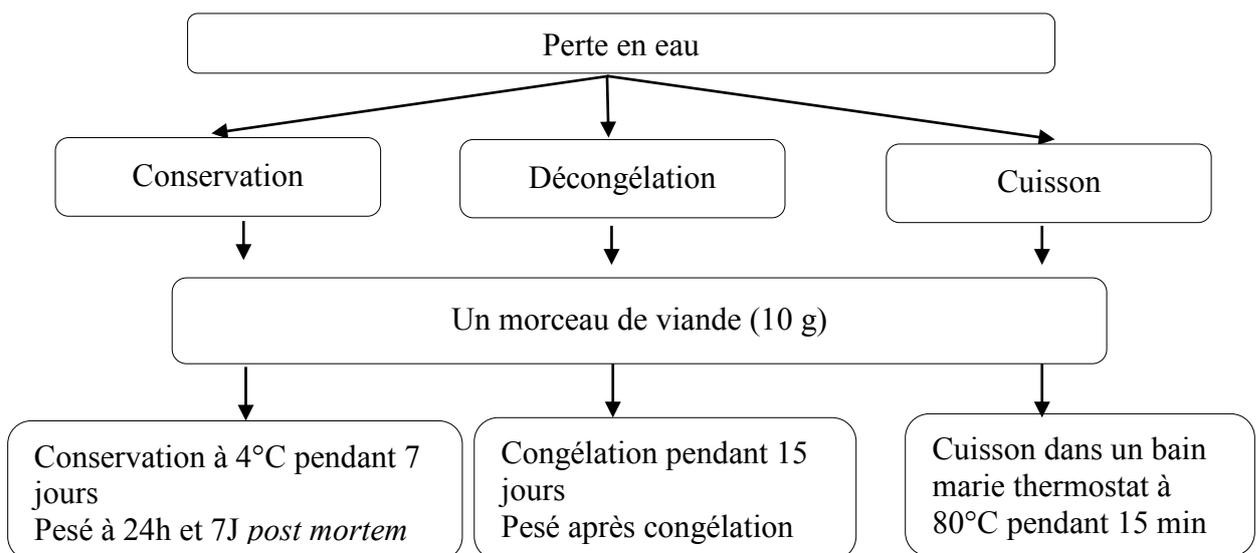


Figure 2.1 : Schéma expérimental de l'évaluation de la qualité technologique de la viande.

1.3.1.1. pH

Le pH a été mesuré à 24 heures *post mortem* par la méthode de Mehdipour et *al.* (2013). Cinq (5) grammes de chaque échantillon du filet ont été pesés et immédiatement broyés avec 25 ml d'eau distillée. Le pH de l'homogénat a été mesuré par un pH-mètre muni d'une électrode de verre combinée.

1.3.1.2. Perte à la conservation

Les pertes à la conservation ont été déterminées selon la méthode de (Karl et Honikel, 1998). Dix grammes de chaque échantillon de viande ont été placés dans des barquettes contenant un papier absorbant film et conservés à 4°C pendant 7 jours. Les pertes en eau sont exprimées en pourcentage du poids initial de morceau de viande.

La perte à la conservation est calculée par la formule suivante :

$$\% \text{ exsudat} = \frac{(\text{poids initial} - \text{poids au n jour de conservation})}{\text{poids initial}} \times 100$$

1.3.1.3. Perte à la cuisson

Les pertes à la cuisson ont été déterminées selon la méthode de (Karl et Honikel, 1998). Dix grammes de chaque échantillon de viande ont été placés dans un bain marie thermostaté à 80°C pendant 15min. Après cuisson, les échantillons sont mis dans de l'eau courante pour leur permettre de s'équilibrer à température ambiante, puis sont essuyés à l'aide de papier absorbant puis pesés.

La perte à la cuisson est calculée par la formule suivante :

$$\text{Pertes (\%)} = \frac{\text{poids avant traitement} - \text{poids après traitement}}{\text{poids avant traitement}} \times 100$$

1.3.1.4. Perte à la décongélation

Les pertes à la décongélation ont été déterminées selon la méthode de Molette, (2003). Dix grammes de chaque échantillon de viande ont été pesés avant congélation et après décongélation. La congélation de viande a duré deux semaines. Les échantillons ont été placés à +4°C la nuit précédant la mesure.

La perte à la décongélation est calculée par la formule suivante :

$$\text{Pertes (\%)} = \frac{\text{poids avant traitement} - \text{poids après traitement}}{\text{poids avant traitement}} \times 100$$

1.3.2. Qualité microbiologique

Pour évaluer la qualité microbiologique de la viande, nous avons procédé à un suivi de l'évolution de la flore bactérienne de la viande à savoir la flore aérobie mésophile totale, la

flore lactique et les entérobactéries, au cours d'une conservation réfrigérée à + 4°C pendant 10 jours.

1.3.2.1. Prise d'essai et dilutions décimales

Dix (10) grammes de viande sont introduits aseptiquement dans un sachet stérile de type «Stomacher 400» contenant au préalable 90 ml de diluant TSE (Tryptone Sel Eau). Le tout est homogénéisé à l'aide d'un appareil Stomacher® pendant 5 min. Cette suspension est considérée comme la dilution mère (10^{-1}) à partir de laquelle une série de dilutions décimales (10^{-2} , 10^{-3} , ... 10^{-6}) a été réalisée. Ces dilutions serviront à la recherche et au dénombrement de la flore bactérienne de la viande.

1.3.2.2. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale

A partir de chaque dilution, une aliquote de 1ml est pipetée puis déposée dans une boîte de Pétri stérile vide. Quinze (15) ml de milieu PCA stabilisé à 45°C additionné de l'inoculum sont soigneusement mélangé puis coulés dans chaque boîte. Après solidification, les boîtes ainsi préparées ont été incubées à 30°C pendant 72h.

Les boîtes contenant un nombre de colonies caractéristiques compris entre 30 et 300, ont été retenues pour le dénombrement de la flore aérobie mésophile totale. Le dénombrement est réalisé selon la formule suivante.

$$N = \frac{\sum c}{1,1 \times d} \times V$$

Où :

N : concentration en cellules viables (UFC/ml) ;

$\sum c$: somme des colonies comptées sur les deux boîtes successives ;

d : taux de dilution correspondant à la première dilution retenue ;

V : volume de la suspensionensemencée.

1.3.2.3. Recherche et dénombrement des entérobactéries

A partir de chaque dilution, une aliquote de 1ml est pipetée puis déposée dans une boîte de Pétri stérile vide. Quinze (15) ml de culture gélosé VRBG stabilisée à 45°C additionné de l'inoculum sont soigneusement mélangé puis coulés dans chaque boîte. Après solidification, les boîtes ainsi préparées ont été incubées à 37°C pendant 24h.

Les boîtes contenant un nombre de colonies caractéristiques compris entre 30 et 300, ont été retenues pour le dénombrement des entérobactéries. Le dénombrement est réalisé selon la formule décrite précédemment.

1.3.2.4. Recherche et dénombrement de la flore lactique

Une aliquote de 0,1 ml de chaque dilution est aseptiquement déposée à la surface d'une boîte de Pétri contenant une gélose MRS puis soigneusement étalée. Après 48 heures d'incubation à 37°C en anaérobiose, les boîtes contenant un nombre de colonies caractéristiques compris entre 15 et 150, sont retenues pour le dénombrement des bactéries lactiques. Le dénombrement est réalisé selon la formule décrite précédemment.

1.3.4. Analyse statistique

Les analyses statistiques des données ont été effectuées par le logiciel SPSS version 21. Les résultats sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA) et les moyennes ont été comparées par le test de Duncan. Le niveau ($p < 0,05$) a été considéré comme le seuil de signification.

2. Résultats et discussion

2.1. Qualité technologique

Les résultats des analyses physicochimiques des échantillons de filets sont présentés dans le tableau 2.2 et la figure 2.2.

Tableau 2.2 : Résultats des analyses physicochimiques des échantillons de filets

	Témoin	Expérimental	p values
PH	5,78±0,047	6,022±0,058	<0,0001
Taux de perte à la conservation à 24h (%)	12,13±1,739	12,280±1,57	0,894
Taux de perte à la conservation à 7jours (%)	21,246±2,147	21,390±2,265	0,920
Taux de perte à la cuisson (%)	25,348±0,703	24,740±0,545	0,166
Taux de perte à la décongélation (%)	13,712±0,985	11,780±0,610	0,305

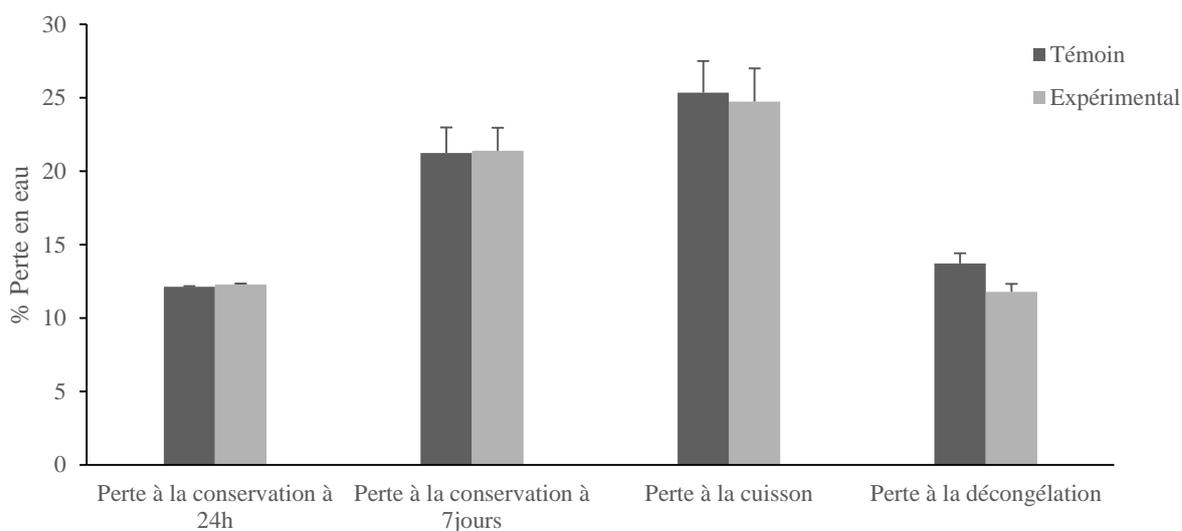


Figure 2.2 : Pertes en eau des échantillons de filets des deux régimes

Il est reconnu et établi que l'aptitude au stockage et à la transformation de la viande dépend essentiellement de son pH et de sa capacité de rétention en eau.

Dans le présent travail, nous avons remarqué que le pH des filets du régime expérimental a été significativement augmenté ($p < 0,05$) par rapport à ceux du régime témoin (6,02 vs. 5,78). De nombreuses études ont montré que les variations de pH ultime au niveau du filet entraînent des variations importantes de la qualité notamment technologique mais aussi sensorielle

(Zhang et Barbut, 2005 et Gigaud *et al.*, 2009). Selon Chéret *et al.* (2005) l'acidification des viandes entraîne la dénaturation des protéines et rend la viande tendre, juteuse, de couleur pale et de faible rendement technologique (cas des viandes PSE). En effet, sur le plan physiologique, le pH ultime du filet est déterminé en grande partie par les réserves en glycogène du muscle présentes au moment de la mort (Le Bihan-Duval *et al.*, 2008). Ces réserves peuvent être modulées par plusieurs facteurs notamment l'alimentation. Une corrélation entre la teneur en acides aminés du régime alimentaire de l'animal et l'état des réserves énergétiques du muscle a été mise en évidence par Lilly *et al.*, (2011). L'ajout des probiotiques dans l'alimentation des poulets semble être à l'origine de l'augmentation du pH des filets. La levure *S. cerevesiae* est reconnu par ses teneurs importantes en lysine, en thréonine et en leucine (Winkler *et al.*, 2011).

Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par Muhammet Irfan Aksu, (2005) et Park et Kim, (2014) qui ont utilisé les probiotiques *Saccharomyces cerevesiae* et *Bacillus subtilis*, respectivement qui ont enregistré une augmentation du pH musculaire des filets du régime probiotique par rapport à ceux du régime témoin. Mais Ali *et al.* (2010) en introduisant le probiotique *Bacillus subtilis* dans l'alimentation de poulet de chair, ont enregistré une diminution de pH de muscle filet du régime probiotique. Cependant, de nombreuses études ont montré que l'utilisation de *Bacillus* en tant que probiotique dans l'alimentation des poulets n'a aucun effet sur le pH ultime du filet (Kim *et al.*, 2016 ; Rasul *et al.*, 2015 et Zhang *et al.*, 2012).

Pour ce qui est de l'effet de *Yucca schidigera*, l'étude Begum *et al.* (2015) n'a montré aucune différence significative dans le pH des filets de poulet de chair nourrie avec un régime additionné de l'extrait de *Yucca schidigera* et de l'acide caprylique par rapport au régime témoin.

Dans la présente étude, l'ajout des probiotiques et de l'extrait de *Yucca schidigera* n'a montré aucun effet significatif ($p > 0,05$) sur les pertes en eau à la conservation à +4°C pendant 24h et 7 jours, à la cuisson et à la décongélation des muscles du filet. Certes, les pertes élevées d'eau ont un effet direct sur les nutriments solubles dans l'eau qui seront perdus et par conséquent provoquent des changements de la qualité gustative et technologique des viandes.

Abdulla *et al.* (2017) ont enregistré une diminution des pertes en eau à la conservation à +4°C des viandes des poulets de chair recevant une alimentation additionnée du probiotique *Bacillus subtilis*. En revanche Kim *et al.* (2016) travaillant sur un mélange de probiotique PoultryStar (*Enterococcus spp.*, *Pediococcus spp.*, *Bifidobacterium spp.*, et *Lactobacillus*

spp.) ont enregistré une perte élevée d'exsudat des filets du régime probiotique par rapport à ceux du régime témoin. Quant aux pertes à la cuisson, les travaux de Sarker *et al.* (2017) n'ont enregistré aucune différence suite à l'utilisation des probiotiques. L'élévation de la température pendant la cuisson provoque une destruction totale de la paroi cellulaire du tissu musculaire, ce qui entraîne à son tour la libération de très grandes quantités de liquides. Une perte importante entraîne une dureté du produit lors de la dégustation. En ce qui concerne les pertes à la décongélation, Zhou *et al.* (2010) et (2015) ont signalé une diminution de la teneur en eau dans les échantillons de viande des poulets recevant une alimentation additionnée du probiotique de genre *Bacillus*.

Ces résultats préliminaires indiquent donc que l'ajout de la combinaison des probiotiques et de l'extrait de *Yucca* peuvent en partie améliorer le rendement technologique des filets sous l'action du pH qui a été augmenté. Il est à noter que la prolifération bactérienne se produit préférentiellement en milieu neutre ou basique.

2.2. Qualité microbiologique

Les résultats de l'évolution de la flore bactérienne des échantillons du filet conservés à + 4°C pendant une semaine sont rapportés dans le tableau 2.3 et la figure 2.3.

Tableau 2.3 : Evolution de la flore bactérienne des échantillons de filets au cours d'une conservation réfrigérée à + 4°C

Régime		Temps de conservation				P value		
		2	4	6	9	Régime	Temps de conservation	Régime*temps de conservation
Flore mésophile totale	Témoin	3,21±1,61	3,66±0,84	3,80±0,11	4,26±1,37	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Expérimental	4,16±2,08	3,71±0,86	3,68±0,17	4,11±1,34			
Flore lactique	Témoin	2,95±0,11	2,55±0,14	2,73±0,06	2,50±0,03	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Expérimental	3,9±0,08	3,01±0,17	2,92±0,04	2,64±0,07			
Entérobactéries	Témoin	3,04±0,19	3,00±0,23	2,96±0,06	2,25±0,11	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Expérimental	3,78±0,06	3,17±0,12	2,95±0,12	2,43±0,15			

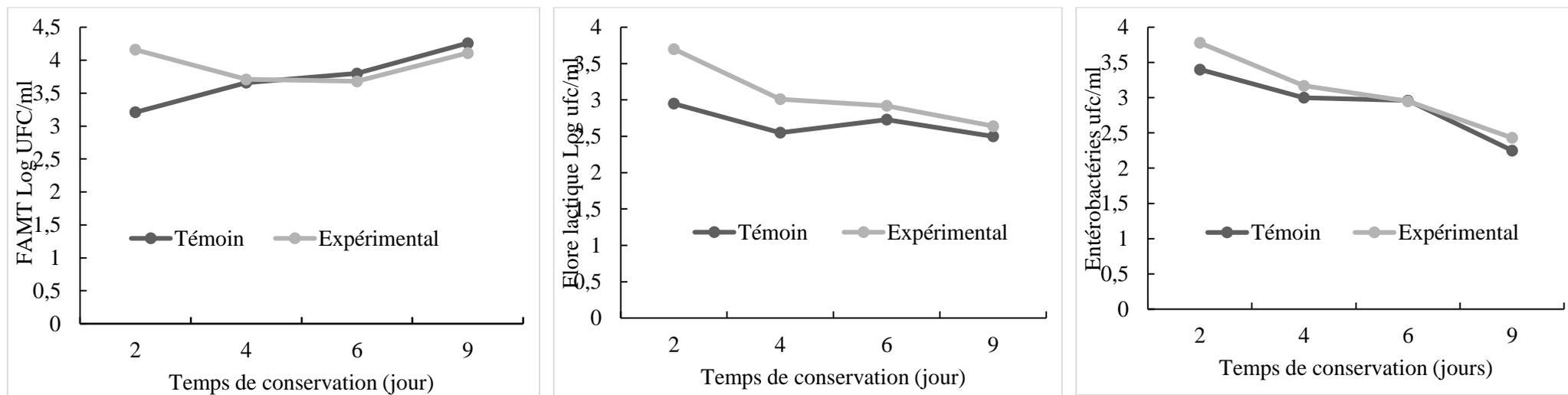


Figure 2.3 : Courbes de l'évolution de la flore bactérienne des échantillons de filets au cours d'une conservation réfrigéré à + 4°C

Sur la base des résultats obtenus, il en ressort que le régime alimentaire et le temps de conservation ainsi que leur interaction ont une influence significative ($P < 0,05$) sur la croissance de la flore aérobie mésophile totale, la flore lactique et les entérobactéries. A noter que les agents microbiens évalués ici sont parmi les principales causes d'altération de la viande.

En effet, les populations initiales de la flore mésophile totale et des entérobactéries dans les échantillons de filets ont été de l'ordre de 3,21-4,16 log UFC/g et 3,04-3,78 log UFC/g respectivement. Selon les limites établies par la législation algérienne (arrêté interministériel n°35 27/05/1998 JO et n°39 02/07/2017 JO), les échantillons de viande analysés sont considérés de qualité microbiologique satisfaisante.

En ce qui concerne le suivi de l'évolution des flores durant la conservation des filets à 4°C, nous avons noté une baisse de la croissance de la flore aérobie mésophile totale durant les six premiers jours de conservation dans les filets du régime expérimental, puis elle a augmenté pour atteindre une population de l'ordre de 4,11 log UFC/g à la fin de conservation. Cependant, une évolution positive de cette flore durant toute la durée de conservation a été enregistrée avec les filets du régime témoin. Alors qu'une évolution négative a été enregistrée durant toute la durée de conservation pour la flore lactique et les entérobactéries dans les deux régimes.

A noter, cependant, que les filets du régime expérimental ont montré une contamination importante par les flores dénombrées par rapport à ceux du régime témoin, les populations initiales sont de l'ordre de 4,16 vs. 3,21 log UFC/g ; de 3,9 vs. 2,95 log UFC/g et de 3,78 vs. 3,04 log UFC/g respectivement pour la flore mésophile, la flore lactique et les entérobactéries. Cette situation pourrait s'expliquer par l'ajout de la combinaison des probiotiques avec l'extrait de *Yucca schidigera* dans l'alimentation des poulets. Il est clair qu'une relation étroite existe entre les propriétés physicochimiques de la viande et sa qualité microbiologique, particulièrement le pH et l' a_w . En effet, le pH conditionne la durée de conservation de la viande.

Nos résultats ont montré une augmentation du pH ultime des filets du régime expérimental par rapport à ceux du régime témoin (6,02 vs. 5,78). Les viandes de pH supérieur à 6 ont généralement une durée de conservation courte. Selon Monin, (1991), le faible taux de glucides des viandes à pH élevé favorise la dégradation de protéines par les microorganismes, ce qui amène le développement rapide de mauvaises odeurs.

Cependant, malgré la charge importante des flores dans les filets du régime expérimental au début de conservation, une réduction de la flore mésophile totale a été remarquée, celle-ci pourrait s'expliquer par l'action des probiotiques. Les récents travaux de Youssef *et al.* (2017) ont montré que l'addition de probiotique *P. acidilactici* dans l'aliment a permis une réduction du nombre de bactéries aérobies totales, des staphylocoques et d'*E. coli* dans les carcasses des poulets de chair. De plus, une tendance à la réduction de la flore aérobie totale chez les poulets de chair recevant le probiotique *Bifidobacterium bifidum* a été rapportée par Estrada *et al.* (2001).

Il est reconnu et établi que la présence des entérobactéries est révélatrice des mauvaises conditions d'hygiène et particulièrement indicatrice de contamination fécale. L'utilisation des probiotiques dont *S. cerevisiae* dans l'alimentation des poulets de chair à l'aptitude de diminuer la contamination aux entérobactéries (Endo et Nakano, 1999 et Aksu *et al.*, 2005). En effet, Kabir, (2009) a enregistré une diminution de la population d'*E. coli* dans la viande des poulets recevant une alimentation additionnée de probiotiques. Une réduction significative de la contamination par *Salmonella Enteritidis* a été signalé sur des carcasses de poulets de chair recevant des cultures d'exclusion compétitives (Bailey *et al.*, 2000). De même, Lilly *et al.* (2011) ont observé une réduction de 86% de la contamination par *Salmonella* avant l'abattage des poulets de chair recevant une combinaison de *L. acidophilus*, *E. faecium*, *L. plantarum* et *P. acidilactici*.

Sur la base des résultats des analyses physicochimiques et microbiologiques des filets, il apparaît clairement que l'ajout des probiotiques et de l'extrait de *Yucca schidigera* favorise la production de viande à pH ultime suffisamment élevé pour garantir une qualité technologique optimisée que les consommateurs préfèrent. En revanche, une réduction de la durée de conservation peut être signalée.

CHAPITRE 3

**EFFET D'UN REGIME SUPPLEMENTE DE PROBIOTIQUES ET DE
L'EXTRAIT DE *Yucca schidigera* SUR LA QUALITE
NUTRITIONNELLE DES MUSCLES DU FILET ET DE LA CUISSE
DU POULET DE CHAIR**

CHAPITRE 3
EFFET D'UN REGIME SUPPLEMENTE DE PROBIOTIQUES ET DE L'EXTRAIT
DE *Yucca schidigera* SUR LA QUALITE NUTRITIONNELLE DES MUSCLES DU
FILET ET DE LA CUISSE DU POULET DE CHAIR

1. Matériel et méthodes

1.1. Prélèvement des échantillons

Les échantillons des muscles du filet et de la cuisse conservés à -18°C (Cf. chapitre 2) ont été utilisés dans l'évaluation de la qualité nutritionnelle de la viande issue de deux régimes (témoin et expérimental) à travers sa composition chimique, sa composition minérale et son profil en acides gras.

1.2. Composition chimique

1.2.1. Détermination de l'humidité

La détermination de l'humidité a été effectuée selon la méthode de l'Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2002) ; 5g pour échantillon de viande sont placés dans un creuset en porcelaine puis mis à déshydrater dans une étuve à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 24 heures. Après refroidissement à température ambiante, faire une pesée du dispositif (creuset avec viande) puis le placer dans le dessiccateur et réaliser des pesées successives jusqu'à obtention d'une masse constante.

Le taux de l'humidité est calculé selon l'équation suivante :

$$(\%) \text{humidité} = \frac{\text{poids de viande humide} - \text{poids de viande séchée}}{\text{poids de viande humide}} \times 100$$

1.2.2. Teneur en cendres

Cinq grammes de chaque échantillon de viande sont placés dans un creuset taré et mis à incinérer dans un four à moufle à 550°C pendant 6 heures (jusqu'à obtention de cendres blanches ou grises). Après refroidissement à température ambiante, faire une pesée du dispositif (creuset avec viande), puis le placer dans le dessiccateur et faire des pesées successives jusqu'à obtention d'une masse constante.

Le taux de cendres est calculé selon l'équation suivante :

$$(\%) \text{cendre} = \frac{\text{poids de viande humide} - \text{poids de viande sèche}}{\text{poids de viande humide}} \times 100$$

1.2.3. Dosage des protéines

La méthode KJELDAHL est la méthode de référence pour la détermination des protéines dans la viande.

Le dosage a été effectué en trois étapes :

- Minéralisation : un échantillon de 1 g de viande bien homogénéisé est introduit dans le ballon de minéralisation et additionné de 2 g de catalyseur mixte et 20 ml d'acide sulfurique (98 %). Les ballons sont placés dans le minéralisateur jusqu'à ce que la solution soit claire (environ deux heures). A la fin de minéralisation les ballons sont laissés refroidir à l'air ;
- Distillation : Le minéralisât est dilué avec 50 ml d'eau puis neutralisé avec 100 ml d'une solution d'hydroxyde de sodium à 35% (NaOH). Les ballons sont placés dans le distillateur et l'allonge qui termine le dispositif dans une fiole conique contenant 20 ml d'acide borique H_3SO_4 à 4% et 7,5 ml de l'indicateur mixte rouge de méthyle et 2,5 ml de vert bromocrésol;
- Titration : Le distillat ainsi obtenu est titré avec de l'acide sulfurique à 0,05 mol /l.

La détermination de la teneur en protéines brutes de l'échantillon est calculée sur la base de sa teneur en azote à l'aide d'un facteur de conversion.

Les résultats sont exprimés en pourcentage du poids de protéines par rapport au volume total de la prise d'essai selon la formule suivante :

$$P\% = \frac{1,4(V_1 - V_0)N \cdot F}{V}$$

Où :

P% : La teneur en protéine, exprimée en pourcentage ;

N : Normalité de l'acide sulfurique, qui est de l'ordre de 0,5 N ;

V₀ : Volume, en ml, de la solution d'acide sulfurique, utilisé pour l'essai à blanc ;

V₁ : Volume, en ml, de la solution d'acide sulfurique utilisé pour le titrage ;

V : Volume en g de la prise d'essai ;

F : Facteur de conversion à appliquer pour obtenir le taux des protéines à partir de l'azote total, qui est de l'ordre de 6,25 pour la viande.

1.2.4. Dosage des lipides

La méthode de Folch, (1957) est une méthode à froid utilisée pour extraire les lipides dans les tissus biologiques et les produits alimentaires avec un mélange de deux solvants (chloroforme/méthanol). L'extrait est purifié par lavage de la phase organique avec une

solution saline 0,73% (NaCl) pour éliminer les contaminants non lipidiques. Le dosage a été effectué en trois étapes :

- Extraction des lipides : Un échantillon de 1 g de viande est broyé en présence de réactif Folch (chloroforme/méthanol 2:1, v/v) pour un volume final de 20 fois le volume de l'échantillon. L'homogénat est filtré sur papier filtre avec rinçage du culot par 10 ml de Folch.
- Purification de l'extrait lipidique : Le filtrat ainsi obtenu est versé dans une ampoule à décanter et additionné de 22 ml d'une solution d'eau distillée à 0,73 % de NaCl. Après agitation, la décantation est réalisée pendant environ deux heures pour permettre la séparation de la phase chloroformique (contenant les lipides) de la phase méthanol / eau (contenant les impuretés en majorité hydrosolubles). La phase inférieure chloroformique est récupérée dans un erlenmeyer et la phase supérieure reste dans l'ampoule. Cette dernière est rincée avec une solution contenant 20% de NaCl à 0,58% et 80% de réactif Folch. Après agitation, la décantation est répétée à nouveau pendant environ 15 minutes et la phase inférieure est ainsi récupérée et ajoutée à la première phase chloroformique récupérée.
- Détermination du poids de lipides totaux : La phase chloroformique contenant les lipides est récupérée dans un ballon taré, puis le solvant est évaporé sous vide dans un évaporateur rotatif.

La quantité totale des lipides purifiés est finalement déterminée par l'équation :

$$\text{Lipides totaux \%} = \frac{(\text{poids ballon plein} - \text{poids ballon vide}) \times 100}{\text{poids de l'échantillon}}$$

1.3. Composition en minéraux

1.3.1. Détermination de Cu, Fe, Zn, K, Na, Mg et Cr

La détermination de la teneur des échantillons de viande en Cuivre, Fer, Zinc, Potassium, Sodium, Magnésium et Chrome a été réalisée selon les étapes suivantes :

- Nettoyage de la verrerie : Avant utilisation , toute la verrerie du laboratoire est lavée au détergeant ensuite rincé par l'eau distillée puis immergée dans l'acide nitrique 10% pendant 24h suivi d'un rinçage à l'eau ultra pure et séchage à l'étuve.
- Préparation des étalons : Pour chaque élément à doser, une gamme d'étalons à différentes concentrations (en fonction du type de l'élément) est préparée à partir d'une solution mère de 1000 ppm, dans des fioles de 50 ml en complétant le volume avec de l'acide nitrique à 1%.

- Digestion par micro-onde : Environ 0,5 g de viande broyée sont placés dans un flacon de Teflon (PTFE) ; à l'aide d'une éprouvette 7 ml d' HNO_3 sont lentement ajoutés avec 1 ml d' H_2O_2 . Les teflons sont placés dans les réacteurs "Milestone" et mis dans le segment monobloc puis serrés à l'aide de la clé dynamométrique. L'ensemble des réacteurs est placé dans le four à micro-ondes. Les échantillons ont été digérés en utilisant un programme de température en deux étapes ; au cours de la première étape, la température a été augmentée linéairement jusqu'à 200°C sur 10 minutes puis maintenue à 200 °C pendant 15 minutes durant la deuxième étape. Après un cycle de chauffe complet. Les réacteurs sont alors retirés du four à micro-ondes. Une fois refroidi, l'ouverture est effectuée à l'aide de la clé dynamométrique, sous la hotte en portant des masques pour se protéger contre les vapeurs d'acides. Le volume de chaque flacon est récupéré dans une fiole jaugée et ajustée à 20 ml par l'eau ultra pure, ainsi les échantillons sont prêts pour le dosage.
- Dosage par SAA : Après dosage par spectrophotomètre d'absorption atomique, la concentration en minéraux (w) est calculée comme suit :

$$W = (a-b)*V/m/10$$

Où :

W : est la concentration du minéral dans l'échantillon exprimé en mg / kg

a : est la concentration du minéral dans les solutions d'échantillons

b : est la concentration du minéral dans les blanc

V : est le volume de la solution d'échantillon utilisé en ml

m : est la masse de l'échantillon minéralisé en g

Le résultat est exprimé en mg / 100 g de viande.

1.3.2. Détermination du phosphore

La teneur en phosphore est déterminée selon la méthode phospho-vanado-molybdique décrite par Pearson, (1976) et modifiée.

Tout d'abord, la solution vanadate-molybdate est préparée en dissolvant 25 g de molybdate d'ammonium dans 500 ml d'eau tiède (50 °C) et refroidi. Peser 1,0 g de vanadate d'ammonium et dissoudre dans 500 ml d'acide nitrique HNO_3 à 1 N. La solution de molybdate est ensuite ajoutée progressivement à la solution de vanadate acide.

Dans un tube à essai, 1g de viande est mélangé avec 10 ml d'une mixture des acides (750 ml d' HNO_3 , 300 ml d' HClO_4 , 150 ml d' H_2SO_4). Une prédigestion est réalisée dans un bain marie

jusqu'à l'obtention d'une solution claire. Après refroidissement, le volume est complété à 50 ml par l'eau distillée, la solution ainsi obtenue est filtrée à travers un papier filtre n°1.

Par la suite, 1ml du filtrat est mélangé avec 2ml d' HNO_3 et dilué par l'eau distillée, puis 1 ml de la solution molybdate vanadate est ajoutée. Le volume ainsi obtenu est complété à 10 ml par de l'eau distillée et agité puis incubé 20 min à l'obscurité et l'absorbance est mesurée à 470 nm.

Une gamme d'étalonnage est préparée à partir d'une solution mère de phosphore (dissoudre 0,110 g de potassium phosphate monobasique (KH_2PO_4) dans l'eau distillée à 1 L. C'est la solution 25 ppm de phosphore). La teneur en phosphore (mg/100 g de viande) est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage du phosphore.

1.4. Profil en acides gras

1.4.1. Préparation des esters méthyliques

Les esters méthyliques sont préparés selon la méthode Hossain *et al.* (2014) ; 1 g de viande homogénéisée est mis dans 12 ml de solution de Folch (chloroforme : méthanol, 2: 1 v/v) et homogénéisé (9500 tr/min) pendant 1 min puis conservé dans la glace pendant 10s. Le mélange est filtré à travers du papier filtre Whatman n°1 et conservé à 4 °C jusqu'à séparation en deux couches. Après séparation des phases, la couche supérieure est recueillie et ajoutée à 2,4 ml de la solution de NaCl à 0,9%. Le mélange est centrifugé (3000 tr/min, 15-20 min) et la couche inférieure est récupérée.

Ensuite, chaque échantillon est séché sous un courant d'azote et remis en suspension par l'addition de 3 ml d'une solution à 5% d'acide sulfurique dans le méthanol. Les tubes sont rapidement refermés et placé dans un bain marie à 95°C pendant 45 min. Après refroidissement, 3 ml de la solution Na_2CO_3 à 5% sont ajoutés et vortexés.

L'ester méthylique d'acide gras est extrait trois fois avec 3 ml d'éther de pétrole, séché avec de l'azote, dissous dans 100 μl d'éther de pétrole et filtrée pour être injecté en chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS).

1.4.2. Analyse chromatographique

Les esters méthyliques d'acides gras sont analysés par GC-MS équipé d'un détecteur à ionisation de flamme et d'une colonne capillaire (30 m \times 0,25 mm, épaisseur du film de 0,25 μm). Les conditions chromatographiques sont :

- Gaz vecteur : hélium avec un débit de 1 ml/min, et un split ratio de 1/50 ;

- Température de l'injecteur : 250 °C ;
- Détecteur à ionisation de flamme à 270 °C ;
- Programme de température du four : la température initiale du four a été réglée à 130 °C, augmentée à une vitesse de 2 °C/min à 180 °C, puis augmentée à une vitesse de 4 °C/min jusqu'à 225 °C.

Les signaux émis à la sortie des acides gras sont enregistrés sous forme de pics qui constituent le chromatogramme.

L'identification des acides gras a été réalisée conformément à la bibliothèque de spectres de masse NIST 2.0 (Institut national des normes et de la technologie, Gaithersburg, MD, USA). Les pourcentages des acides gras saturés (AGS), des acides mono-insaturés (AGMI) et des acides polyinsaturés (AGPI) ont été calculés.

1.5. Statut antioxydant de la viande

Le statut antioxydant des échantillons de viande est évalué par le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl). Le DPPH est un radical libre stable de couleur violacée qui absorbe à 517 nm. En présence de composés antioxydants, le radical DPPH[•] est réduit et change de couleur en virant au jaune. Les absorbances mesurées à 517 nm servent à calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH[•], qui est proportionnel au pouvoir antioxydant de l'extrait testé. Le dosage a été effectué en deux étapes :

1.5.1. Préparation de l'extrait aqueux de la viande

Les solutions aqueuses des échantillons de viande sont préparées selon la méthode Jang *et al.* (2008) ; 5 g de chaque échantillon de viande sont homogénéisés avec 15ml de l'eau distillée et centrifugés à $1000 \times g$ pendant 2 min. Par la suite, 9 ml de chloroforme sont ajoutés aux homogénats et le mélange est agité vigoureusement pour séparer les lipides. Le surnageant récupéré est utilisé pour l'estimation d'activité antioxydante.

1.5.2. Mesure de l'activité antioxydante par DPPH

L'activité d'élimination des radicaux du DPPH est estimée avec l'extrait aqueux de la viande selon la méthode de Qwele *et al.* (2013) ; 200 µl de l'extrait aqueux de la viande sont additionnés à 800 µl d'eau distillée et à 1 ml de la solution méthanolique de DPPH (0,2 mM). Le mélange est vortexé et laissé au repos à température ambiante (20 à 22 °C) pendant 30 min. Un tube contenant 1 mL d'eau distillée et 1 mL de la solution de DPPH méthanolique

(0,2 mM) est servi comme témoin tandis que le méthanol seul est utilisé comme un blanc. L'absorbance de la solution est mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (Hewlett Packard, UV / lumière visible). Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH est calculé selon l'équation suivante :

$$\% \text{ inhibition DPPH} = \frac{1 - \text{absorbance d'échantillon}}{\text{absorbance de controle}} \times 100$$

1.6. Analyse statistique

Les analyses statistiques des données ont été effectuées par le logiciel SPSS version 21. Les résultats sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs (régime*muscle) et les moyennes ont été comparées par le test de Duncan. Le niveau ($p < 0,05$) a été considéré comme le seuil de signification.

2. Résultats et discussion

2.1. Composition chimique

Les résultats de la composition chimique des muscles du filet et de la cuisse sont rapportés dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 : Composition chimique des muscles du filet et de la cuisse

	Témoin		Expérimental		p values		
	Filet	Cuisse	Filet	Cuisse	Régime	Muscle	Régime*Muscle
Humidité	73,852±4,509	73,705±1,959	73,46±1,589	74,677±1,520	0,760	0,575	0,476
Cendres	1,117±0,190	1,007±0,030	1,172±0,098	1,022±0,043	0,539	0,037	0,724
Protéines	19,512±0,755	17,795±0,345	22,214±0,368	19,403±0,412	<,0001	<,0001	0,049
Lipides	5,625±0,754	7,4±1,373	3,175±1,454	4,775±1,257	<,0001	<,0001	0,513

Les valeurs rapportées sont la moyenne ± écart type de chaque paramètre.

Effet du régime sur la composition chimique de la viande :

Les résultats de l'influence du régime alimentaire des poulets de chair sur la composition chimique de la viande sont représentés dans la figure 3.1.

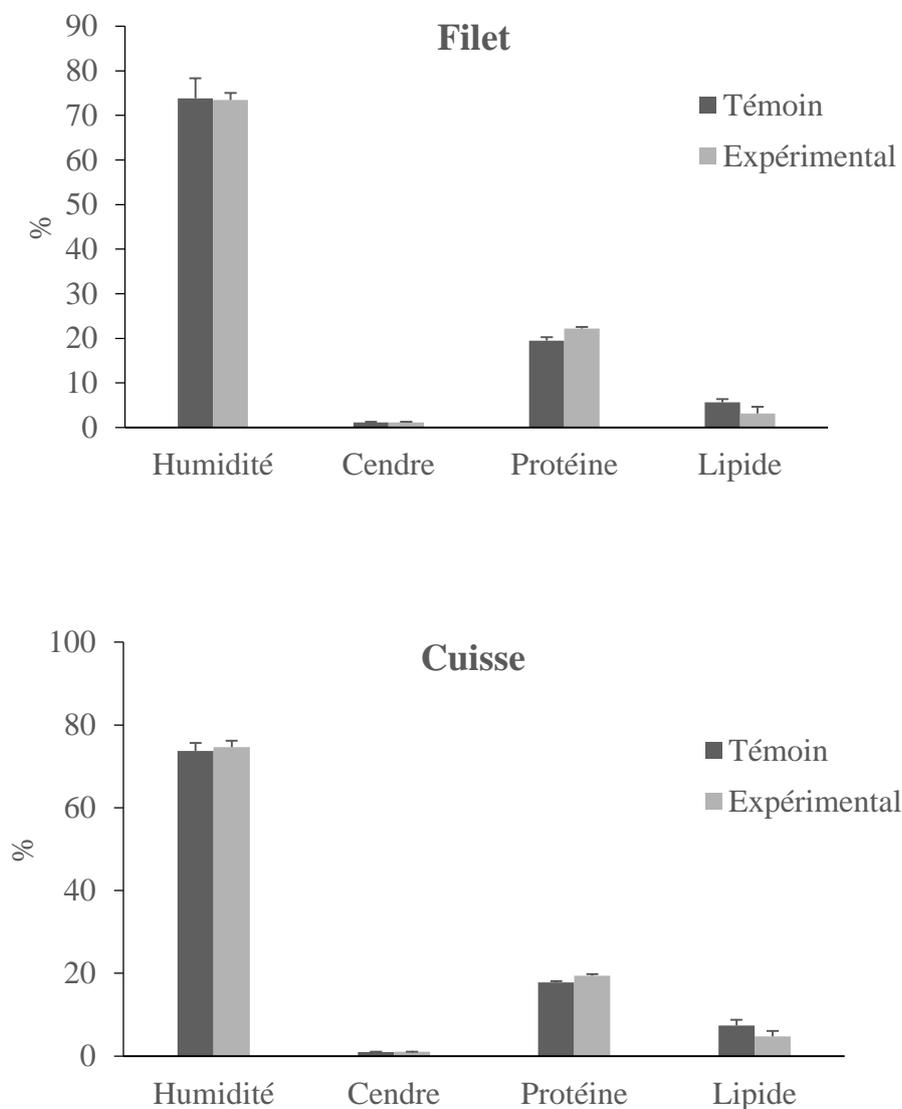


Figure 3.1 : Effet du régime sur la composition chimique des muscles

Sur la base des résultats obtenus, il en ressort que l'ajout des probiotiques et de l'extrait de *Yucca schidigera* au régime alimentaire des poulets de chair a montré :

- Aucune influence sur la composition en humidité et en cendres des muscles du filet et de la cuisse ($p > 0,05$).
- Une augmentation significative ($p < 0,05$) de la teneur en protéine des deux muscles par rapport au régime témoin (23,6% vs. 22,3% pour le filet et 23,9% vs. 23,0% pour la cuisse).

- Une diminution significative ($p < 0,05$) de la teneur en lipides des deux muscles par rapport au régime témoin (5,62% vs. 3,17% pour le filet et 7,40% vs. 4,77% pour la cuisse).

Nos résultats sont en adéquation avec des travaux portant sur les probiotiques. Sarker *et al.* (2010) utilisent une association de *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, *Bacillus subtilis* et *S. cerevisiae* comme alternative aux antibiotiques en élevage avicole, ont révélé une augmentation de la teneur en protéines et une diminution de la teneur en lipides des muscles du filet du régime probiotique par rapport au témoin. De même, l'addition d'un mélange de six probiotiques (*Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium bifidum*, *Aspergillus oryzae*, *Streptococcus faecium* et *Torulopsis ps*) dans l'alimentation des poulets de chair n'a montré aucune influence sur la teneur en cendres, par contre elle a montré une augmentation de la teneur en eau et en protéines et une diminution de la teneur en lipides des muscles du filet et de la cuisse du régime probiotique par rapport au témoin (Khaksefidi et Rahimi, 2005). Ces effets bénéfiques des probiotiques sur la composition chimiques de viande pourraient s'expliquer par la capacité des souches probiotiques à produire des protéines ainsi que par son influence sur le métabolisme lipidique chez les poulets. Cependant des résultats contradictoires ont été signalé par les travaux de Paryad et Mahmoudi, (2008) utilisant le probiotique *Saccharomyces cerevisiae* comme probiotique, ils ont enregistré une diminution de la teneur en protéine et aucun changement de la composition en eau et en lipides des échantillons des muscles du filet et de la cuisse.

Quant à l'effet de *Yucca schidigera*, l'étude de Begum *et al.* (2015) a révélé que l'association d'un extrait de *Yucca schidigera* et d'acide caprylique dans le régime alimentaire des poulets n'a aucune différence significative sur la teneur en protéines sériques. Selon des données de la littérature, les saponines ont un effet négatif sur l'absorption des protéines. Il a été rapporté que les saponines de *Yucca*, qui ne peuvent pas être absorbées par la membrane épithéliale du tube digestif (Morel, 1997), peuvent influencer la digestion des nutriments dans la lumière du tube digestif par leurs propriétés tensioactives. Les saponines réduisent la digestibilité des protéines probablement par la formation d'un complexe saponine-protéine peu digestible, ils affectent l'hydrolyse chymotrypsique de la protéine de soja, en particulier de la glycine (Francis *et al.*, 2002). En fait, *Yucca schidigera* ralentit le métabolisme des lipides et diminue la glycémie (Kucukkurt et Dündar, 2013). Ses saponines influent sur l'absorption des lipides par la formation de micelles contenant des sels biliaires et du cholestérol dans l'intestin (Cheeke *et al.*, 2001).

Les effets bénéfiques attribués à l'utilisation des probiotiques et des extraits de plantes en association sur la composition chimique de la viande des poulets de chair ont récemment été évalués ; à titre d'exemple, l'étude de Ahmed *et al.* (2018) porte sur l'utilisation d'un additif à base de grenades (*Punica granatum L.*) fermentés par *Lactobacillus plantarum* KCTC 3099 et *Saccharomyces cerevisiae* KCTC 7928 a montré une augmentation de la teneur en protéines des muscles du filet. Habituellement, la fermentation peut améliorer la qualité nutritionnelle du produit fermenté, en particulier la teneur en protéines, ce qui pourrait augmenter la disponibilité des acides aminés et par conséquent la teneur en protéines de la viande (Bostami *et al.*, 2017).

Sur la base des résultats précédents et bien que les saponines réduisent l'absorption des protéines, l'association de l'extrait de *Yucca schidigera* avec les probiotiques fait augmenter la teneur en protéines et diminuer celle en lipides, constat qui est souhaitable pour la santé du consommateur.

Effet du type de muscle sur la composition chimique de la viande :

La composition chimique des échantillons de la viande varie selon le type de muscle :

- Aucune influence sur la composition en humidité entre les deux types de muscles dans les deux régimes ($P > 0,05$).
- Une augmentation significative ($p < 0,05$) des teneurs en cendre (1,12% vs. 1,06% pour le régime témoin et 1,17% vs. 1,02% pour le régime expérimental) et en protéine (19,51% vs. 17,79% pour le régime témoin et 22,21% vs. 19,40% pour le régime expérimental) des muscles du filet par rapport à ceux de la cuisse.
- Une diminution significative ($p < 0,05$) de la teneur en lipides (5,62% vs. 7,4% pour le régime témoin et 3,17% vs. 4,57% pour le régime expérimental) des muscles du filet par rapport ceux de la cuisse.

Des résultats similaires ont été rapportés par Cortinas *et al.* (2004), ces différences entre les muscles pourraient résulter des fonctions différentes des tissus musculaires. Concernant la teneur en lipides, elle est généralement plus élevée dans les muscles oxydatifs ou à forte activité métabolique. La chair de la cuisse est formée de plusieurs muscles avec une proportion plus élevée de fibres rouges et une teneur en lipides supérieure à celle des fibres blanches du filet (Cassens et Cooper, 1971).

2.2. Composition en minéraux

Les résultats de la composition en minéraux des muscles du filet et de la cuisse sont rapportés dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2 : Composition en minéraux (mg/100g de viande) des muscles du filet et de la cuisse

	Témoin		Expérimental		p values		
	Filet	Cuisse	Filet	Cuisse	Régime	Muscle	Régime* Muscle
Cu	0,127±0,014	0,144±0,018	0,095±0,009	0,121±0,020	0,003	0,592	0,250
Fe	6,295±0,455	6,453±0,597	7,483±0,261	7,06±0,540	0,001	<,0001	0,005
Zn	3,064±0,241	5,634±0,680	3,401±0,182	8,453±1,264	0,006	0,021	0,587
K	1190,8±35,029	1136,4±34,258	1132,2±21,805	1112,4±13,674	0,153	<,0001	0,927
Na	240,2±36,317	290,1±10,569	242,4±23,648	285±31,736	0,011	0,020	0,235
Mg	102,8±0,326	87,8±2,581	100,2±5,791	85,5±0,945	0,917	0,005	0,794
P	225,5±23,759	283,9375±19,314	313,75±17,911	274,812±10,314	0,001	0,313	<,0001
Cr	0,266±0,050	0,242±0,051	0,204±0,023	0,127±0,025	0,001	0,027	0,210

Les valeurs rapportées sont la moyenne ± écart type de chaque paramètre.

Le macroélément le plus abondant est le potassium (K), suivi du phosphore (P), du sodium (Na), du magnésium (Mg), du fer (Fe), du zinc (Zn), du cuivre (Cu) et du chrome (Cr). Ceci est en accord avec les résultats rapportés par Tasoniero *et al.* (2016) et Podolian, (2017).

Effet du régime sur la composition de la viande en minéraux :

L'ajout des probiotiques et de l'extrait de *Yucca schidigera* dans le régime alimentaire des poulets de chair a montré (figure 3.2) :

- Aucune influence sur la composition en K et en Mg des muscles du filet et de la cuisse ($P > 0,05$).
- Une augmentation significative ($p < 0,05$) des teneurs en Fe (7,48 vs. 6,30 mg/100 g ; 7,06 vs. 6,45 mg/100 g) et en Zn (3,40 vs. 3,06 mg/100 g ; 8,45 vs. 5,63 mg/100 g) et une diminution significative ($p < 0,05$) des teneurs en Cu (0,10 vs. 0,13 mg/100 g ; 0,12 vs. 0,14 mg/100 g) et en Cr (0,20 vs. 0,27 mg/100g ; 0,13 vs. 0,24 mg/100 g) des muscles du filet et de la cuisse, respectivement par rapport au régime témoin.
- Une diminution significative ($p < 0,05$) des teneurs en Na et en P des muscles de la cuisse par rapport au régime témoin (285 vs 290 mg/100 g ; 275 vs 284 mg/100 g, respectivement). Alors que leurs concentrations ont été significativement augmenté ($p < 0,05$) dans les muscles du filet (242 vs 240 mg/100 g ; 314 vs 226 mg/100 g, respectivement).

Suite à notre recherche bibliographique, les données concernant l'effet de l'extrait de *Yucca* sur la composition minérale de la viande du poulet de chair sont rares. Cependant, il a été mentionné dans la littérature que les saponines peuvent influencer l'absorption des minéraux. In vitro, West *et al.* (1978) ont signalé que les saponines de luzerne s'unissent avec le fer et le zinc. Southon *et al.* (1988) ont trouvé que les saponines de gypsophila réduisent l'absorption de fer chez les rats. Selon Milgate et Roberts (1995), cette malabsorption est la conséquence de la formation d'un complexe saponine-minéraux insoluble, avec le fer, le zinc et le calcium. Il est à noter que les extraits de plantes pourraient diminuer la teneur de viande en fer ; Starčević *et al.* (2015) ont révélé une diminution de fer dans les muscles du filet et de la cuisse suite à l'addition dans la ration des poulets de chair des polyphénols, à savoir le thymol, l'acide tannique et l'acide gallique. De même, l'extrait de *Boswellia serrata* a diminué la concentration de fer, de zinc et de cuivre dans les muscles de poulet de chair (El-yasiri *et al.*, 2017).

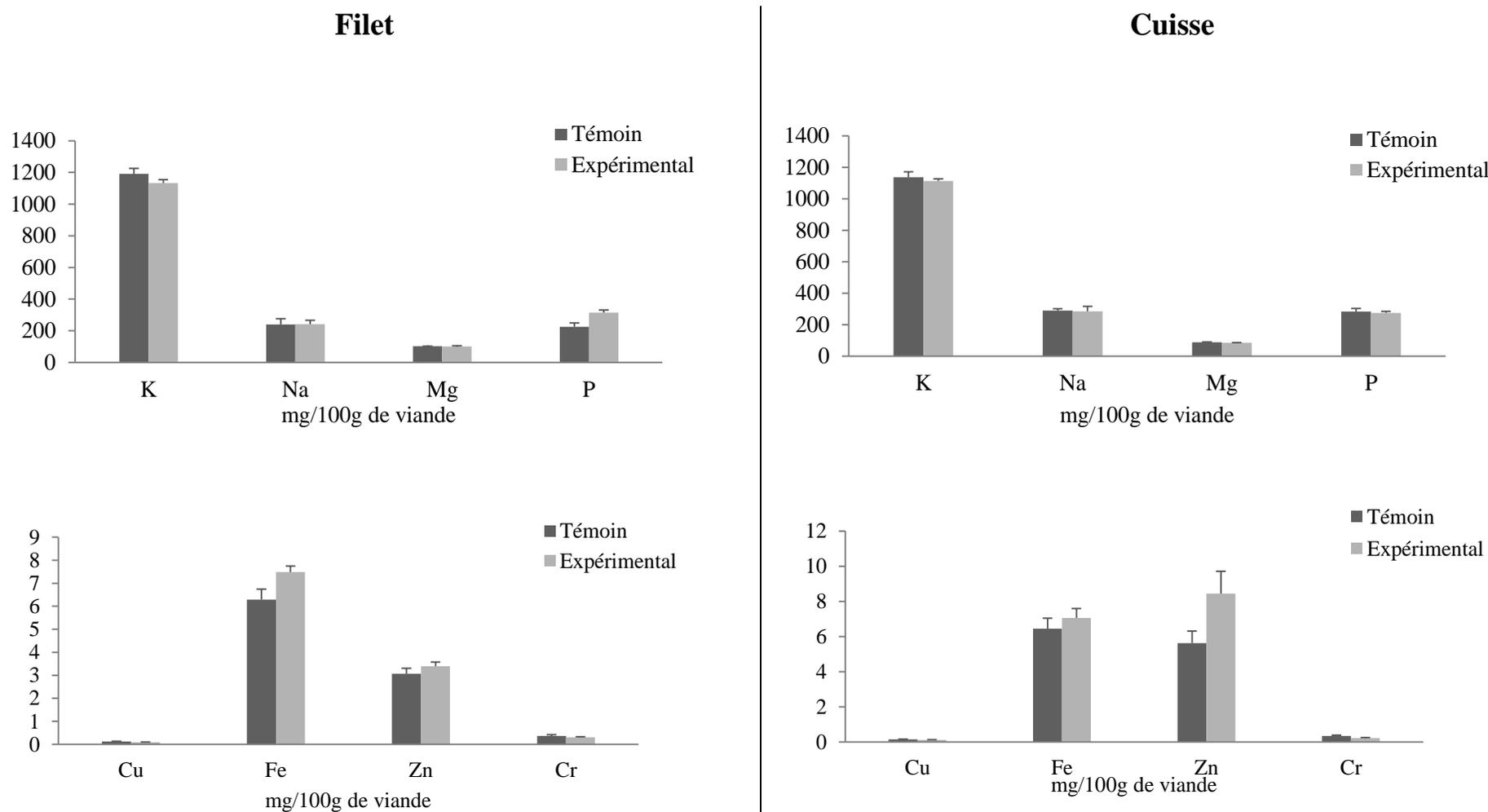


Figure 3.2 : Effet du régime sur la composition en minéraux des muscles du filet et de la cuisse

L'augmentation des concentrations de fer, de zinc, de sodium et de phosphore dans nos échantillons de viandes nous a conduit à émettre l'hypothèse de l'influence des probiotiques. Pento *et al.* (1998) ont étudié l'effet d'un mélange de probiotiques (*Bacillus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Clostridium*, *Saccharomyces* et de *Candida*) sur la composition des muscles du filet et de la cuisse en minéraux, ils ont noté une augmentation de la concentration en fer, en magnésium et en sodium dans les muscles de la cuisse. L'étude d'Aluwong *et al.* (2013) a montré que l'ajout de *S. cerevisiae* dans l'aliment des poulets provoque une légère diminution de la teneur en potassium et en sodium du sérum. L'utilisation des probiotiques dans l'alimentation des poulets de chair permettait aussi une augmentation de la teneur en phosphore de 4,7%, en magnésium de 3,9% et en fer de 46,5% dans les muscles du filet et dans les muscles de la cuisse une augmentation des teneurs en phosphore de 4,7%, en fer de 70,5%, en zinc de 5,4%, en magnésium de 31,5% et en cuivre 4,2 fois (Podolian, 2017). L'amélioration de la composition de viande en minéraux par l'utilisation des probiotiques pourrait s'expliquer par ses métabolites dont les minéraux. En effet, *S. cerevisiae* est une source naturelle en fer, en zinc, en manganèse et en cuivre (Yamada *et al.*, 2005).

D'après les résultats de notre étude, l'association des probiotiques avec l'extrait anticoccidien à base de *Yucca schidigera* améliore la composition de la viande en minéraux dont le fer, le zinc, le sodium et le phosphore. Les oligo-éléments tels que le fer et le zinc jouent un rôle important dans de nombreuses fonctions biologiques et physiologiques en santé humaine et animale. Ils fonctionnent comme catalyseurs dans les systèmes enzymatiques à l'intérieur des cellules ou en tant que partie d'enzymes. Pour le cuivre, micro-élément essentiel pour les animaux, présent dans de nombreux systèmes enzymatiques, par exemple la superoxyde dismutase, la cytochrome oxydase et la lysyl oxydase ou la céruloplasmine (Świątkiewicz *et al.*, 2014). Une diminution de ses teneurs a été enregistrée de l'ordre de 25% et de 16% dans les muscles du filet et de la cuisse, respectivement, malgré cette réduction, aucune détérioration de la santé des poulets n'a été observée.

Le chrome est l'un des éléments essentiels pour l'amélioration des performances zootechniques chez la volaille, en raison de ses fonctions importantes dans le métabolisme, la croissance et la réduction de la peroxydation des lipides et des protéines (Ragab Farag *et al.*, 2017), Cependant, l'intoxication au chrome a diminué la teneur en vitamines B (1, 2 et 6) et E du foie, des reins, des muscles et du sérum des poulets (Chundawat *et al.*, 2005). La teneur en chrome de nos échantillons de viande varie de 1,27 à 2,66 $\mu\text{g g}^{-1}$. Sadeghi *et al.* (2015) ont

enregistré des teneurs en chrome entre $2,27 \pm 1,07 \mu\text{g g}^{-1}$ dans des viandes de poulets de chair en Iran.

Effet du type de muscle sur la composition de viande en minéraux :

La composition minérale des échantillons de la viande varie selon le type de muscle :

- Aucune influence sur la composition en Cu et en P entre les muscles des deux régimes ($P > 0,05$).
- Une diminution significative ($p < 0,05$) de la teneur en Fe (6,30 vs. 22,3 mg/100 g) des muscles du filet par rapport ceux de la cuisse dans le régime témoin, alors que l'inverse est obtenu en régime expérimental (7,48 vs. 7,06 mg/100 g).
- Une diminution significative ($p < 0,05$) des teneurs en Zn (3,06 vs. 5,63 pour le régime témoin et 3,40 vs. 8,45 mg/100 g pour le régime expérimental) et en Na (240,2 vs. 290,1 mg/100 g pour le régime témoin et 242,4 vs. 285 mg/100 g pour le régime expérimental) et une augmentation significative ($p < 0,05$) des teneurs en K (1190,8 vs. 1136,4 mg/100 g pour le régime témoin et 1132,2 vs. 1112,4 mg/100 g pour le régime expérimental) et en Mg (102,8 vs. 87,8 mg/100 g pour le régime témoin et 100,2% vs. 85,5 mg/100 g pour le régime expérimental) des muscles du filet par rapport à ceux de la cuisse.
- Une augmentation significative ($p < 0,05$) de la teneur en Cr (0,27 vs. 0,24 mg/100 g pour le régime témoin et 0,20 vs. 0,18 mg/100 g pour le régime expérimental) des muscles du filet par rapport à ceux de la cuisse.

Des concentrations similaires de macroéléments et d'oligo-éléments dans les muscles du filet et de la cuisse des poulets de chair ont été rapportées dans la littérature (Hamim *et al.*, 1980).

2.3. Profil en acides gras

Les résultats de la composition en acides gras des muscles du filet et de la cuisse sont rapportés dans le tableau 3.3.

Tableau 3.3 : Composition en acides gras (%) des muscles du filet et de la cuisse

	Témoïn		Expérimental		p values		
	Filet	Cuisse	Filet	Cuisse	Régime	Muscle	Régime* Muscle
C14 (myristique)	2,005±0,352	1,939±0,529	1,245±0,164	2,426±0,449	0,569	0,041	0,026
C16 (palmitique)	21,363±1,217	20,106±1,472	21,039±1,118	18,826±0,520	0,257	0,030	0,487
C16:1 (palmitoléique)	8,721±0,782	11,534±0,914	8,682±1,257	11,58±1,817	0,996	0,004	0,954
C18 (stéarique)	21,326±0,686	20,303±1,059	19,772±0,679	19,123±0,237	0,012	0,081	0,668
C18:1 (oleique)	22,011±1,363	21,069±1,523	22,404±1,545	20,653±0,962	0,989	0,127	0,622
C18: 2n-6 (linoléique)	17,330±0,940	18,056±0,288	19,923±0,691	18,864±0,130	0,001	0,646	0,034
C18:3n-3(α -linoléique)	2,155±0,527	3,006±0,652	2,749±0,749	3,876±0,515	0,064	0,023	0,733
C20: 4n-6(arachidonique)	3,418±0,536	3,983±1,729	4,182±0,770	4,315±0,545	0,380	0,571	0,724
AGS	44,695±2,265	42,350±3,060	42,057±0,294	40,376±1,208	0,024	0,042	0,700
AGMI	30,732±2,146	32,603±2,437	31,087±0,547	32,234±2,779	0,988	0,013	0,465
AGPI	22,904±2,004	25,045±2,670	26,855±0,799	27,056±1,191	0,012	0,249	0,320
AGMI/AGS	0,687±0,007	0,770±0,029	0,739±0,009	0,799±0,044	0,004	0,085	0,244
AGPI/AGS	0,513±0,038	0,594±0,09	0,638±0,023	0,670±0,042	0,485	<,0001	0,002

AGS : acides gras saturés, AGMI : acides gras mono-insaturés, AGPI : acides gras polyinsaturés.

Les valeurs rapportées sont la moyenne \pm écart type de chaque composant.

Dans la présente étude, nous avons remarqué une prédominance des acides gras saturés (42,06-44,69 et 40,37-42,35% dans le filet et la cuisse, respectivement), suivie par les acides gras mono-insaturés (30,73-31,08 et 32,23-32,60 % dans le filet et la cuisse, respectivement) et les acides gras polyinsaturés (22,90-26,85 et 25,04-27,06 % dans le filet et la cuisse, respectivement). Le profil en acides gras des muscles est similaire à ceux rapportés par Chung et, Choi (2016). Cependant, ceci est en désaccord avec les résultats rapportés par d'autres auteurs Bostami *et al.* (2017) et Kim *et al.* (2017), qui ont observé que les AGMI sont les principaux acides gras de la viande de poulet de chair, suivi par les AGS et enfin les AGPI.

Effet du régime sur la composition de la viande en acides gras :

L'ajout des probiotiques et de l'extrait de *Yucca schidigera* dans le régime alimentaire des poulets de chair a montré (figure 3.3) :

- Aucune influence sur la composition en acide myristique C14, en acide palmitique C16, en acide palmitoléique C16 :1, en acide oléique C18 :1 et en AGMI des muscles du filet et de la cuisse ($P > 0,05$).
- Une diminution significative ($p < 0,05$) des pourcentages en acide stéarique C18 (19,77 *vs.* 21,33 pour le filet et 19,12 *vs.* 20,30 pour la cuisse) et en AGS (26,85 *vs.* 22,90 pour le filet et 27,05 *vs.* 25,04 pour la cuisse) par rapport au régime témoin.
- Une augmentation significative ($p < 0,05$) des pourcentages en acide linoléique C18 :2 (19,92 *vs.* 17,33 pour le filet et 18,86 *vs.* 18,05 pour la cuisse) et en AGPI (26,85 *vs.* 22,90 pour le filet et 27,06 *vs.* 25,04 pour la cuisse) par rapport au régime témoin.

Dans notre étude, la réduction de pourcentage des acides gras saturés des muscles du filet et de la cuisse est corrélée avec l'augmentation de pourcentage des acides gras polyinsaturés. Ce constat est souhaitable pour la santé et le bien-être du consommateur. Les AGPI sont des précurseurs des eicosanoïdes, des prostaglandines, des leucotriènes et des thromboxanes qui participent à la régulation du système cardiovasculaire et des processus immunitaires (Grashorn, 2007).

L'addition de probiotiques (*P. acidilactici* et *S. cerevisiae*) et de l'extrait de *Yucca schidigera* dans l'alimentation des poulets de chair peut potentiellement améliorer le profil des acides gras, parce qu'ils exercent un effet antioxydant qui par conséquent empêche l'oxydation des AGPI, ainsi qu'un effet positif sur la flore intestinale et peuvent également affecter les activités des enzymes qui interviennent dans la synthèse des acides gras, particulièrement les AGPI.

L'effet antioxydant chez les souches probiotiques a été déjà rapporté, tel que chez *S. cerevisiae* (Zhang *et al.*, 2005). Les travaux de Janocha *et al.* (2011) ont rapporté que l'addition de cette levure dans l'alimentation des poulets a amélioré le profil des acides gras de la viande, principalement la proportion des AGPI. Nos résultats corroborent aussi avec ceux d'Endo *et al.* (1999), qui ont révélé que l'ajout de *Saccharomyces* a augmenté la teneur en acide linoléique et le rapport AGPI/AGS de la viande des poulets de chair grâce à un effet positif sur la flore intestinale. De même, Saleh *et al.* (2013) ont remarqué une augmentation des acides gras 18:1 (n-9), 18: 2 (n-6) et 18: 3 (n-3) probablement sous l'effet des activités intestinales des probiotiques (*S. cerevisiae* A. et *awamori*).

En effet, l'addition d'un extrait végétal à base de *Yucca schidigera* et *Trigonella graecum* dans l'alimentation des poulets a montré une augmentation des proportions des AGMI et AGPI et n'a aucun effet sur les AGS (Sahraoui *et al.*, 2018). Chez les poules pondeuses, Alagawany *et al.* (2016) ont rapporté que la supplémentation en *Yucca schidigera* améliore le statut antioxydant du sérum, alors que les acides gras du jaune d'œuf ont été modifiés par l'ajout des saponines de *Karaya* dans l'alimentation (Afrose *et al.*, 2010).

Les variations dans les proportions des AGS et AGPI de nos échantillons sont probablement due à l'action des enzymes dont : acide gras synthase (FAS), acétyl-CoA carboxylase (ACC), D-6 désaturase (D6DES). Ces enzymes jouent un rôle important dans la synthèse des AGPI (Serruys *et al.*, 2004). Il a été démontré que les probiotiques *S. cerevisiae* A. et *awamori* ont augmenté l'ARNm de ACC, FAS et D6DES dans les muscles, ce qui peut être lié à l'augmentation des acides gras dont : 18: 1 (n-9), 18: 2 (n-6) et 18: 3 (n-3) (Saleh *et al.*, 2013). Il est à noter aussi que l'augmentation de pourcentage des AGS et la diminution de ceux d'AGPI de nos échantillons sont probablement le résultat du phénomène de conversion d'un acide gras en un autre. L'enzyme clé associée au processus de conversion est l'enzyme 9-désaturase (Bruce et Salter, 1996).

Des nombreuses études ont montré que le profil en acides gras de la viande de poulet de chair reflète leur consommation alimentaire. Récemment, des chercheurs ont suggéré qu'il est possible de modifier la teneur en acides gras de la viande des poulets de chair par l'addition au régime alimentaire des probiotiques et des plantes médicinales ainsi que des plantes fermentées (Bostami *et al.*, 2017). L'étude de Kim *et al.* (2017) porte sur la supplémentation d'aliment des poulets de chair par la plante *Ginkgo biloba* ou le *Citrus junos* fermentées par les probiotiques *L. plantarum*, *L. acidophilus* et *S. cerevisiae* a révélé une réduction de pourcentage des acides gras saturés et une amélioration de ceux des acides gras polyinsaturés.

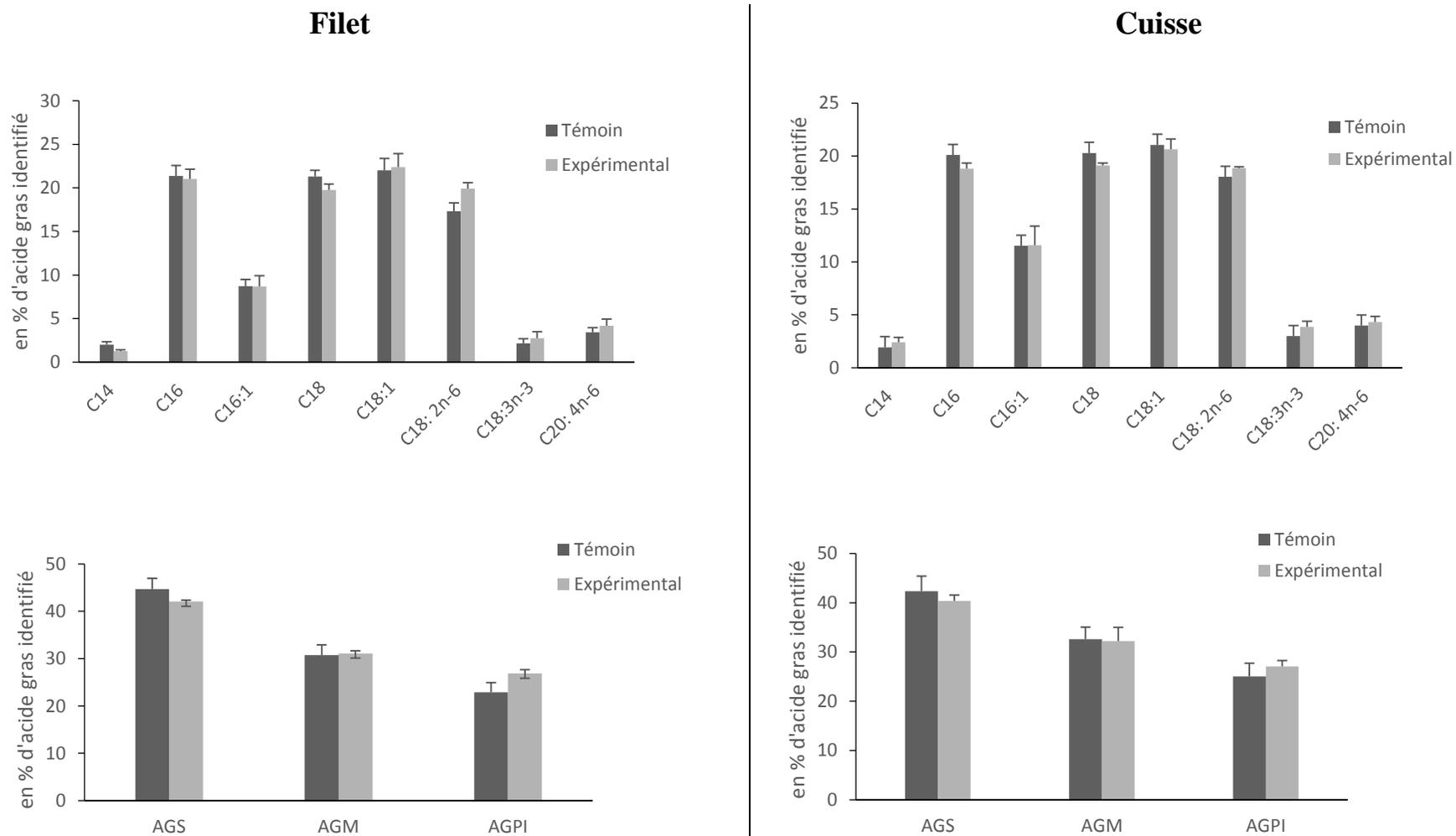


Figure 3.3 : Effet du régime sur la composition des acides gras des muscles

Effet du type de muscle sur la composition de viande en acides gras :

La composition en acides gras des échantillons de la viande varie selon le type de muscle :

- Aucune influence sur la composition en acide oléique C18, en acide C18 :2, en C20 :4 et en acides gras polyinsaturés (AGPI) des muscles du filet et de la cuisse ($P > 0,05$).
- Le pourcentage de l'acide myristique a été augmenté (1,24% vs. 2,42%) dans les muscles du filet par rapport ceux de la cuisse en régime expérimental, alors que l'inverse (2,00% vs. 1,94%) a été observé en régime témoin.
- Une augmentation significative ($p < 0,05$) des pourcentages de l'acide palmitique (21,36% vs. 20,11% pour le régime témoin et 21,03 vs. 18,82% pour le régime expérimental) et des AGS (44,69% vs. 42,35% pour le régime témoin et 42,06% vs. 40,34% pour le régime expérimental) des muscles du filet par rapport ceux de la cuisse.
- Une diminution significative ($p < 0,05$) des pourcentages de l'acide palmitoléique (8,72% vs. 11,53% pour le régime témoin et 8,68% vs. 11,58% pour le régime expérimental), l'acide linoléique (2,15% vs. 3,01% pour le régime témoin et 2,75% vs. 3,88% pour le régime expérimental) et les AGM (30,73% vs. 32,60% pour le régime témoin et 31,09% vs. 32,23% pour le régime expérimental) des muscles du filet par rapport ceux de la cuisse.

Des résultats similaires sur la viande de poulet de chair ont été rapportés par Puerto *et al.* (2017).

2.4. Statut antioxydant de la viande

Les résultats de l'évaluation de l'activité antioxydante des muscles du filet et de la cuisse contre le radical DPPH sont rapportés dans le tableau 3.4 et la figure 3.4.

Tableau 3.4 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH des solutions aqueuses des muscles du filet et de la cuisse

				p values	
	Témoin	Expérimental	Régime	Muscle	Muscle*Régime
Filet	61,64 ± 0,33	67,1 ± 2,13	<,0001	0,495	0,774
Cuisse	62,52 ± 1,10	67,46 ± 1,79			

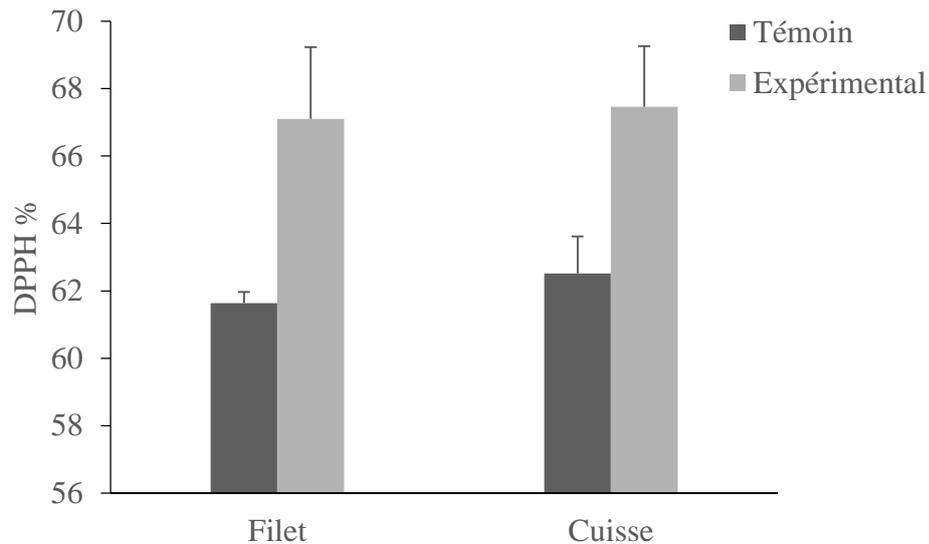


Figure 3.4 : Effet du régime sur l'activité de piégeage du radical DPPH dans les muscles du filet et de la cuisse

Il en ressort que l'ajout des probiotiques et de l'extrait de *Yucca schidigera* au régime alimentaire des poulets de chair a significativement augmenté l'activité de piégeage du radical DPPH des muscles du filet et de la cuisse par rapport au régime témoin ($p < 0,05$).

L'activité de piégeage des radicaux libres contre DPPH est largement utilisée dans l'estimation de l'activité antioxydante dans les matrices alimentaires. La réaction antioxydante avec le DPPH peut neutraliser les radicaux libres en excès par transfert d'un électron ou d'un atome d'hydrogène. L'ajout des antioxydants à la solution de DPPH induit un changement de couleur rapide, ce qui indique la formation d'une molécule stable (figure 3.5) (Wojdylo *et al.*, 2007).

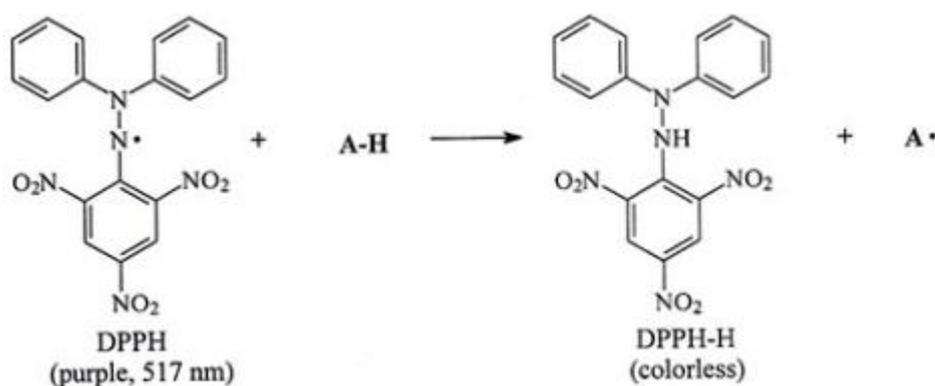


Figure 3.5 : Structure du DPPH avant et après la réaction avec un antioxydant (Anonyme 1)

L'effet antioxydant remarqué dans les muscles du filet et de la cuisse peut être attribué à l'action combinée des métabolites secondaires des probiotiques ainsi qu'aux composés actifs de *Yucca schidigera*. L'effet antioxydant de *S. cerevisiae* a été déjà signalé par Zhang *et al.* (2005). *S. cerevisiae* est une source naturelle en minéraux et en vitamines. En outre, l'extrait de *Yucca schidigera* contient sept composés phénoliques, à savoir le resvératrol, yucaone A et yuccaols A, B, C, D et E. Il est bien connu que, en raison de leur potentiel redox, ces composés phénoliques affectent positivement l'activité antioxydante (Gümüş et İmik, 2016). En effet, les antioxydants se combinent aux radicaux libres, réduisant ainsi leur concentration intracellulaire, ce qui améliore la stabilité de la viande vis-à-vis de l'oxydation des AGPI (Kim et kang, 2016). Cela expliquerait le résultat positif concernant le profil des acides gras de nos échantillons des muscles du filet et de la cuisse particulièrement l'augmentation du pourcentage des AGPI.

En adéquation à nos résultats, il a été rapporté que les probiotiques et l'extrait de *Yucca schidigera* exercent un effet bénéfique sur l'activité anti-radicalaire chez le poulet de chair ; la souche probiotique *Bacillus subtilis* a montré une amélioration de la capacité antioxydante vis-à-vis le DPPH et de la stabilité à l'oxydation de viande des poulets de chair (Bai *et al.*, 2016). Aussi, la supplémentation de l'alimentation en extrait de *Yucca schidigera* a amélioré la capacité antioxydante au niveau des intestins (Sun *et al.*, 2017 et Su *et al.*, 2016). Quant à l'association des probiotiques avec les plantes ou ses extraits, Kim et kang (2016) ont indiqué que l'utilisation de l'orge ou du blé fermenté par *Lactobacillus plantarum* et *Bacillus subtilis* a augmenté la capacité de piégeage des radicaux de DPPH de la viande.

En conclusion, les changements enregistrés dans la composition nutritionnelle des muscles du filet et de la cuisse de la présente étude ont montré que l'association des probiotiques (*P. acidilactici* et *S. cerevisiae*) et de l'extrait de *Yucca schidigera* peut être considérée comme une approche très bénéfique dans l'alimentation des poulets de chair.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION

Le présent travail s'inscrit dans un contexte général de l'utilisation des produits biologiques comme substituts aux antibiotiques en élevage avicole. Pour apporter les arguments à l'hypothèse que la supplémentation de probiotiques (*P. acidilactici* et *S. cerevisiae*) et de l'extrait de *Yucca schidigera* à l'aliment de poulets de chair peut moduler positivement la qualité de la viande, nous avons réalisé :

L'étude *in vitro* de l'interaction entre les deux probiotiques *P. acidilactici* et *S. cerevisiae* et l'effet de l'extrait de *Yucca schidigera* à activité anticoccidienne sur leur croissance en culture mixte. Les résultats ont révélé qu'il existe une interaction positive entre les deux probiotiques, la coexistence des deux souches n'est pas vitale mais favorise le développement de chacune des populations. Alors que l'extrait de *Yucca schidigera* accuse une stimulation de la croissance de *P. acidilactici* et un ralentissement de la croissance de *S. cerevisiae*.

L'étude *in vivo* de cette association en élevage de poulets de chair et l'impact de son utilisation sur la qualité de viande. Les résultats ont montré que cette association favorise la production des filets à pH ultime suffisamment élevé et aboutit par conséquent à une viande de qualité technologique optimisée que les consommateurs préfèrent. En revanche, le suivi microbiologique de la viande des filets a montré une contamination importante par les flores au début de conservation qui a été en relation étroite avec le pH ultime de viande. La supplémentation de cette association dans l'alimentation des poulets a aussi amélioré les caractéristiques nutritionnelles des muscles du filet et de la cuisse. En effet, une augmentation des teneurs en protéines, en fer, en zinc et en phosphore avec une diminution de celle en lipides a été observée alors qu'il a été rapporté dans la littérature que les saponines de *Yucca schidigera* réduisent l'absorption des protéines et de fer. Cette association a montré également une réduction de pourcentage des acides gras saturés (SFA) des muscles du filet et de la cuisse corrélée avec l'augmentation de pourcentage des acides gras polyinsaturés (AGPI), constat qui est souhaitable pour la santé du consommateur. En ce qui concerne le statut antioxydant des muscles, la supplémentation des probiotiques et de l'extrait de *Yucca schidigera* a montré une amélioration de l'activité de piégeage du radical DPPH dans les échantillons du filet et de cuisse.

Nous pouvons donc conclure que l'utilisation de l'association de probiotiques (*P. acidilactici* et *S. cerevisiae*) et l'extrait de *Yucca schidigera* pourrait constituer une potentielle alternative

Conclusion

à l'utilisation des antibiotiques, en permettant non seulement de préserver la santé et les performances des poulets de chair, mais également d'améliorer la qualité de la viande et par conséquent satisfaire les attentes du consommateur.

Enfin, au terme de cette thèse, nous proposons quelques perspectives de recherche :

- Reprendre cette étude sur des élevages à grande échelle afin d'en faire l'analyse technico-économique.
- Nos recherches ont permis de démontrer l'interaction positive des deux souches probiotiques testées, d'autres souches ou mélange de souches pourraient être testés afin d'optimiser l'effet bénéfique observé (mélange de bactéries lactiques et de levures).
- Les plantes aromatiques et médicinales (PAM) constituent un patrimoine végétal précieux de notre pays, valoriser ses produits à forte valeur ajoutée en alimentation des poulets peut constituer une alternative efficace aux antibiotiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdulla N.R., Zamri A.N.M., Sabow A.B., Kareem K.Y., Nurhazirah S., Ling F.H., Sazili A. Q., Loh T.C. 2017. Physicochemical properties of breast muscle in broiler chickens fed probiotics, antibiotics or antibiotic-probiotic mix. *Journal of Applied Animal Research*. 45:64-70.
- Afroze S., Hossain M.D.H., Salma U., Miah A.G., & Tsujii H. (2010). Dietary karaya saponin and rhodobacter capsulatus exert hypocholesterolemic effects by suppression of hepatic cholesterol synthesis and promotion of bile acid synthesis in laying hens. *Cholesterol*, 7.
- Agabou A., Lezzar N., Ouchenane Z., Khemissi S., Satta D., Sotto A., Lavigne J.P. & Pantel A. (2015). Clonal relationship between human and avian ciprofloxacin-resistant *Escherichia coli* isolates in North-Eastern Algeria. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, DOI 10.1007/s10096-015-2534-3.
- Ahmad I. (2006). Effect of probiotics on broiler performance, *International Journal of Poultry Science*, 5 (6), 593-597.
- Ahmed S. T., Ko S.Y. & Yang C.J. (2017). Improving the nutritional quality and shelf-life of broiler meat by feeding diets supplemented with fermented pomegranate (*Punica granatum* L.) by-products, *British Poultry Science*, DOI: 10.1080/00071668.2017.1363870.
- Aksu M. İ., Karaoğlu M., Esenbuğa N., Macit M. & Öztürk H. (2014). Effects of supplementing broiler diets with *Saccharomyces cerevisiae* at different levels and frozen storage on the meat quality traits of breasts and drumsticks. *European Poultry Science*, 78, 1612-9199.
- Aksu M.İ., Karaoğlu M., Esenbuğa N., Kaya M., Macit M., & Ockerman H.W. (2005). Effect of dietary probiotic on some quality characteristics of raw broiler drumsticks and breast meat. *Journal of Muscle Food*, 85(4), 306-317.
- Alagawany M., Abd El-Hack M.E., Farag M.R., Sachan S., Karthik K. & Dhama K. (2018). The use of probiotics as eco-friendly alternatives for antibiotics in poultry nutrition. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1687-x>.
- Alagawany M., El-Hack M.E.A. & El- Khol M.S. (2018). Productive performance, egg quality, blood constituents, immune functions, and antioxidant parameters in laying hens fed diets

Références bibliographiques

- with different levels of *Yucca schidigera* extract. Environmental Science and Pollution Research, 23, 6774-6782.
- Ali F. H. M. (2010). Probiotics feed supplement to improve quality of broiler chicken carcasses. World Journal of Dairy Food Science, 5(1), 93-99.
- Allen C. D., Russell S. M. & Fletcher D. L. (1997). The relationship of broiler breast meat color and shelf-life and odor development. Poultry Science, 76, 1042-1046.
- Aluwong T., Kawu M., Raji M., Dzenda T., Govwang F., Sinkalu V. & Ayo J. (2013). Effect of yeast probiotic on growth, antioxidant enzyme activities and malondialdehyde concentration of broiler chickens. Antioxidants, 2 (4), 326-339.
- Álvarez Martín P., Flórez A.B., Hernández Barranco A. & Mayo B. (2008). Interaction between dairy yeasts and lactic acid bacteria strains during milk fermentation. Food Control, 19, 62-70.
- Al-Yasiry R. M., Kiczorowska B. & Samolińska W. (2017). Effect of *Boswellia serrata* Resin Supplementation on Basic Chemical and Mineral Element Composition in the Muscles and Liver of Broiler Chickens. Biological and Trace Elements Research, 179, 294-303.
- Al-Zenki S. F., Al-Nasser A. Y., Al-Saffer A. E., Abdullah F. K., Al-Bahouh M. E., Al-Haddad A. S., Alomirah H. & Mashaly M. (2009). Effects of using a chicken- origin competitive exclusion culture and probiotic cultures on reducing *Salmonella* in broilers. Journal of Applied Poultry Research, 18, 23-29.
- Anadon H.L.S. (2002). Biological, nutritional, and processing factors affecting breast meat quality of broilers. Ph.D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, 24061, USA.
- Anonyme 1: Antimicrobial resistance in animals in Algeria, [online] Available at: resistancebank.org, 2020.
- Anonyme 2: Grupiv's Blog. (2019). Método DPPH. [online] Available at: <https://grupiv.wordpress.com/metodo-dpph>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1990). Official Methods of Analysis. (15th ed.). Virginia: Association of official analytical chemists.
- Aristides L. G. A., Venancio E. J., Alfieri A. A., Otonel R. A. A., Frank W. J. & Oba A. (2018). Carcass characteristics and meat quality of broilers fed with different levels of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product. Poultry Science, 0:1-6.
- Ashayerizadeh A., Dabiri, N., Ashayerizadeh O. et al. (2009). Effect of dietary antibiotic, probiotic and prebiotic as growth promoters, on growth performance, carcass

Références bibliographiques

- characteristics and hematological indices of broiler chickens. *Pakistan Journal of Biology Science*, 12, 52-57.
- Ashour E.A., Alagawany M., Reda F.M. & Abd El-Hack M.E. (2014). Effect of Supplementation of *Yucca schidigera* Extract to Growing Rabbit Diets on Growth Performance, Carcass Characteristics, Serum Biochemistry and Liver Oxidative Status. *Asian Journal of Veterinary Advances*, 9(11), 732-742.
- Avato P., Bucci R., Tava A., Vitali C., Rosato A., Bialy Z. & Jurzysta M. (2006). Antimicrobial Activity of Saponins from *Medicago*: Structure-Activity Relationship. *Phytotherapy Research*, 20, 454-457.
- Awaad M.H.H., Afify M.A., Zouel-Fakar S.A., Shalaby B., Chevaux E., Delforge J., Dussert L. & Khetrou M. (2003). Effets de l'addition de *Pediococcus acidilactici* sur l'infection à *Escherichia-coli* et sur la colonisation par *Clostridium perfringens* et *Salmonella typhimurium* chez le poulet de chair. Sixièmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 502-505.
- Baazize-Ammi D., Dechicha A.S., Tassist A., Gharbi I., Hezil N., Kebbal S., Morsli W., Beldjoudi S., Saadaoui M.R. & Guetarni D. (2019). Recherche et quantification des résidus d'antibiotiques dans le muscle du poulet de chair et dans le lait dans la région centre d'Algérie. *La Revue scientifique et technique de l'OIE*, 38(3).
- Bai W. K., Zhang F. J., He T. J., Su P. W., Ying X. Z., Zhang L. L. & Wang T. (2016). Dietary probiotic *Bacillus subtilis* strain fmbj increases antioxidant capacity and oxidative stability of chicken breast meat during storage. *PLoS One*, 11, e0167339.
- Bailey J. S., Stern N. J. & Cox N. A. (2000). Commercial field trial evaluation of mucosal starter culture to reduce *Salmonella* incidence in processed broiler carcasses. *Journal Food Protection*, 63(7), 867-870.
- Begum M., Hossain M.M. & Kim I.H. (2015). Effects of caprylic acid and *Yucca schidigera* extract on growth performance, relative organ weight, breast meat quality, haematological characteristics and caecal microbial shedding in mixed sex Ross 308 broiler chickens. *Veterinari Medicina*, 60 (11), 635-643.
- Belmahdi M., Bakour S., Al Bayssari C., Touati A. & Rolain J.M. (2016). Molecular characterisation of extended-spectrum β lactamase- and plasmid AmpC-producing *Escherichia coli* strains isolated from broilers in Bejaia, Algeria. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 6, 108-112.

Références bibliographiques

- Berghiche A., Khenenou T. & Labiad I. (2018). Importance of antibiotic residues in foodstuffs of avian origin marketed in souk ahras (Algerian republic). *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*, 3(5), 5-10.
- Berghiche A., Khenenou T., Bouzebda-AF F., Lamraoui R. & Labied I. (2017). Detection of the Antibiotic Residues in Broiler Chickens by Microbiological Screening Test in Algeria. *Global Veterinaria*, 19 (2), 504-508.
- Bernardeau M. & Vernoux J.P. (2009). Overview of the use of probiotics in the Feed/Food chain, In: *Probiotics: Production, Evaluation and Uses in Animal Feed*, (2009), 15-45, Editors: Nelson Pérez Guerra and Lorenzo Pastrana Castro. *Biotechnology & Applied Biochemistry*, Kerala, India.
- Berri C., Guardia S., Bignon L., Corniaux A., Bourin M., Mercierand F. & Bouvare I. (2014). Améliorer la qualité des viandes de poulets par l'alimentation, *Viandes & Produits Carnés*, 30-4-6.
- Bietrix J. (2004). Utilisation des nutraceutiques dans la gestion de l'arthrose du cheval, Etude bibliographique. Thèse *Méd. Vét.*, Lyon, n° 119, 218p.
- Bononi M., Guglielmi G., Rocchi P. & Tateo F. (2013). First data on the antimicrobial activity of *Yucca filamentosa* bark extracts. *Italian journal of food science*, 25, 208-241.
- Bordoni A. & Danesi F. (2017). Poultry Meat Nutritive Value and Human Health. *Poultry Quality Evaluation*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100763-1.00011-8>.
- Bostami A.B.M.R., Sarker M.S.K. & Yang C.J. (2017). Performance and meat fatty acid profile in mixed sex broilers fed diet supplemented with fermented medicinal plant combinations. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 27(2), 360-372.
- Boumar-Kechih S., Hamdi M.T., Hebib Aggad H., Meguenni N. & Cantekin Z. (2018) Carriage *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus* in Poultry and Cattle in Northern Algeria. *Veterinary Medicine International*, 5, <https://doi.org/10.1155/2018/4636121>.
- Bourgeois C. M. & Larpent J. P. (1996). *Microbiologie alimentaire : aliments fermentés et fermentations alimentaires*, Lavoisier Technique & documentation, 2ème Edition, Paris, 523p.
- Boutrid S. & Tebbani A. (2017). Determination of OTC residues in broiler chicken edible tissues by HPLC-UV. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 8(2), 2487.
- Boze H., Moulin G. & Galzy P. (2008). Production of Microbial Biomass. In *Biotechnology*, Rehm H.J., and Reed G., eds. Wiley-VCH Verlag GmbH, 166-220.

Références bibliographiques

- Braden K. W. (2013). Converting muscle to meat: The physiology of rigor. p79-94 In The science of meat quality, ed. R. C. Kerth, Wiley-Blackwell, Iowa, USA.
- Brogna D. M. R., Nasri S., Ben Salem H., Mele M., Serra A., Bella M., Priolo A., Makkar H. P. S. & Vasta V. (2011). Effect of dietary saponins from *Quillaja saponaria L.* on fatty acid composition and cholesterol content in muscle *Longissimus dorsi* of lambs. *Animal*, 5 (7), 1124-1130.
- Bruce J.S. & Salter A.M. (1996). Metabolic fate of oleic acid, palmitic acid and stearic acid in cultured hamster hepatocytes. *Biochemical Journal*, 316, 847-852.
- Brunel V., Jehl N., Drouet L. & Portheau M.-C. (2010). Viande de volailles : Sa valeur nutritionnelle présente bien des atouts. *Viandes et Produits Carnés*, 25 (1), 18-22.
- Butaye P., Devriese L.A. & Haesebrouck F. (2003). Antimicrobial growth promoters used in animal feed: effects of less well known antibiotics on gram-positive bacteria. *Clinical and Microbiology Review*, 16, 175-188.
- Cabuk M., Alcicek A., Bozkurt M. & Akkan S. (2004.) Effect of *Yucca schidigera* and natural zeolite on broiler performance. *International Journal of Poultry Science*, 3, 484-486.
- Cassens R. G. & Cooper C. C. (1971) Red and white muscle. *Advances in Food Research*, 19, 1-74.
- Centre de Recherche en Economie Appliquée pour le Développement (CREAD). (2018). Première partie analyse de l'état de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en algérie revue stratégique de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Algérie, CREAD.
- Chapman C.M.C., Gibson G.R. & Rowland I. (2012). In vitro evaluation of single- and multi-strain probiotics: Inter-species inhibition between probiotic strains, and inhibition of pathogens. *Anaerobe*, 18, 405-413.
- Chapman H.D., Barta J.R., Blake D., Gruber A., Jenkins M., Smith N.C., Suo X. & Tomley F.M.A. (2013). Selective review of advances in coccidiosis research. *Advances in Parasitology*, 83, 93-171.
- Cheeke P.R. & Otero R. (2005). *Yucca*, *Quillaja* may have role in animal nutrition. *Feedstuffs*, 3, 11-14.
- Cheeke P.R. (2001). Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*, 13, 115-126.
- Cheeke P.R., Piacente S. & Oleszek W. (2006). Anti-inflammatory and antiarthritic effects of *Yucca schidigera*: A review. *Journal of Inflammation*, 3-6.

Références bibliographiques

- Cheirsilp B., Shimizu H. & Shioya S. (2003a). Enhanced kefir production by mixed culture of *Lactobacillus kefirianofaciens* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Biotechnology*, 100, 43-53.
- Cheirsilp B., Shoji H., Shimizu H. & Shioya S. (2003b). Interactions between *Lactobacillus kefirianofaciens* and *Saccharomyces cerevisiae* in mixed culture for kefir production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 96 (3), 279-284.
- Chen C.Y., Chen S. W. & Wang H. T. (2017). Effect of supplementation of yeast with bacteriocin and *Lactobacillus* culture on growth performance, cecal fermentation, microbiota composition, and blood characteristics in broiler chickens. *Asian-Australas Journal of Animal Science*, 30(2) 211-220.
- Chen C.Y., Chen S. W. & Wang H. T. (2017). Effect of supplementation of yeast with bacteriocin and *Lactobacillus* culture on growth performance, cecal fermentation, microbiota composition, and blood characteristics in broiler chickens. *Asian-Australas Journal of Animal Science*, 30(2) 211-220.
- Chéret R., Hernández-Andrés A., Delbarre-Ladrat C., de Lamballerie M., & Verrez Bagnis V. (2006). Proteins and proteolytic activity changes during refrigerated storage in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) muscle after high-pressure treatment. *European Food Research and Technology*, 222, 527-535.
- Chikindas M. L., Garcia-Garcera M. J., Driessen A. J., Ledebouer A. M., Nissen- Meyer J. I., Nes F., Abee T., Konings W. N. & Venema G. (1993). Pediocin PA-1, a bacteriocin from *Pediococcus acidilactici* PAC1.0, forms hydrophilic pores in the cytoplasmic membrane of target cells, *Applied and Environmental Microbiology*, 59, 3577- 3584.
- Chou W. K., Park J., Carey J.B., McIntyre D.R. & Berghman L.R. (2017). Immunomodulatory Effects of *Saccharomyces cerevisiae* Fermentation Product Supplementation on Immune Gene Expression and Lymphocyte Distribution in Immune Organs in Broilers. *Frontiers in Veterinary Science*, 4, 37.
- Chundawat R.S. & Sood P.P. (2005). Vitamins deficiency in developing chick during chromium intoxication and protection thereof. *Toxicology*, 211 (1-2), 124-131.
- Chung T.H. & Choi I.H. (2016). Growth Performance and Fatty Acid Profiles of Broilers Given Diets Supplemented with Fermented Red Ginseng Marc Powder Combined with Red Koji. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 18(4) 733-738.

Références bibliographiques

- Cortinas L., Villaverde C., Galobart J., Baucells M., Codony R., & Barroeta A. C. (2004). Fatty acid content in chicken thigh and breast as affected by dietary polyunsaturation level. *Poultry Science*, 83, 1155-1164.
- Crespo N. & Esteve-Garcia E. (2001). Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poultry Science*, 80, 71-78.
- da Costa R.J., Voloski F.L.S., Mondadori R.G., Duval E.H. & Fiorentini A.M. (2019). Preservation of Meat Products with Bacteriocins Produced by Lactic Acid Bacteria Isolated from Meat. *Journal of Food Quality*, <https://doi.org/10.1155/2019/4726510>.
- Damiani P., Gobbetti M. & Cossignani L. (1996). The sourdough microflora. Characterization of hetero- and homofermentative lactic acid bacteria, yeasts and their interactions on the basis of the volatile compounds. *LWT-Food Science and Technology*, 70, 63-70.
- Debbou-Iouknane N., Benbarek H. & Ayad A. (2018). Prevalence and aetiology of coccidiosis in broiler chickens in Bejaia province, Algeria. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 85(1), a1590.
- Djeffal S., Bakour S., Mamache B., Elgroud R., Agabou A., Chabou S., Hireche S., Bouaziz O., Rahal K. & Rolain J.M. (2017). Prevalence and clonal relationship of ESBL-producing *Salmonella* strains from humans and poultry in northeastern Algeria. *BMC Veterinary Research*, 13:132.
- Djemai S., Mekroud A. & Mark C.J. (2016). Evaluation of ionophore sensitivity of *Eimeria acervulina* and *Eimeria maxima* isolated from the Algerian - Jijel province poultry farms. *Veterinary Parasitology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.04.040>.
- Djezzar R., Benamirouche K., Baazize-Ammi D., Khoubi A., Merrouki A., Maghni E. & Guetarni D. (2012). Impact of dietary supplementation with *Pediococcus acidilactici* on Zootechnical and sanitary performances of broilers in Algeria. *Research Journal of Poultry Sciences*, 5 (4), 54-59.
- Djezzar R., Benamirouche K., Baazize-Ammi D., Mohamed-Said R. & Guetarni D. (2014). Effect of a dietary supplementation combining a probiotic and a natural anticoccidial in broiler chickens. *African Journal of Agricultural Research*, 9 (52), 3782-3788.
- Elegado B.F., Kim W.J. & Kwon D.Y. (1997) Rapid purification, partial characterization and antimicrobial spectrum of the bacteriocin, pediocin AcM, from *Pediococcus acidilactici* M. *International Journal of Food Microbiology*, 37, 1-11.
- Elghandour M.M.Y., Tan Z.L., Abu Hafsa S.H., Adegbeye M.J., Greiner R., Ugbogu E.A., Cedillo Monroy J. & Salem A.Z.M. (2019). *Saccharomyces cerevisiae* as a probiotic feed

Références bibliographiques

- additive to non and pseudo-ruminant feeding: a review. *Journal of Applied Microbiology*
<https://doi.org/10.1111/jam.14416>.
- Endo T. & Nakano M. (1999). Influence of a probiotic on productivity, meat components lipid metabolism, caecal flora and metabolites and raising environment in broiler production. *Animal Science Journal*, 70, 207-218.
- Endo T. & Nakano M. (1999). Influence of a probiotics on productivity, meat components, lipid metabolism, caecal flora and metabolites, and raising environment in broiler production. *Animal Science Journal*, 70(4), 207-218.
- Engberg R.M., Hedemann M.S., Leser T.D. & Jensen B.B. (2000). Effect of zinc bacitracin and salinomycin on intestinal microflora and performance of broilers. *Poultry Science*, 79, 1311e9.
- Erkkila S & Petaja E. (2000). Screening of commercial meat starter cultures at low pH in the presence of bile salts for potential probiotic use. *Journal of Meat Science*, 55, 297-300.
- Estrada A., Wilkie D.C. & Drew M. (2001). Administration of *Bifidobacterium bifidum* to chicken broilers reduces the number of carcass condemnations for cellulitis at the abattoir. *Journal of Applied Poultry Research*, 10 (4), 329-334.
- FAO/WHO, Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Evaluation of Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food Including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria, Amerian Córdoba Park Hotel, Córdoba, Argentina, (2001), 1-34.
- Farag M.R., Alagawany M., Abd El-Hack M.E., Arif M., Ayasan, Dhama T.K., Patra A. & Karthik K. (2017) Role of Chromium in Poultry Nutrition and Health: Beneficial Applications and Toxic Effects. *International Journal of Pharmacology*, 13 (7), 507-515.
- Folch J., Lees M. & Stanley G.H.S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biology Chemistry*, 226, 497-507.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2014). Sources of meat. Available: http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/backgr_sources.html.
- Francis G., Kerem Z., Makkar H.P.S. & Becker K. (2002). The biological action of saponins in animal systems: A review. *British Journal of Nutrition*, 88, 587-605.
- Fraysse J.L. & Darre A., (1990). Composition et structure du muscle évolution post mortem qualité des viandes volume 1. Ed : Lavoisier technique et documentation. Paris. p374.

Références bibliographiques

- Fredrickson A. G. (1977). Behavior of mixed cultures of microorganisms. *Annual Review of Microbiology*, 31, 63-87.
- Freire A.L., Ramos C.L., Da Costa Souza P.N., Barros Cardoso M.G. & Schwan R.F. (2017). Nondairy beverage produced by controlled fermentation with potential probiotic starter cultures of lactic acid bacteria and yeast. *International Journal of Food Microbiology*, 248, 39-46.
- Gabriel C. & Naciri M. (2001). Effet de l'alimentation sur les coccidioses chez le poulet, INRA. *Productions Animales*, 14, 231-246.
- Gadaga T.H., Mutukumira A.N. & Narvhus J.A. (2001). The growth and interaction of yeasts and lactic acid bacteria isolated from Zimbabwean naturally fermented milk in UHT milk. *International Journal of Food Microbiology*, 68, 21-32.
- Gaggia F., Mattarelli P. & Biavati B. (2010). Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *International Journal of Food Microbiology*, 141, 15-28.
- Galli G.M. & Da Silva A.S., Bottari N.B., Angelisa H. Biazus A.H., Tiago Petrolli T., Reis J.H., Morsch V.M., Schetinger M.R.C., Piva M.M., Baggio R.A., Mendes R.E., Boiago M.M., Stefani L.M. & Machado G. (2017). Addition of yucca extract and glutamine in the diet of chicks had a protective effect against coccidiosis. *Comparative Clinical Pathology*, <https://doi.org/10.1007/s00580-017-2579-z>.
- Gassner B. & Wuethrich A. (1994). Pharmacokinetic and toxicological aspects of the medication of beef-type calves with an Oral formulation of chloramphenicol palmitate. *J Vet Pharmacol Therapeut*, 17, 279e83.
- Gigaud V., Le Bihan-Duval E. & Berri C. (2009). Facteurs de variation de l'aptitude à la transformation de la viande de volaille. 8èmes Journées de la Recherche Avicole, Saint Malo (FRA), 2009/03/25-26.
- Gill H. S., Rutherford K. J., Prasad J. & Gopal P. K. (2000). Enhancement of natural and acquired immunity by *Lactobacillus rhamnosus* (HN001), *Lactobacillus acidophilus* (HN017) and *Bifidobacterium lactis* (HN019). *British Journal of Nutrition*, 83, 167-176.
- Gobbetti M., Corsetti A. & Rossi J. (2001). The sourdough microflora interaction between lactic acid and yeasts: metabolism of amino acids. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 10, 275-279.
- Gournier-Château N., Larpent J.P., Castellanos M.I & Larpent J.L. (1994). Les probiotiques en alimentation animale et humaine, Ed: Technique et Documentation Lavoisier, 192p.

Références bibliographiques

- Grandhi R.R. (1998). Efficacy of Biopowder-M and Bioliquid-3000 (*Y. schidigera* plant extract products) for reduction of odours in swine manure. Final report of the MII project 8466 prepared by the Brandon Research Centre, Brandon.
- Grashorn M.A. (2007). Functionality of Poultry Meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 16 (1), 99-106.
- Guclu B. & Iscan K. M. (2004). The effects of *Yucca schidigera* extract added to quail rations on fattening performance. *Journal of Erciyes University Faculty of Veterinary Medicine*, 1(1), 15-20.
- Guil-Guerrero J.L. Ramos L., Moreno C., Zúñiga-Paredes J.C., Carlosama-Yepez M. & Ruales P. (2016). Antimicrobial activity of plant-food by-products: A review focusing on the tropics. *Livestock Science*, 189, 32-49.
- Gümüş R. & İmik H. (2016). The effect of *Yucca schidigera* powder added to lamb feed on fattening performance, some blood parameters, the immune system, and the antioxidative metabolism of the hepatic tissue. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 40, 263-270.
- Gupta S. (2014). Inhibitory potential of yucca gloriosa l. extract and isolated gloriosol isomeric mixture on ovalbumin induced airway hyperresponsiveness in Balb/C mice. *Clinical Pharmacology and Biopharmaceutics*, S2:002. doi: 0.4172/2167-065X.S2-002.
- Haines W. C. & Harmon L. G. (1973). Effect of selected lactic acid bacteria on growth of *Staphylococcus aureus* and production of enterotoxin. *Applied Microbiology*, (25) 3, 436-41.
- Halfaoui Z., Menoueri N.M. & Bendali L.M. (2017). Serogrouping and antibiotic resistance of *Escherichia coli* isolated from broiler chicken with colibacillosis in center of Algeria, *Veterinary World*, 10(7), 830-835.
- Hamm D., Searcy G. K., & Kose A. A. (1980). Mineral content and proximate analyses of broiler meat from two strains and three regions of production. *Journal of Food Science*, 45, 1478-1480.
- Hashemi S. R. & Davoodi H. (2010). Phytochemicals as New Class of Feed Additives in Poultry Industry. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9, 2295-2304.
- Hassan S. M., Byrd J. A., Cartwright A.L. & Bailey C.A. (2010). Hemolytic and antimicrobial activities differ among saponin-rich extracts from guar, *Quillaja*, *Yucca*, and Soybean. *Applied Biochemistry and biotechnology*, 162 (4), 1008-17.

Références bibliographiques

- He C., Man H., Guowei S., Tao Q. & Jiangping W. (2011). Effect of steroidal saponins from *Fructus tribuli* on growth of *Bifidobacterium bifidum* and *Lactobacillus acidophilus*. *Key Engineering Materials*, 480-481, 70-74.
- Hossain M.D.E. & Yang C.J. (2014). Effect of fermented water plantain on growth performance, meat composition, oxidative stability, and fatty acid composition of broiler. *Livestock Science*, 162, 168-177.
- Hostettmann K., Marston A. & Wolfender J.L. (1995). *Phytochemistry of Plants Used in Traditional Medicine*, Clarendon Press, Oxford.
- Hussain I. & Cheeke P.R. (1995). Effect of dietary *Yucca schidigera* extract on rumen and blood profiles of steers fed concentrate- or roughage-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 51, 231-242.
- Hussein E. & Selim S. (2018). Efficacy of yeast and multi-strain probiotic alone or in combination on growth performance, carcass traits, blood biochemical constituents, and meat quality of broiler chickens, *Livestock Science*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.08.008>.
- Huyghebaert G., Ducatelle R., & Immerseel F. Van. (2011). An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. *Veterinary Journal*, 187, 182–188.
- Jang A., Liu X.D., Shin M.H., Lee B.D., Lee S.K., Lee J.H. & Jo C. (2008). Antioxidative potential of raw breast meat from broiler chicks fed a dietary medicinal herb extract mix. *Poultry Science*, 87, 2382-2389.
- Janocha A., Osek M., Turyk Z. & Milczarek A. (2011). Evaluation of an impact of mixtures containing brewer's yeast *Saccharomyces cerevisiae* on post-slaughter quality of broiler chickens. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, 10 (4), 41-52.
- Javanmardi J. & Kubota C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 151-155.
- Kabir S.M.L. (2009). The Role of Probiotics in the Poultry Industry, *International Journal of Molecular Sciences*, 10, 3531-3546.
- Kaci A. (2015). La filière avicole algérienne à l'ère de la libéralisation économique. *Cahiers d'Agriculture*, 24 : 151-60.
- Kadykalo S., Roberts T., Thompson M., Wilson J., Lang M. & Espeisse O. (2018). The value of anticoccidials for sustainable global poultry production. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 51, 304-310.

Références bibliographiques

- Karl O. & Honikel K.O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49: 447-457.
- Keeton J.T. & Osburn W.N. (2010). Formed and emulsion products. p 245-278 in *Poultry Meat Processing*. Owens C.M., Alvarado C.Z. and Sams A.R., ed. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Kempf I. & Zeitouni S. (2012). Coût biologique De La résistance aux antibiotiques : analyse et conséquences. *Pathol Biol*, 60, e9e14.
- Khaksefidi A. & Rahimi S. H. (2005). Effect of probiotic inclusion in the diet of broiler chickens on performance, feed efficiency and carcass quality. *Asian-Austrian Journal of Animal Science*, 18, 1153-1156.
- Kheirabadi K.P., Katadj J.K., Bahadoran S., Teixeira Da Silva J.A., Samani A.D. & Bashi M.C. (2014). Comparison of the anticoccidial effect of granulated extract of *Artemisia sieberi* with monensin in experimental coccidiosis in broiler chickens. *Experimental Parasitology*, 141, 129-133.
- Killen G.F., Madigan C.A, Connolly C.R. & Walsh G.A. (1998). Antimicrobial Saponins of *Y.schidigera* and the implications of their in vitro properties for their in vivo impact, *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 46(8), 3178-3186.
- Kim C.H. & Kang H.K. (2016). Effects of fermented barley or wheat as feed supplement on growth performance, gut health and meat quality of broilers. *European Poultry Science* 80, 1612-9199.
- Kim D.W., Kim S.H., Yu D.J., Kang G.H., Kim J.H., Kang H.G., Jang B.G., Na J.C., Suh O.S., Jang I.S. & Lee K.S. (2007). Effects of single or mixed supplements of plant extract, fermented medicinal plants and *Lactobacillus* on growth performance in broilers. *Korean Journal of Poultry Science*, 34, 187-196.
- Kim H. W., Yan F. F., Hu J. Y., Cheng H. W. & Kim Y. H. B. (2016). Effects of probiotics feeding on meat quality of chicken breast during postmortem storage. *Poultry science*, 95(6), 1457-1464.
- Kim Y.J., Rubayet Bostami A.B.M., Islam M.M., Mun H.S., Ko S.Y. & Yang C.J. (2017). Performance, Immunity, Meat Composition and Fatty Acid Pattern in Broilers after Dietary Supplementation of Fermented Ginkgo biloba and Citrus junos, *Journal of Nutrition and Food Science*, 7(2). doi: 10.4172/2155-9600.1000591.
- Kivanc M. & Yapici E. (2019). Survival of *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus* during the fermentation and storage of kefir, *Food Science and Technology*, 39(1).

Références bibliographiques

- Klaenhammer T.R. & Kullen M.J. (1999). Selection and design of probiotics, *International Journal of Food Microbiology*, 50, 45-57.
- Korkeala H., Mäki-Petäys O., Alanko T. & Sorvettula O. (1986). Determination of pH in meat. *Meat Science*, 18, 121-132.
- Kucukkurt I. & Dundar Y. (2013). Effects of dietary *Yucca schidigera* supplementation on plasma leptin, insulin, iodated thyroid hormones and some biochemical parameters in rats. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 164 (7), 362-367.
- Le Bihan-Duval E., Debut M., Berri C.M., Sellier N., Sante-Lhoutellier V., Jego Y. & Beaumont C. (2008). Chicken meat quality: genetic variability and relationship with growth and muscle characteristics. *BMC Genetics*, 9, 53.
- Lebret B., Meunier-Salaün M.C., Foury A., Dransfield E., Dourmad J.Y. (2005). Influence of pig production system on performance, carcass traits and meat eating quality. *Journal of Animal Science*, 84(9), 2436-47.
- Lebret B., Prache S., Berri C., Lefèvre F., Bauchart D., Picard B., Corraze G., Médale F., Faure J. & Alami-Durante H., (2015). Qualités des viandes : influences des caractéristiques des animaux et de leurs conditions d'élevage. In : Numéro spécial, Le muscle et la viande. Picard B., Lebret B. Eds INRA Production Animal, 28, 151-168.
- Lee K.W., Ho Hong Y., Lee S.H., Jang S.I., Park M.S., Bautista D.A., et al. (2012). Effects of anticoccidial and antibiotic growth promoter programs on broiler performance and immune status. *Research Veterinary Science*, 93, 721e8.
- Lee S.H., Lillehoj H.S., Park D.W., Hong Y.H. & Lin J.J. (2007). Effects of *Pediococcus*-based probiotic (MitoMax) on coccidiosis in broiler chickens. *Comparative Immunology and Microbiology Infectious Disease*, 30, 261-268.
- Lilic S., Ilic T. & Dimitrijevic S. (2009). Coccidiosis in poultry industry. *Technologieja Mesa*, 50(1-2), 90-98.
- Lilly K.G.S., Shires L.K., West B.N., Beaman K.R., Loop S.A, Turk P.J., Bissonnette G.K. & Moritz J.S. (2011). Strategies to improve performance and reduce preslaughter *Salmonella* in organic broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 20(3), 313-321.
- Lilly R.A., Schilling M.W., Silva J.L., Martin J.M. & Corzo A. (2011). The effects of dietary amino acid density in broiler feed on carcass characteristics and meat quality. *Journal of Applied Poultry Research*, 20, 56-67.

Références bibliographiques

- Listrat A., Lebret B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., Picard B. & Bugeon J. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/3182746>.
- Liu S.Q. & Tsao M. (2009). Enhancement of survival of probiotic and non-probiotic lactic acid bacteria by yeasts in fermented milk under non-refrigerated conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 135, 34-38.
- Liu X., Yan H., Lv L., Xu Q., Yin C., Zhang K., Wang P. & Hu J. (2012). Growth performance and meat quality of broiler chickens supplemented with *Bacillus licheniformis* in drinking water. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 25, 682-689.
- Macelline W. H. D. S.P., Cho H.M., Awanthika H.K.T., Wickramasuriya S.S., Jayasena D.D., Tharangani R.M.H. , Song Z. & Heo J.M. (2017). Determination of the growth performances and meat quality of broilers fed *Saccharomyces cerevisiae* as a probiotic in two different feeding intervals. *Korean Journal of Poultry Science*, 44(3), 161-172.
- Marangoni F., Corsello G., Cricelli C., Ferrara N., Ghiselli A., Lucchin L. & Poli A. (2015). Role of poultry meat in a balanced diet aimed at maintaining health and wellbeing: an Italian consensus document. *Food & Nutrition Research*, 59 (1), 27606.
- Mehdi Y., Létourneau-Montminy M.P., Gaucher M.L., Chorfi Y., Suresh G., Rouissi T. & Brar S.K., Caroline Antonio Avalos Ramirez , Godbout S. (2018). Use of antibiotics in broiler production: Global impacts and Alternatives. *Animal Nutrition*, 4, 170-178.
- Mehdipour Z., Mohsen A. & Sami M. (2013). Effect of dietary synbiotic and cinnamon (*Cinnamomum verum*) supplementation on growth performance and meat quality in Japanese quail. *Livestock Science*, 154, 152-157.
- Mezali L. & Hamdi T.M. (2012). Prevalence and Antimicrobial Resistance of Salmonella Isolated from Meat and Meat Products in Algiers (Algeria). *Foodborne Pathogens and Disease*, 9 (6), 522-529.
- Milgate J. & Roberts D.C.K. (1995). The nutritional and biological significance of saponins. *Nutrition Research*, 15, 1223-1249.
- Miller R.K. (2002). Factors affecting the quality of raw meat, In: *Meat processing Improving quality*. Joseph K., John K. and Ledward D. (Eds.), CRC Press, FL, USA, pp: 26-63.
- Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR). (2011). *Statistiques agricoles, séries A et B*. Alger, Algérie.

Références bibliographiques

- Mir N.A., Rafiq A., Kumar F., Singh V. & Shukla V. (2017). Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review, *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 2997-3009.
- Molette C.H., Remignon H. & Babile R. (2003). Maintaining muscles at a high post-mortem temperature induces PSE-like meat in turkey. *Meat Science*, 63(2), 525-532.
- Monin G. (1991). Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. *INRA Production Animal*, 4, 151-160.
- Monin G. 1988. Evolution *post-mortem* du tissu musculaire et conséquences sur les qualités de la viande de porc. *Journée de la Recherche Porcine en France*, 20, 201-214.
- Morel, A. (1997). Effets de l'incorporation de De-Odorase dans l'aliment porc charcutier. Thesis. Ecole Nationale vétérinaire d'Alfort, Paris, France.
- Mountzouris K. C., Tsirtsikos P., Kalamara E., Nitsch S., Schatzmayr G. & Fegeros K. (2007). Evaluation of the efficacy of a probiotic containing *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, and *Pediococcus* strains in promoting broiler performance and modulating cecal microflora composition and metabolic activities, *Poultry Science*, 86, 309-317.
- Neviani E., Gatti M., Vannini L., Gardini F. & Suzzi G. (2001). Contribution of Gal⁻ lactic acid bacteria to *Saccharomyces cerevisiae* metabolic activity in milk, *International Journal of Food Microbiology*, 69, 91-99.
- Noohi N., Ebrahimipour G., Rohani M., Talebi M. & Pourshafie M. R. (2016). Evaluation of potential probiotic characteristics and antibacterial effects of strains of *Pediococcus* species isolated from broiler chickens. *British Poultry Science*, 57, 317-323.
- Oelschlager M. L., Rasheed M. S. A., Smith B. N., Rincker M. J. & Dilger R. N. (2019). Effects of *Yucca schidigera*-derived saponin supplementation during a mixed *Eimeria* challenge in broilers. *Poultry Science*, 0, 1-11.
- Offer G. & Knight P. (1988). The structural basis of water-holding in meat. In Lawrie R. A. Ed., *Developments in Meat Science 4*, Chapters 3-4 (p 63-243). London: Elsevier Applied Science.
- Office national des Aliments du Bétail), (ONAB). (2011). Notes conjoncturelles sur la filière avicole, ONAB.
- Oleszek O., Sitek M., Stochmal A., Piacente S., Pizza C. & Cheeke P. (2001). Steroidal saponins of *Yucca schidigera*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(9), 4392-4396.

Références bibliographiques

- Othman M., Loh H.S., Wiart C., Khoo T.J., Lim K.H. & Ting K.N. (2011). Optimal methods for evaluating antimicrobial activities from plant extracts. *Journal of Microbiology Methods*, 84, 161-166.
- Oyedeji J.O., Ajayi H.I. & Egere T. (2008). The effect of increasing level of yeast culture (Levucel SB) in a high fibre diet, on the performance and nutrient retention of broiler chicken. *Asian Journal of Poultry Science*, 2, 53-57.
- Palatnik De Sousa C.B., Santos W.R., Casas C.P., Paraguai De Souza E., Tinoco L.W., da Silva B.P., Palatnik M. & Parente J.P. (2004). Protective vaccination against murine visceral leishmaniasis using aldehyde-containing *Quillaja saponaria* sapogenins. *Vaccine*, 22(19), 2470-2479.
- Palma M., Roque Fde C., Guerreiro J. F., Mira N. P., Queiroz L. & Sá-Correia I. (2015). Search for genes responsible for the remarkably high acetic acid tolerance of a *Zygo saccharomyces bailii*-derived interspecies hybrid strain. *BMC Genomics*, 16, 1070. doi: 10.1186/s12864-015-2278-6.
- Papagianni M. & Anastasiadou S. (2009). Encapsulation of *Pediococcus acidilactici* cells in corn and olive oil microcapsules emulsified by peptides and stabilized with xanthan in oil-in-water emulsions: studies on cell viability under gastro-intestinal simulating conditions. *Enzyme and Microbiology Technology*, 45, 514-522.
- Park J.H. & Kim I.H. (2014). Supplemental effect of probiotic *Bacillus subtilis* B2A on productivity, organ weight, intestinal *Salmonella* microflora, and breast meat quality of growing broiler chicks. *Poultry Science*, 93, 2054-2059.
- Parlat S. S., Úzcan M. & Oğuz H. (2001). Biological suppression of aflatoxicosis in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) by dietary addition of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Research in Veterinary Science*, 71, 207-211.
- Paryad A. & Mahmoudi M. (2008). Effect of different levels of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on performance, blood constituents and carcass characteristics of broiler chicks. *African Journal of Agricultural Research*, 3(12), 835-842.
- Pearson D. (1976). *The Chemical Analysis of Foods*. 7th ed. Churchill Livingstone. New York, 23-24.
- Piacente S., Montoro P., Oleszek W. & Pizza C. (2004). *Yucca schidigera* bark: phenolic constituents and antioxidant activity. *Journal of Natural Products*, 67 (5), 882-885.

Références bibliographiques

- Piacente S., Pizza C. & Oleszek W. (2005), Saponins and phenolics of *Yucca schidigera* Roetzl: Chemistry and bioactivity. *Phytochemistry Reviews*, 4, 177-190.
- Podolian J.N. (2017). Effect of probiotics on the chemical, mineral, and amino acid composition of broiler chicken meat. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(1), 61-65.
- Ponce A. G., Fritz R., Del Valle C. & Roura S. I. (2003). Antibacterial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *Society of Food Science and Technology*, 36, 679-684.
- Ponomarova O., Gabrielli N., C. Se' Vin D., McUlleider M., Zirngibl K., Bulyha K., Andrejev S., Kafkia E., Typas A., Sauer U., Ralser M. & Patil K.R. (2017). Yeast Creates a Niche for Symbiotic Lactic Acid Bacteria through Nitrogen Overflow. *Cell Systems*, 5, 1-13.
- Popova T. (2017). Effect of probiotics in poultry for improving meat quality. *Current Opinion in Food Science*, 14:72-77.
- Puerto M D., Cabrera M.C. & Saadoun A. (2017). A Note on Fatty Acids Profile of Meat from Broiler Chickens Supplemented with Inorganic or Organic Selenium. *International Journal of Food Science*, ID 7613069, 8.
- Qwele K., Muchenje V., Oyedemi S.O. B., Moyo .B. & Masika P.J. (2013). Effect of dietary mixtures of moringa (*Moringa oleifera*) leaves, broiler finisher and crushed maize on anti-oxidative potential and physicochemical characteristics of breast meat from broilers *African Journal of Biotechnology*, 12(3), 290-298.
- Raghuwanshi S., Misra S., Sharma R. & Bisen P.S. (2015). Indian perspective for probiotics: A review. *Indian Journal of Dairy Science*, 68(3), 195-205.
- Rambozzi L., Min A.R.M. & Menzano A. (2011). *In vivo* anticoccidial activity of *Yucca schidigera* saponins in naturally infected Calves. *Journal of Animal Veterinary Advances*, 10, 391-394.
- Rouger A., Tresse ID O. & Zagorec M. (2017). Bacterial Contaminants of Poultry Meat: Sources, Species, and Dynamics. *Microorganisms*, 5, 50.
- RUMA. (2016). Responsible use of medicines in agriculture alliance (Ruma) information on antibiotic resistance: Ruma.org.UK/about/position-papers/ruma-informationnote-antibiotics-responsible-use-antibiotics-farm-animals/.
- Sadeghi A., Hashemi M., Jamali-Behnam F., Zohani A., Esmaily H. & Dehghan A.A. (2015). Determination of Chromium, Lead and Cadmium Levels in Edible Organs of Marketed Chickens in Mashhad, Iran. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 2, 134-138.

Références bibliographiques

- Saeed M., Arain M.A., Naveed M., Alagawany M., Abd El-Hack M.E., Bhutto Z.A., Bednarczyk M., Kakar M.U., Abdel-Latif M. & Chao S. (2018). *Yucca schidigera* can mitigate ammonia emissions from manure and promote poultry health and production. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 35027-35033.
- Sahoo S.P., Kaur D., Sethi A.P.S., Sharma A. & Chandra M. (2015). Evaluation of *Yucca schidigera* extract as feed additive on performance of broiler chicks in winter season. *Veterinary World*, 8(4), 556-560.
- Sahraoui N., Djeddar R., Abdelkrim B., Lamia K., Brahim-Errahmani M., Hornick J.L. Et Guetarni D. (2014). Effet de *Pediococcus acidilactici* sur le bilan lipidique sanguin du poulet de chair. *Bulletin of Animal Health and Production Afrique*, 62, 23-29.
- Sahraoui N., Djeddar R., Khoubei A., Guetarni D., Hornick J. & Mourot J. (2018). Effect of *Yucca schidigera* and *Trigonella graecum* natural extract on fatty acid profile of turkey meat. *Journal of Applied Biosciences*, 127, 12804-12808.
- Sahraoui N., Dotreppe O., Brahim-Errahmani M., Boudjenah S., Baaisa B., Hornick J.L., Guetarni D. (2013). Effet du probiotique *Pediococcus acidilactici* sur le profil en acides gras de viande de poulet de chair en Algérie. *Cahiers de Nutrition et Diététique*, 48 (1), 93-94.
- Saleh A.A., Eid Y.Z., Ebeid T.A., Ohtsuka A., Hioki K., Yamamoto M. & Hayashi K. (2012). The modification of the muscle fatty acid profile by dietary supplementation with *Aspergillus awamori* in broiler chickens. *British Journal of Nutrition*, 108, 1596-1602.
- Saleh A.A., Hayashi K. & Ohtsuka A. (2013). Synergistic effect of feeding *Aspergillus awamori* and *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance in broiler chickens; promotion of protein metabolism and modification of fatty acid profile in the muscle. *Journal of Poultry Science*, 50, 242-250.
- Salem A.Z.M., Robinson P.H., López S., Gohar Y.M., Rojo R. & Tinoco J.L. (2010). Sensitivity of sheep intestinal lactic acid bacteria to secondary compounds extracted from *Acacia saligna* leaves. *Animal Feed Science Technology*, 161 (3-4), 85-93.
- Sanders P., Perrin-Guyomarda A. & Moulin G. (2017). Évolution de l'utilisation des antibiotiques en production animal. *Cahiers de nutrition et de diététique*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cnd.2017.06.002>.
- Sariozkan S., Konca Y., Guclu B.K., Kara K., Ildiz N., Kirkpinar F., Kaliber M. (2015). Effects of Dietary Supplementation of Dried Distillers Grain with Solubles (DDGS) and

Références bibliographiques

- Yucca* (*Yucca schidigera*) on Broiler Performance, Carcass Traits, Intestinal Viscosity and Marketing. *Journal of Poultry Research*, 12(1), 5-11.
- Sarker M.D.S.K., Rana M.D.M., Sultana S., Hossain N., Sarker N.R. & Nahar T.N. (2017). Effect of dietary probiotics as antibiotic alternative on growth performance, organ development and meat quality in broiler chicken. *Asian Journal of Medical and Biology Research*, 3(2), 233-239.
- Sarker S.K., Park S.R., Kim G.M. & Yang C.J. (2010). Hamcho (*Salicornia herbacea*) with probiotics as alternative to antibiotic for broiler production. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(5), 415-420.
- Sasaki Y., Horiuchi H. & Yamamoto Y. (2014). NADH oxidase of *Streptococcus thermophilus* 1131 is required for the effective yogurt fermentation with *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* 2038. *Bioscience Microbiota Food and Health*, 33, 31-40.
- Satheesh Y., Kondal R. K., Gupta P.S.P., Mallikarjuna P.V.R., Ramana R. Y. & Kishan K.M. (2012). Effect of feeding *Pediococcus acidilactici* on performance of broiler chicken and microstructures of intestinal villus. *Indian Journal of Poultry Science*, 47(3), 357-362.
- Schwaiger K., Huther S., Holzel C., Kampf P. & Bauer J. (2012). Prevalence of antibiotic-resistant Enterobacteriaceae isolated from chicken and pork meat purchased at the slaughterhouse and at retail in bavaria, Germany. *International Journal of Food Microbiology*, 154: 206e11.
- Sen S., Makkar H.P.S., Muetzel S. & Becker K. (1998). Effect of Quillaja saponaria saponins and *Yucca schidigera* plant extract on growth of *Escherichia coli*. *Letters in Applied Microbiology*, 27, 35-38.
- Serruys P.W., Feyter P.D. & Macaya C. (2004) Fluvastatin for prevention of cardiac events following successful first percutaneous coronary intervention: a randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association*, 287, 3215-3222.
- Shin H.S., Lee J.H., Pestka J.J. & Ustunol Z. (2000). Growth and Viability of Commercial *Bifidobacterium* spp in Skim Milk Containing Oligosaccharides and Inulin. *Journal of Food Science*, 65 (5), 884-887.
- Shori A. B. (2013). Antioxidant activity and viability of lactic acid bacteria in soybean-yogurt made from cow and camel milk. *Journal of Taibah University for Science*, 7, 202-208.
- Simpson W. J. & Taguchi H. (2005). The genus *Pediococcus*, with notes on the genera *Tetragenococcus* and *Aerococcus*, In: Wood B.J.B. and Holzapfel W.H., *The Genera of Lactic Acid Bacteria*, Blackie Academic & Professional, 125-172.

Références bibliographiques

- Southon S., Johnson I.T., Gee J.M. & Price K.P. (1988). The effect of *Gypsophylla* saponins in the diet on mineral status and plasma cholesterol concentration in the rat. *British Journal of Nutrition*, 59, 49-55.
- Stadie J., Gulitz A., Ehrmann M. A. & Voge F.R. (2013). Metabolic activity and symbiotic interactions of lactic acid bacteria and yeasts isolated from water kefir. *Food Microbiology*, 35, 92-98.
- Starčević K., Krstulović L., Brozić D., Maurić M., Stojević Z., Mikulec Ž., Bajić M. & Mašek T. (2015). Production performance, meat composition and oxidative susceptibility in broiler chicken fed with different phenolic compounds. *Journal of the Science and Food Agricultural*, 95, 1172-1178.
- Stella A.V., Fava M., Bersani C., Del Degan G., Savoini G. & Chevaux E., (2005). Effets de l'addition de *Pediococcus acidilactici* dans la ration de poulets de chair sur les performances zootechniques et la microflore intestinale. Sixièmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 208-211.
- Su J.L., Shi B.L., Zhang P.F., Sun D.S., Li T.Y. & Yan S.M. (2016). Effects of Yucca extract on feed efficiency, immune and antioxidative functions in broilers. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 59, e16150035.
- Sugiharto S. (2014). Role of nutraceuticals in gut health and growth performance of poultry. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15, 99-111.
- Sun D., Jin X., Camerlink I., Tong M., Su J., Zhao F., Yan S. & Shi B. (2019). Effects of *Yucca schidigera* extract on growth performance and antioxidative function of small intestine in broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1-9.
- Sun D.S., Jin X., Shi B., Su J., Tong M. & Yan S. (2017a). Dietary *Yucca schidigera* extract improved growth performance and liver antioxidative function in broilers, *Italian Journal of Animal Science*, 16(4), 677-684.
- Sun D.S., Shi B.L., Tong M.M. & Yan S.M. (2017b). Improved performance and immunological responses as a result of dietary *Yucca schidigera* extract supplementation in broilers. *Italian Journal of Animal Science*, 17 (2), 511-517.
- Świątkiewicz S., Arczewska-Włosek A. & Józefiak D. (2014). The efficacy of organic minerals in poultry nutrition: review and implications of recent studies. *World's Poultry Science Journal*, 70(3):475-486.
- Taheri H.R., Moravej H., Malakzadegan A., Tabandeh F., Zaghari M., Shivazad M. & Adibmoradi M. (2010). Efficacy of *Pediococcus acidilactici*-based probiotic on intestinal

Références bibliographiques

- Coliforms and villus height, serum cholesterol level and performance of broiler chickens, *African Journal of Biotechnology*, 9(44), 7564-7567.
- Tamura Y., Miyakoshi M. & Yamamoto M. (2012). Application of saponin containing plants in foods and cosmetics. *Alternative Medecine*, 83-101.
- Tasoniero G., Cullere M., Cecchinato M., Puolanne E. & Dalle Zotte A. (2016). Technological quality, mineral profile, and sensory attributes of broiler chicken breasts affected by white striping and wooden breast myopathies. *Poultry Science*, 95, 2707-2714.
- Temim S., Hammami N., Bedrani L., Sahraoui L., Kaddour R., Boudina H., Khelef D., Adjou, K. & Ain Baziz H. (2009). Evaluation de l'efficacité du probiotique *Pediococcus acidilactici* sur les performances de croissance la morphométrie et la flore *Lactobacillaire* de l'intestin du poulet de chair, *European Journal of Scientific Research*, 38(1), 119-128.
- Tiwari G., Tiwari R., Pandey S. & Pandey P. (2012). Promising future of probiotics for human health: Current scenario. *Chronicles of Young Scientists*, 3, 17-28.
- Torok V.A., Allison G.E., Percy N.J., Ophel-Keller K. & Hughes R.J. (2011). Influence of antimicrobial feed additives on broiler commensal posthatch gut microbiota development and performance. *Applied and Environmental Microbiology*, 77, 3380e90.
- Vaquier A.R.L. (2010). Intérêt d'un nouveau nutriment a visée anti-inflammatoire dans la gestion de troubles locomoteurs chez le cheval aspects bibliographiques et étude clinique. Doctorat vétérinaire école nationale vétérinaire d'alfort, 178p.
- Vittorio S.A., Mauro F., Carla B., Giovanna D.D., Giovanni S. & Chevaux E. (2005). Effets de l'addition de *Pediococcus acidilactici* dans la ration de poulets de chair sur les performances zootechniques et la microflore intestinale, 6^{èmes} Journées de la Recherche Avicole, St Malo, France. 208-211.
- Waldroup P.W., Si J. & Fritts C.A. (2001). Relationship of lysine and other essential amino acids on live performance and breast yield in broilers. 9th European Symposium on the Quality of Poultry Meat, Kusadasi (Turkey), 9-12 September, p 109-115.
- Wallace R.J. (2004), Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. *Proceedings of Nutrition Society*, 63, 621-629.
- Wang W., Xu B., Wang H., Li J., Huang H. & Xu L. (2011). Yucca genes are expressed in response to leaf adaxial-abaxial juxtaposition and are required for leaf margin development. *Plant Physiology*, 157(4), 1805-1819.
- Wang Y. & Gu Q. (2010). Effect of probiotic on growth performance and digestive enzyme activity of Arbor Acres broilers. *Research in Veterinary Science*, 89, 163-167.

Références bibliographiques

- Wang Y., McAllister T.A., Newbold C.J., Rode L.M., Cheeke P.R. & Cheng K.J. (1998). Effect of *Yucca schidigera* extract on fermentation and degradation of steroidal saponins in rumen simulation technique (RUSITEC). *Animal Feed Science and Technology*, 74(2), 143-153.
- Wang Y., McAllister T.A., Yanke L.J. & Cheeke P.R. (2000). Effect of steroidal saponin from *Yucca schidigera* extract on ruminal microbes. *Journal of Applied Microbiology*, 88(5), 887-896.
- West L.G., Greger J.L., White A. & Nonamaker B. (1978). In vitro studies on saponin-mineral complexation. *Journal of Food Science*, 43, 1342-1343.
- Williams R.B. (1999). A compartmentalised model for the estimation of the cost of coccidiosis to the world's chicken production industry. *International Journal of Parasitology*, 29, 1209-29.
- Willis W.L. & Reid L. (2008). Investigating the effects of dietary probiotic feed ingredients on broiler chicken production and *Campylobacter jejuni* presence. *Poultry Science*, 87, 606-611.
- Wojdylo A., Oszmianski J., Czemerz R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry*. 105, 940-949.
- Wood J.D. (2017). Meat Composition and Nutritional Value. *Lawrie's Meat Science*. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00020-0>. Elsevier Ltd.
- Yamada E.A. & Sgarbieri V.C. (2005). Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) protein concentrate: preparation, chemical composition, and nutritional and functional properties. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 53(10), 3931-6.
- Yassin A.K., Gong J., Kelly P., Lu G., Guardabassi L., Wei L.,Wang C. (2017). Antimicrobial resistance in clinical *Escherichia coli* isolates from poultry and livestock, *PLoS ONE*, 12 (9).
- Youssef I.M.I., Ahmad S. Mostafa A.S. & Abdel-Wahab M.A. (2017). Effects of Dietary Inclusion of Probiotics and Organic Acids on Performance, Intestinal Microbiology, Serum Biochemistry and Carcass Traits of Broiler Chickens. *Journal of World's Poultry Research* 7(2), 57-71.
- Zhang A.W., Lee B.D., Lee S.K., Lee K.M., An G.H., Song K.B. & Lee C.H. (2005). Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks. *Poultry Science*, 84, 1015-1021.

Références bibliographiques

- Zhang J., Xie Q., Ji J., Yang W., Wu Y., Li C., Ma J. & Bi Y. (2012). Different combinations of probiotics improve the production performance, egg quality, and immune response of layer hens. *Poultry Science*, 91, 2755-2760.
- Zhao X., Guo Y., Guo S. & Tan J. (2013). Effects of *Clostridium butyricum* and *Enterococcus faecium* on growth performance, lipid metabolism, and cecal microbiota of broiler chickens. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97, 6477-6488.
- Zhou X., Jin E., Li S., Wang C., Qiao & Wu G. (2015) Effects of dietary supplementation of probiotics (*Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, and *Bacillus natto*) on broiler muscle development and meat quality. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 39, 203-210.
- Zhou X., Wang Y., Gu Q. & Li W. (2010). Effect of dietary probiotic, *Bacillus coagulans*, on growth performance, chemical composition, and meat quality of Guangxi Yellow chicken. *Poultry Science*, 89, 588-593.
- Zourari A., Accolas J. P. & Desmazeaud M. J. (1992). Metabolism and biochemical characteristics of yogurt bacteria: a review. *Le Lait*, 72, 1-34.

ANNEXES

Annexe 1

Composition des milieux de culture

Gélose MRS (Man Rogosa Sharp)

Composé	Quantité (g/L d'eau distillée)
Peptone	10
Extrait de levure	4
Extrait de viande	8
Glucose	20
Hydrogénophosphate de potassium	2
Acétate de sodium	5
Citrate d'ammonium	2
Sulfate de magnésium	0,2
Sulfate de manganèse	0,05
Tween 80	1 (mL/L)
Agar	15

Milieu sabouraut

Composé	Quantité (g/L d'eau distillée)
Peptone de caséine	5g
Peptone de viande	5g
Glucose	20
Agar	15

Bouillon nutritif

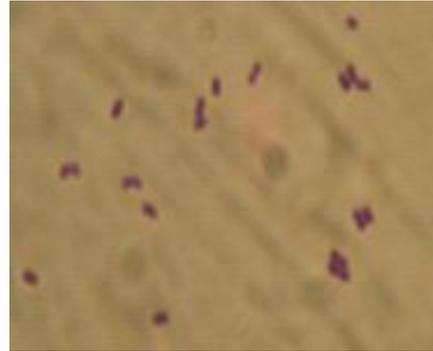
Composé	Quantité (g/L d'eau distillée)
Peptone	5g
Extrait de levure	2g
Extrait de viande	19
Chlorure de sodium	5g

Annexe 2

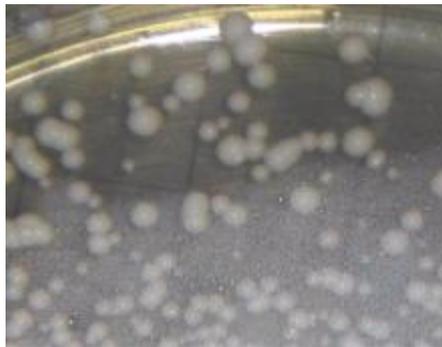
Examen macroscopique et microscopique des souches probiotiques



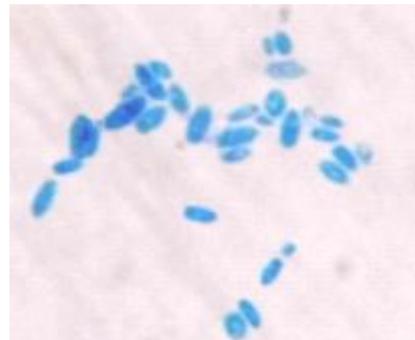
Culture de *P. acidilactici* sur milieu
MRS



Observation microscopique de frottis de *P.*
acidilactici (x100)



Culture de *S. cerevisiae* sur milieu
Sabouraud



Observation microscopique de frottis de *S.*
cerevisiae (x100)

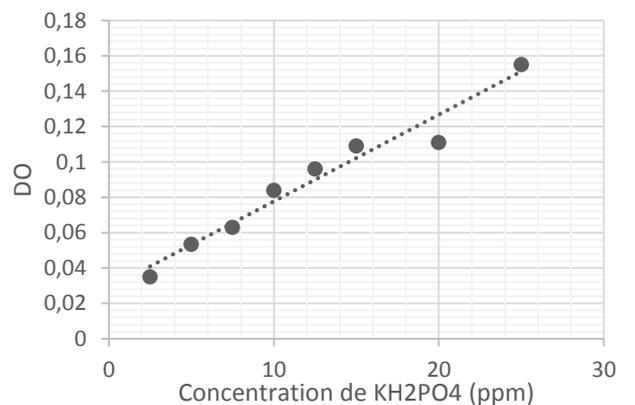
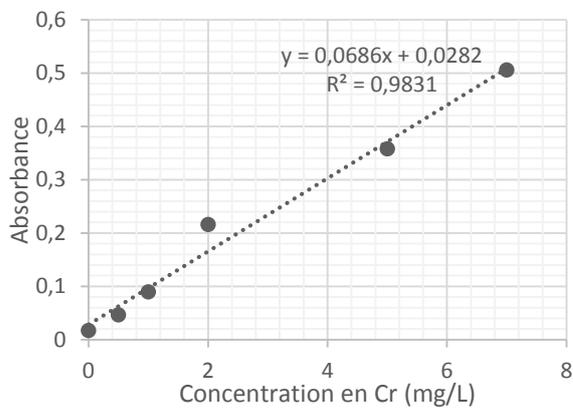
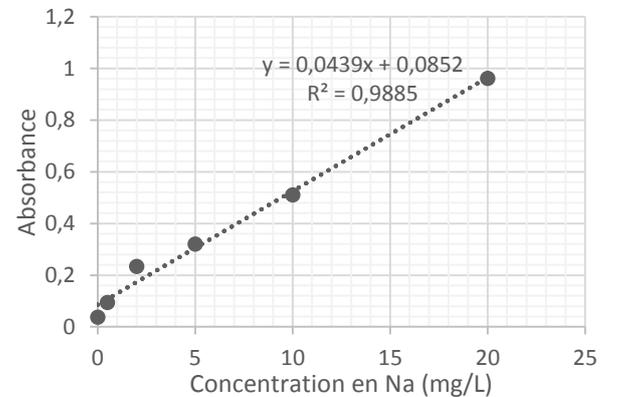
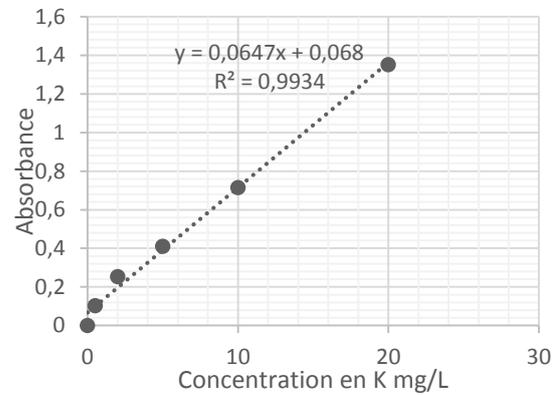
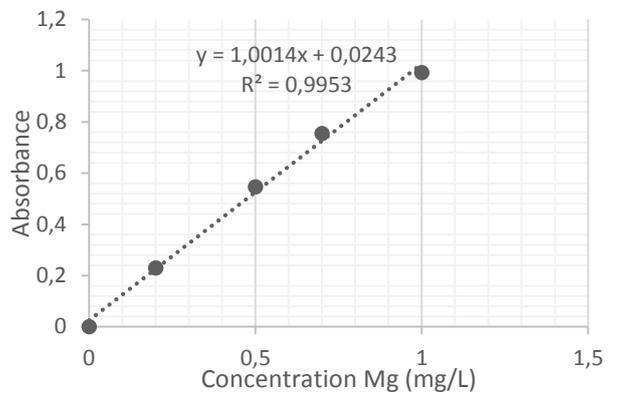
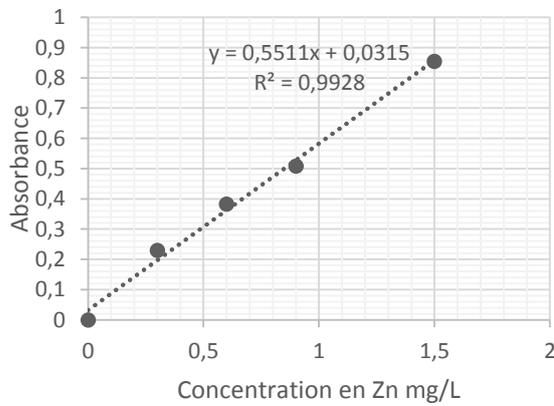
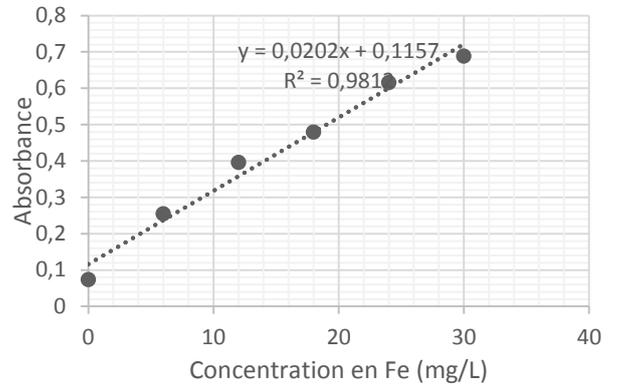
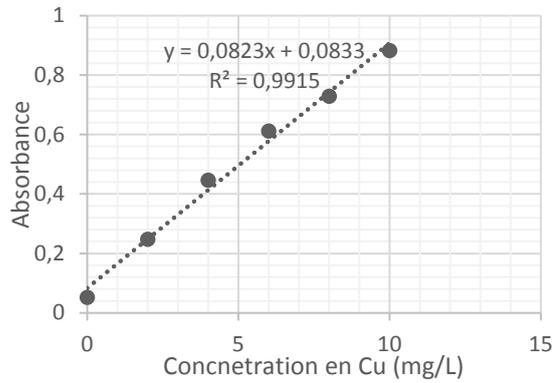
Annexe 3

Conditions instrumentales pour la détermination des minéraux par SAA

Element	Wavelength (nm)	Slit width (nm)	Lamp current (mA)	Acetylene flow (L/min)	Fuel gas (L/min)
Fe	248.3	0.2	5.0	13.50	2.00
Zn	213.9	1.0	5.0	13.50	2.00
Mg	285.2	0.5	4.0	13.50	2.00
Na	589.0	0.5	5.0	13.50	2.00
K	766.5	1.0	5.0	13.50	2.00
Cu	324.8	0,5	5.0	13.50	2.00
Cr	357,9	0,2	5.0	13.50	2.00

Annexe 4

Courbes d'étalonnage des minéraux





Effect of probiotics and *Yucca schidigera* extract supplementation on broiler meat quality

Karima Benamirouche^{1,2*}, Djamila Baazize-Ammi³, Nadia Hezil³, Redha Djeddar⁴, Abdellatif Niar⁵ and Djamel Guetarni⁶

¹Laboratory of Agro-Biotechnology and Nutrition in Semi-Arid Areas, Faculty of Natural Sciences and Life, Ibn Khaldoun University, BP 78, 14000, Tiaret, Algeria. ²Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-chimiques, BP 384, Zone industrielle de Bou-Ismaïl, RP42004, Tipaza, Algeria. ³Institute of Veterinary Sciences, Saad Dahlab University, Soumaa Road, Blida, Algeria. ⁴Higher National School of Veterinary, Algiers, Algeria. ⁵National Institute of Veterinary Sciences, Ibn Khaldoun University, Tiaret, Algeria. ⁶Faculty of Natural and Life Sciences, Saad Dahlab University, Soumaa Road, Blida, Algeria. *Author for correspondence. E-mail: kbenamirouche@yahoo.fr

ABSTRACT. The current study investigated the effect of dietary supplementation with probiotics and *Yucca schidigera* extract on physicochemical parameters, proximate composition, mineral content and fatty acid profile of broiler breast and thigh muscles. In total, 240 one-day old broilers were randomly allocated into two dietary treatments groups: 1) Control (basal diet), 2) experimental (basal diet with two probiotics *Pediococcus acidilactici* and *Saccharomyces cerevisiae* and *Yucca schidigera* extract). The results showed that the pH value was higher in the experimental group than in the control group ($p < 0.05$). However, drip, cook and thaw losses were not influenced by dietary treatment ($p > 0.05$). A significant increase in protein, Fe, Zn, Na, P and a significant decrease in lipid, Cu and Cr contents was exhibited in experimental group relative to control group ($p < 0.05$). The proportion of stearic acid and saturated fatty acids was significantly ($p < 0.05$) reduced, whereas linoleic acid and polyunsaturated fatty acids contents were significantly ($p < 0.05$) increased in breast and thigh muscles of fed the experimental diet. We concluded that additive supplementation of the diet with probiotics and *Yucca schidigera* extract could improve meat quality.

Keywords: breast; meat quality; *Pediococcus acidilactici*; *Saccharomyces cerevisiae*; thigh.

Received on May 26, 2019.

Accepted on July 31, 2019.

Introduction

The repeated use of some antibiotics in curative and /or preventive treatments in poultry farming leads several pathogenic bacteria to develop a resistance to these antibiotics (Yassin et al., 2017). As a result, over the past decade, there has been an increasing interest in several alternative strategies to eliminate or reduce antibiotics use in poultry. The use of probiotics (Gaggia, Mattarelli, & Biavati, 2010) and plant extracts (Kheirabadi et al., 2014) is particularly interesting.

It is well documented that feeding poultry with diet supplemented with probiotics, consisted of bacteria (*Pediococcus spp.*) or yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*), leads to a significant improvement in animal performance, immune response and meat quality (Bai et al., 2013; Saleh, Hayashi, & Ohtsuka, 2013). Probiotics have a beneficial effect on the host animal by improving its intestinal microbial balance (Fuller, 1989).

Moreover, several studies on the plant extract, named *Yucca schidigera*, which is an important source of steroidal saponins and polyphenols, have shown that the use of this plant as feed supplement in poultry improves performance and litter quality (Sahoo, Kaur, Sethi, Sharma, & Chandra, 2015; Sun, Shi, Tong, & Yan, 2018), reduce production costs (Sariozkan et al., 2015), and control coccidian risk in broiler chickens (Djeddar, Benamirouche, Baazize-Ammi, Mohamed-Said, & Guetarni, 2014). However, to the best of our knowledge, little data are currently available on the effect of *Yucca schidigera* as feed supplement on broiler meat quality.

In previous work (Djeddar et al., 2012), we have demonstrated that feeding poultry with the probiotic *P. acidilactici* feed supplement versus control diet improves performance, but its effectiveness was limited due to the development coccidiosis. This intestinal disease caused by protozoans of the genus *Eimeria* is considered the most economical important disease affecting poultry worldwide (Chapman et al., 2013). Thus, in our other work (Djeddar et al., 2014), we have showed that the feed supplementation with a

combination of the probiotic *P. acidilactici* and the anticoccidial based on *Yucca schidigera* extract improves performance and control coccidian risk in broilers.

In this context, the objective of the study was to test the hypothesis that feeding a diet supplemented with probiotics (*P. acidilactici* and *S. cerevisiae*) and *Yucca schidigera* extract can have a positive impact on the meat quality. For this purpose, we analyzed the physicochemical parameters, proximate composition, mineral content and fatty acid profile of breast and thigh broiler muscles.

Material and methods

Animals and diets

The study was carried out on 240 unsexed one-day old cobb 500 broiler chicks with an average body weight of 38 ± 1.5 g, purchased from a commercial hatchery. The chicks were randomly assigned into two treatment groups (control group and experimental group) with four replicates for 50 days experimental period. Chicks of the control group were fed a basal diet. Ingredient and nutrient compositions of basal diet are given in the Table 1. Chicks of the experimental group were fed with the same basal diet supplemented plus two probiotics: *Pediococcus acidilactici* MA18/5M in a concentration of 10^9 cfu kg⁻¹ and *Saccharomyces cerevisiae* type *boulardii* CNCM I-1077 in a concentration of 10^9 cfu kg⁻¹. Norponin XO® (Nor-Feed, France) based on naturel extract of *Yucca schidigera* was supplemented to drinking water of experimental group at a dose of 1 liter per 1000 liters of drink water.

Chickens diets were formulated taking into account the three breeding phases (starter, grower and finisher) (Table 1). Chicks of the two treatment groups were vaccinated on day 6 against Newcastle disease (UNI L CEVA®), the vaccination was repeated on day15 and day19 against Gumboro disease (IBD L CEVA®).

Table 1. Ingredients and nutrient composition of the basal diet (% of dry-matter basis).

Ingredients, %	Starter diet	Grower diet	Finisher diet
Corn	61.00	62.00	67.00
Soybean meal	29.70	26.00	18.00
Calcium carbonate	6.00	8.50	12.00
Salt	0.60	0.90	1.00
Calcium dibasic phosphate	1.70	1.60	1.00
Vitamin and mineral premix ¹	1.00	1.00	1.00
Calculated analysis,			
ME, kcal kg ⁻¹	3200	3300	3300
Crude protein %	22.00	19.80	18.00
Ether extract %	2.90	3.00	3.00
Crude ash %	5.90	7.30	6.50
P %	0.42	0.42	0.38
Calcium %	1.00	1.00	0.90

¹Composition kg⁻¹ of product. Starter: vitamin A: 1200 UI; vitamin D3: 300 UI; vitamin E: 3600UI; vitamin K3: 360 mg; vitamin B1: 240 mg; vitamin B2: 720 mg; vitamin B3: 1440 mg; vitamin B5:3600 mg, vitamin B6: 360 mg; vitamin B9: 96 mg; vitamin B12: 3.0 mg; biotin: 15.0 mg; choline chloride: 65 mg; Fe: 4.4 mg; Zn: 8.8 mg; Cu: 1.65 mg; Mn: 9.9 mg; I: 138 mg; Se: 39 mg; Na: 0.02 g, Cl: 1.06 g; antioxidant: 200 mg. Grower and Finisher: vitamin A: 1000 UI; vitamin D3: 250 UI; vitamin E: 3000UI; vitamin K3: 300 mg; vitamin B1: 200 mg; vitamin B2: 600 mg; vitamin B3: 1200 mg; vitamin B5:3000 mg, vitamin B6: 300 mg; vitamin B9: 80 mg; vitamin B12: 2.5 mg; biotin: 12.5 mg; choline chloride: 50 mg; Fe: 4 mg; Zn: 8 mg; Cu: 1.5 mg; Mn: 9 mg; I: 125 mg; Se: 35 mg; Na: 0.02 g, Cl: 1.06 g; antioxidant: 200mg.

Sampling procedures

At the end of experiment, four birds from each replicate representing the average body weight (control group $\approx 2150 \pm 45$ g; experimental group $\approx 2600 \pm 35$ g) were slaughtered. After skinning, evisceration and splitting in respect of hygienic rules, representative samples (≈ 100 g) of breast and thigh muscles were collected and after put in a tray filmed and stored at $+ 4^\circ\text{C}$ until physicochemical analysis of breast muscle and moreover also cut into small pieces and then put in identified plastic bags and frozen at $- 80^\circ\text{C}$ until chemical, mineral and fatty acid composition analysis of both muscles.

Physicochemical analysis

The pH of breast muscle was determined at 24 hours *post mortem* according to the method of Mehdi-pour, Afsharmanesh, and Sami (2013). Dripping and cooking losses were measured according to Honikel (1991) and thawing loss was measured according to Molette, Rémignon, and Babilé (2003).

Proximate composition

Moisture and ash contents were determined according to the method of the Association Official Analytical Chemist (AOAC, 2005). Total protein content was estimated by the Kjeldahl method and total lipid content was determined by Folch, Lees, and Sloane-Stanley (1957).

Mineral content

The content of copper, iron, zinc, potassium, sodium, magnesium and chromium in samples of breast and thigh muscles were determined using an Agilent 240FS AA Fast Sequential atomic absorption spectrometer (F-AAS) (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany). Microwave digestion system (Milestone Ethos MicroSYNTH) was used for sample preparation. Samples of muscles were ground into a fine and homogenous powder, and then approximately 0.5 g was added into the digestion vessel with a mixture of nitric acid (HNO₃) and hydrogen peroxide (H₂O₂). Then, the samples were digested using a two-step temperature program. During the first step, the temperature was linearly increased to 200°C over 10 min; the maximum power of the rotating magnetron was 1000 W. During the second step, the temperature was maintained at 200°C for 10 min. After digestion and cooling at room temperature, the volume of each vessel was collected in a volumetric flask and adjusted to 20 ml with ultrapure water. For each mineral, a 5-point calibration curve was designed from pure standards. Solutions containing various concentrations were obtained by further diluting the stock standard solutions (1000 mg L⁻¹) in a nitric acid solution (1% v/v). The phosphorus content in muscle samples was measured after mineralization of 1 g of muscle with a mixture of nitric acid (HNO₃) and perchloric acid (HClO₄) by the Vanado-Molybdate method using a Specord spectrophotometer (Analytik Jena, Jena, Germany) at 470 nm. The mineral content of muscle samples was expressed in mg per 100 g of muscle.

Fatty acid profile

The methyl esters were prepared according to the method of Hossain and Yang (2014); approximately 1 g of homogenized samples of breast and thigh muscles were dissolved into 12 mL of Folch solution and homogenized at 8000 rpm for 1 min. The mixture was flushed under a flow of nitrogen gas, filtered and stored at 4.5°C until separated into two layers. After phase separation, the upper layer was collected and added to 2.4 ml of the 0.9% NaCl solution. The mixture was centrifuged at 3000 rpm during 15 min and the bottom layer was recovered. Next, each sample was dried under a flow of nitrogen and re-suspended by the addition of 3 ml of 5% sulfuric acid methanol solution. The sealed ampoules were heated in a water bath at 95°C for 45 min and cooled. After breaking, 3 ml of 5% Na₂CO₃ solution was added and vortexed. The fatty acid methyl ester was extracted three times with 3 ml of petroleum ether and dissolved in 100 µL of petroleum ether and filtered for injection into gas chromatography (GC/MS).

The fatty acid methyl esters were performed with a gas chromatograph (Agilent 6890) equipped with a flame-ionization detector and a capillary column (30 m × 0.25 mm, 0.25 µm film thickness) with helium as a the carrier gas running at a constant flow of 1 mL min⁻¹. The injector was set at 250°C, and operates in split mode 1:50. The detector temperature was set at 270°C. The temperature profile was programmed as follows: the initial oven temperature was set at 130°C, increased at a rate of 2°C min⁻¹ to 180°C, then increased at a rate of 4°C min⁻¹ to 225°C; the final temperature was held for 7 min. The identification of the fatty acids was performed according to the mass spectral library NIST 2.0 (The National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA).

Statistical analysis

Statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics 21 software (IMB Corp, 2012). Comparison of means between diets (control vs. experimental) and muscles (breast vs. thigh) and their interaction were tested by two-way ANOVA model, excepted for comparison of means between diets regarding physicochemical analysis of breast muscle whose programmed by one-way ANOVA. Statistical significance was set at $p < 0.05$. Values were presented as the mean ± standard deviation (SD).

Results and discussion

Physicochemical parameters

The physicochemical parameters of breast muscle are shown in the Table 2. The experimental diet increases the pH of breast muscle when compared to the control diet ($p < 0.05$). The pH and water holding

capacity of the meat are important quality attributes; high pH broiler breast meat has a higher water retention capacity than lower pH meat, resulting in increased tenderness (Barbut, 1993). Our result is in agreement with data reported by Aksu, Karaoğlu, Esenbuğa, Kaya, and Macit (2005); which show an increase in breast muscle pH in feeding a diet supplemented with the probiotics *Saccharomyces cerevisiae* compared to those fed unsupplemented diet. The study of Begum, Hossain, and Kim (2015) reported no significant difference in the pH of breast broiler meat fed a diet supplemented with of *Yucca schidigera* extract and caprylic acid compared to the control group. No differences ($p > 0.05$) were observed in drip, cooking and thaw losses on breast muscle between diets. Sarker et al. (2017) showed that the use of probiotic as an alternative to antibiotics does not affect water losses during cooking in broilers. The rise in temperature during cooking causes a total destruction of the cell wall of muscle tissue, which in turn causes a release of very large amounts of liquids. A high loss leads to a hardness of product during the tasting. In addition, Abdulla et al. (2017) showed that the use of probiotic *Bacillus subtilis* in the diet had a significant effect on drip and cooking losses. High water losses have a direct effect on the water-soluble nutrients that will be lost.

Table 2. Physicochemical parameters of chicken breast muscles of chickens fed diets without or with *Pediococcus acidilactici*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Yucca schidigera* extract.

Item	Control	Experimental	P values
pH value	5.78±0.05	6.02±0.06	<0.0001
Drip loss 24h (%)	12.1±1.74	12.3±1.57	0.894
Drip loss 7 days (%)	21.25±2.15	21.4±2.27	0.920
Cooking loss (%)	25.3±0.70	24.7±0.55	0.166
Thaw loss (%)	13.7±0.99	11.8±0.61	0.305

The values are the mean ± standard deviation.

Proximate composition

The chemical composition of breast and thigh muscles is shown in Table 3. The experimental diet had no effect on moisture and ash contents of both breast and thigh muscles ($p < 0.05$). However, experimental diet led to a significantly ($p < 0.05$) increase protein content compared with control diet (23.6 vs. 22.3% for breast and 23.9 vs. 23.0% for thigh samples). On the contrary, total lipid content decreased significantly ($p < 0.05$) (3.18 vs. 5.63 % for breast and 4.78 vs. 7.40 % for thigh samples). In a data with probiotics, Sarker, Park, Kim, and Yang (2010) obtained similar results. However, Paryad and Mahmoudi (2008) using *S. cerevisiae* as a probiotic, showed a decrease in protein content and no change in the water and lipid composition of broiler muscles. These effects could be explained by the ability of probiotic strains to product proteins and lipid metabolism in chickens. With regard to *Yucca schidigera*, Begum et al. (2015) revealed no significant difference in serum protein content of broilers. It is well reported in the literature that *Yucca* saponins, whose cannot be absorbed through the epithelial membrane of the digestive tract, can influence the digestion of nutrients in the lumen of the digestive tract by their surfactant properties. In fact, *Yucca schidigera* slow down the lipid metabolism and decreases blood glucose levels (Kucukurt & Dundar, 2013). *Yucca schidigera* saponins influence lipid absorption through the formation of micelles with bile salts and cholesterol in the gut (Cheeke, 2000). The beneficial effects attributed to the use of probiotics and plant extracts in combination and in fermented plant extracts on the health and meat composition of chickens have recently been reported (Bostami, Sarker, & Yang, 2017).

Muscle effect was observed in meat samples; total ash and protein contents of breast muscle were significantly ($p < 0.05$) higher than that of thigh muscle in both diet groups. In contrast, total lipid contents was significantly ($p < 0.05$) higher in thigh muscle than in breast muscle. Similar results were reported by Cortinas et al. (2004), these differences could result from different functions of particular muscle tissues.

Table 3. Chemical composition of chicken breast and thigh muscles of chickens fed diets without or with *Pediococcus acidilactici*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Yucca schidigera* extract

Item	Control		Experimental		Diet	P values	
	Breast	Thigh	Breast	Thigh		muscle	Diet*Muscle
Moisture	73.9±4.51	73.7±1.96	73.5±1.66	74.7±1.52	0.760	0.575	0.476
Ash	1.12±0.19	1.12±0.03	1.17±0.09	1.02±0.04	0.539	0.037	0.724
Protein	19.5±0.76	17.8±0.35	22.2±0.37	19.4±0.41	<0.0001	<0.0001	0.049
Lipids	5.63±0.75	7.40±1.37	3.18±1.45	4.78±1.25	<0.0001	<0.0001	0.513

The values are the mean ± standard deviation.

Mineral content

The content of minerals of breast and thigh muscles is summarized in Table 4. Diet supplemented with probiotics and *Yucca schidigera* extract increases significantly ($p < 0.05$) the contents of Fe (7.48 vs. 6.30 mg/100 g; 7.06 vs. 6.45 mg 100 g⁻¹) and Zn (3.40 vs. 3.06 mg 100 g⁻¹; 8.45 vs. 5.63 mg 100 g⁻¹) and decreases significantly ($p < 0.05$) the contents of Cu (0.10 vs. 0.13 mg 100 g⁻¹; 0.12 vs. 0.14 mg 100 g⁻¹) and Cr (0.20 vs. 0.27 mg 100 g⁻¹; 0.13 vs. 0.24 mg 100 g⁻¹) in breast and thigh muscles respectively, compared with control diet. However, the amount of Na and P in meat of experimental group was lower ($p < 0.05$) in thigh (285 vs. 290 mg 100 g⁻¹; 275 vs. 284 mg 100 g⁻¹, respectively) and higher ($p < 0.05$) in breast muscles (242 vs. 240 mg 100 g⁻¹; 314 vs. 226 mg 100 g⁻¹ respectively) than those observed in control. The increase in mineral content could not be attributed to the effect of *Yucca schidigera* extract since it was reported that the saponins, as one of the major composite of the plant extract could influence the absorption of minerals; *in vitro*, West, Greger, White, and Nonnamaker (1978) reported that alfalfa saponins unite with Fe and Zn. Also, Southon, Johnson, Gee, and Price (1988) found that gypsophila saponins reduce iron absorption in rats. According to Milgate and Roberts (1995), this mal-absorption is the consequence of the formation of an insoluble saponin-mineral complex, with Fe, Zn and Ca. Al-yasiri, Kiczorowska, and Samolińska (2017) reported that plant extracts decrease the concentration of Fe, Zn and Cu in broiler muscle. One hypothesis is the influence of probiotics on minerals composition of meat. In fact, Podolian (2017) reported the high influence of the probiotic on the minerals composition of broiler chicken meat. This effect could be explained by the metabolites of the probiotics whose minerals, in fact, *S. cerevisiae* is a natural source of Fe, Zn, Mn and Cu. However, it cannot exclude a synergistic effect of probiotics and *Yucca schidigera* extract on the mineral content of chicken meat.

Analysis of mineral composition in samples showed difference between muscles. In fact, in thigh compared to breast samples, the amounts of Fe, Zn and Na were higher and those of K and Mg were lower, exempt for Fe content in the experimental diet which was reduced in thigh compared with breast muscles. The mean values found are in general agreement with those reported by Hamm, Searcy, and Klose (1980) in broiler meat from two strains and three regions of production. In addition, a reduction in Cu levels was recorded in the order of 25% and 16% in breast and thigh samples, respectively, despite this reduction, no deterioration in chicken health was observed. The Cr content of the meat samples in our study ranged from 1.30 to 2.70 µg g⁻¹. Sadeghi et al. (2015) reported that in chicken samples in Iran feeding, Cr contents were in the range of 2.27 ± 1.07 µg g⁻¹.

Table 4. Mineral composition (mg/100 g of meat) of chicken breast and thigh muscles of chickens fed diets without or with *Pediococcus acidilactici*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Yucca schidigera* extract.

Mineral	Control		Experimental		P values		
	Breast	Thigh	Breast	Thigh	Diet	Muscle	Diet*Muscle
Cu	0.13±0.01	0.14±0.09	0.10±0.01	0.12±0.02	0.003	0.592	0.250
Fe	6.30±0.46	6.45±0.60	7.48±0.26	7.06±0.54	0.001	<0.0001	0.005
Zn	3.06±0.24	5.63±0.68	3.40±0.18	8.45±1.26	0.006	0.021	0.587
K	1190±35	1136±34	1132±22	1112±14	0.153	<0.0001	0.927
Na	240±36.3	290±10.6	242±23.6	285±31.7	0.011	0.020	0.235
Mg	103±0.33	87.8±2.58	100±5.79	85.5±0.95	0.917	0.005	0.794
P	226±23.8	284±19.3	314±17.9	275±10.3	0.001	0.313	0.000
Cr	0.27±0.05	0.24±0.05	0.20±0.02	0.13±0.03	0.001	0.027	0.210

The values are the mean ± standard deviation

Fatty acid profile

The fatty acid composition of breast and thigh muscle is presented in Table 5. The experimental diet has significantly ($p < 0.05$) decreased the percentage of stearic acid (19.77 vs. 21.35 for breast and 19.12 vs. 20.30 for thigh samples) and total saturated fatty acids (SFA) (42.06 vs. 44.69 for breast and 40.38 vs. 42.35 for thigh samples) compared with control diet. Conversely, the proportion of linoleic acid (19.92 vs. 17.33 for breast and 18.86 vs. 18.07 for thigh samples) and total polyunsaturated fatty acids (PUFA) (26.85 vs. 22.90 for breast and 27.06 vs. 25.04 for thigh samples) were significantly ($p < 0.05$) increased in meat samples from experimental group than in control. Further, the experimental diet had no significant ($p > 0.05$) influence on palmitoleic acid, oleic acid and total monounsaturated fatty acids (MUFA) percent in both breast and thigh muscles. This can be explained by the antioxidant effects of probiotics and active compounds of *Yucca*

schidigera (saponins and polyphenols) which can prevent the oxidation of PUFA and a positive effect on the intestinal flora. Zhang et al. (2005) showed the antioxidant effect of probiotic strains, such as *S. cerevisiae*. The addition of this yeast with *A. awamori* in the diet of chickens improves the fatty acids profile of meat, mainly the amount of PUFA [18:1 (n-9), 18:2 (n-6) and 18:3 (n-3)] (Saleh et al., 2013). Our results also corroborate with those of Endo and Nakano (1999), who reported that the addition of probiotics increased the linolenic acid content and the PUFA/SFA ratio of broiler meat due to a positive effect on the intestinal flora. Indeed, dietary supplementation with *Yucca schidigera* extract of broiler chickens improves antioxidant capacity (Sun et al., 2018). In laying hens, Alagawany, El-Hack, and El-Kholy (2016) reported that *Yucca schidigera* supplementation improved the antioxidant status of serum, while egg yolk fatty acids were modified by the addition of *karaya* saponins to the diet (Afrose, Hossain, Salma, Miah, & Tsujii, 2010). The extract of *Yucca schidigera* contains phenolic compounds. It is well known that, owing to their redox potential, phenolics compounds positively affect antioxidant activity (Gümüş & Imik, 2016) and therefore the fatty acid profile.

The content of fatty acids in meat samples is influenced by muscle type, myristic acid, palmitic acid and SFA were significantly ($p < 0.05$) increased in breast compared with thigh muscles, while the opposite was observed with myristic acid in experimental diet. However, palmitoleic acid, linolenic acid and MUFA were significantly ($p < 0.05$) decreased in breast in relation with thigh muscles. These results are in general agreement with those reported by Puerto, Cabrera, and Saadoun (2017).

Table 5. Fatty acids profile (%) of chicken breast and thigh muscles of chickens fed diets without or with *Pediococcus acidilactici*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Yucca schidigera* extract

	Control		Experimental		P values		
	Breast	Thigh	Breast	Thigh	Diet	Muscle	Diet*Muscle
C14	2.05±0.35	1.94±0.53	1.24±0.16	2.43±0.45	0.569	0.041	0.026
C16	21.36±1.22	20.11±1.47	21.04±1.12	18.83±0.52	0.257	0.030	0.487
C16:1	8.72±0.78	11.53±0.91	8.68±1.26	11.58±1.82	0.996	0.004	0.954
C18	21.35±0.69	20.30±1.06	19.77±0.68	19.12±0.24	0.012	0.081	0.668
C18:1	22.01±1.36	21.07±1.52	22.40±1.54	20.65±0.96	0.989	0.127	0.622
C18: 2n-6	17.33±0.94	18.07±0.29	19.92±0.69	18.86±0.13	0.001	0.646	0.034
C18:3n-3	2.15±0.53	3.07±0.65	2.75±0.75	3.88±0.51	0.064	0.023	0.733
C20: 4n-6	3.42±0.57	3.98±1.73	4.18±0.77	4.31±0.54	0.380	0.571	0.724
SFA	44.69±2.26	42.35±3.06	42.06±0.29	40.38±1.21	0.024	0.042	0.700
MUFA	30.73±2.15	32.60±2.44	31.09±0.55	32.23±2.78	0.988	0.013	0.465
PUFA	22.90±2.00	25.04±2.67	26.85±0.80	27.06±1.19	0.012	0.249	0.320
MUFA/SFA	0.69±0.01	0.77±0.03	0.74±0.01	0.80±0.04	0.004	0.085	0.244
PUFA/SFA	0.51±0.04	0.59±0.09	0.64±0.02	0.67±0.04	0.485	<0.0001	0.002

SFA: Saturated fatty acids; MUFA: Monounsaturated fatty acids; PUFA: Polyunsaturated fatty acids. The values are the mean ± standard deviation.

Conclusion

The results of this study suggest that dietary supplementation with two probiotics (*P. acidilactici* and *S. cerevisiae*) and *Yucca schidigera* extract to control coccidian risk could improve meat quality. It can therefore be concluded that the use of probiotics and *Yucca schidigera* extract could be a viable alternative to antibiotic in production, with the ability not only to preserve animal health and performance but also to improve meat quality.

Acknowledgements

The authors would also like to thank the Scientific and Technical Research Center in Physico-Chemical Analysis CRAPC, Tipaza, Algeria for their laboratory analysis of samples.

References

- Abdulla, N. R., Mohd Zamri, A. N., Sabow, A. B., Kareem, K. Y., Nurhazirah, S., Ling, F. H., ... Loh, T. C. (2017). Physico-chemical properties of breast muscle in broiler chickens fed probiotics, antibiotics or antibiotic-probiotic mix. *Journal of Applied Animal Research*, 45(1), 64-70. doi: 10.1080/09712119.2015.1124330

- Afrose, S., Hossain, M., Salma, U., Miah, A. G., & Tsujii, H. (2010). Dietary karaya saponin and *Rhodobacter capsulatus* exert hypocholesterolemic effects by suppression of hepatic cholesterol synthesis and promotion of bile acid synthesis in laying hens. *Cholesterol*, 1-7. doi: 10.1155/2010/272731
- Aksu, M. İ., Karaoğlu, M., Esenbuğa, N., Kaya, M., & Macit, M. (2005). Effect of a dietary probiotic on some quality characteristics of raw broiler drumsticks and breast meat. *Journal of Muscle Foods*, 16(4), 306-317. doi: 10.1111/j.1745-4573.2005.00023.x
- Alagawany, M., El-Hack, M. E. A., & El-Kholy, M. S. (2016). Productive performance, egg quality, blood constituents, immune functions, and antioxidant parameters in laying hens fed diets with different levels of *Yucca schidigera* extract. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(7), 6774-6782. doi: 10.1007/s11356-015-5919-z
- Al-Yasiry, A. R. M., Kiczorowska, B., & Samolińska, W. (2017). Effect of *Boswellia serrata* Resin Supplementation on Basic Chemical and Mineral Element Composition in the Muscles and Liver of Broiler Chickens. *Biological Trace Element Research*, 179, 294-303. doi: 10.1007/s12011-017-0966-6
- Association Official Analytical Chemist [AOAC]. (2005). Official Methods of Analysis (18th ed.). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Bai, S. P., Wu, A. M., Ding, X. M., Lei, Y., Bai, J., Zhang, K. Y., & Chio, J. S. (2013). Effects of probiotic-supplemented diets on growth performance and intestinal immune characteristics of broiler chickens. *Poultry Science*, 92(3), 663-670. doi: 10.3382/ps.2012-02813
- Barbut, S. (1993). Colour measurements for evaluating the pale soft exudative (PSE) occurrence in turkey meat. *Food Research International*, 26(1), 39-43. doi: 10.1016/0963-9969(93)90103-P
- Begum, M., Hossain, M. M., & Kim, I. H. (2015). Effects of caprylic acid and *Yucca schidigera* extract on growth performance, relative organ weight, breast meat quality, haematological characteristics and caecal microbial shedding in mixed sex Ross 308 broiler chickens. *Veterinarni Medicina*, 60(11), 635-643. doi: 10.1080/00071668.2011.635638
- Bostami, A. B. M. R., Sarker, M. S. K., & Yang, C.-J. (2017). Performance and meat fatty acid profile in mixed sex broilers fed diet supplemented with fermented medicinal plant combinations. *Journal of Animal Plant Science*, 27(2), 360-372.
- Chapman, H. D., Barta, J. R., Blake, D., Gruber, A., Jenkins, M., Smith, N. C., ... Tomley, F. M. (2013). A selective review of advances in coccidiosis research. *Advances in Parasitology*, 83, 93-171. doi: 10.1016/B978-0-12-407705-8.00002-1
- Cheeke, P. R. (2000). Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*, 13, 115-126. doi: 10.1007/978-94-015-9339-7_25
- Cortinas, L., Villaverde, C., Galobart, J., Baucells, M. D., Codony, R., & Barroeta, A. C. (2004). Fatty acid content in chicken thigh and breast as affected by dietary polyunsaturation level. *Poultry Science*, 83(7), 1155-1164. doi: 10.1093/ps/83.7.1155
- Djezzar, R., Benamirouche, K., Baazize-Ammi, D., Khoubei, A., Merrouki, A., Maghni, E., & Guetarni, D. (2012). Impact of dietary supplementation with *Pediococcus acidilactici* on zootechnical and sanitary performances of broilers in Algeria. *Research Journal of Poultry Sciences*, 5(4-6), 54-59. doi: 10.3923/rjpscience.2012.54.59
- Djezzar, R., Benamirouche, K., Baazize-Ammi, D., Mohamed-Said, R., & Guetarni, D. (2014). Effect of a dietary supplementation combining a probiotic and a natural anticoccidial in broiler chickens. *African Journal of Agricultural Research*, 9(52), 3782-3788.
- Endo, T., & Nakano, M. (1999). Influence of a probiotic on productivity, meat components, lipid metabolism, caecal flora and metabolites, and raising environment in broiler production. *Nihon Chikusan Gakkaiho*, 70(4), 207-218.
- Folch, J., Lees, M., & Sloane-Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemical*, 226(1), 497-509.
- Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*, 66(5), 365-378. doi: 10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x

- Gaggia, F., Mattarelli, P., & Biavati, B. (2010). Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *International Journal of Food Microbiology*, *141*, S15-S28. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.031
- Gümüş, R., & Imik, H. (2016). The effect of *Yucca schidigera* powder added to lamb feed on fattening performance, some blood parameters, the immune system, and the antioxidative metabolism of the hepatic tissue. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, *40*(3), 263-270. doi: 10.3329/ajmbr.v4i1.36826
- Hamm, D., Searcy, G. K., & Klose, A. A. (1980). Mineral content and proximate analysis of broiler meat from two strains and three regions of production. *Journal of Food Science*, *45*(6), 1478-1480. doi: 10.1111/j.1365-2621.1980.tb07543.x
- Honikel, K. O. (1991). Assessment of meat quality. In L. O. Fiems, B. G. Cottyn & D. I. Demeyer (Eds.), *Animal Biotechnology and the Quality of Meat Production* (p. 107-125). Amsterdam, NE : Elsevier.
- Hossain, M.D.E., & Yang, C.J. (2014). Effect of fermented water plantain on growth performance, meat composition, oxidative stability, and fatty acid composition of broiler. *Livestock Science*, *162*, 168-177. doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.016
- IBM Corp. (2012). *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0*. Armonk, NY: IBM Corp.
- Kheirabadi, K. P., Katadj, J. K., Bahadoran, S., Silva, J. A. T., Samani, A. D., & Bashi, M. C. (2014). Comparison of the anticoccidial effect of granulated extract of *Artemisia sieberi* with monensin in experimental coccidiosis in broiler chickens. *Experimental Parasitology*, *141*, 129-133. doi: 10.1016/j.exppara.2014.03.022
- Kucukurt, I., & Dundar, Y. (2013). Effects of dietary *Yucca schidigera* supplementation on plasma leptin, insulin, iodated thyroid hormones and some biochemical parameters in rats. *Revue de Médecine Vétérinaire*, *164*(7), 362-367.
- Mehdipour, Z., Afsharmanesh, M., & Sami, M. (2013). Effects of dietary synbiotic and cinnamon (*Cinnamomum verum*) supplementation on growth performance and meat quality in Japanese quail. *Livestock Science*, *154*(1-3), 152-157. doi: 10.1016/j.livsci.2013.03.014
- Milgate, J., & Roberts, D. C. K. (1995). The nutritional & biological significance of saponins. *Nutrition Research*, *15*(8), 1223-1249. doi: 10.1016/0271-5317(95)00081-S
- Molette, C., Régnon, H., & Babilé, R. (2003). Maintaining muscles at a high post-mortem temperature induces PSE-like meat in turkey. *Meat Science*, *63*(4), 525-532. doi: 10.1016/S0309-1740(02)00114-6
- Paryad, A., & Mahmoudi, M. (2008). Effect of different levels of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on performance, blood constituents and carcass characteristics of broiler chicks. *African Journal of Agricultural Research*, *3*(12), 835-842.
- Podolian, J. N. (2017). Effect of probiotics on the chemical, mineral, and amino acid composition of broiler chicken meat. *Ukrainian Journal of Ecology*, *7*(1), 61-65.
- Puerto, M., Cabrera, M. C., & Saadoun, A. (2017). A note on fatty acids profile of meat from broiler chickens supplemented with inorganic or organic selenium. *International Journal of Food Science*, *2017*. doi: 10.1155/2017/7613069
- Sadeghi, A., Hashemi M., Jamali-Behnam F., Zohani A., Esmaily H., & Dehghan A.A. (2015). Determination of chromium, lead and cadmium levels in edible organs of marketed chickens in Mashhad, Iran. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, *2*(4), 134-138.
- Sahoo, S. P., Kaur, D., Sethi, A. P. S., Sharma, A., & Chandra, M. (2015). Evaluation of *Yucca schidigera* extract as feed additive on performance of broiler chicks in winter season. *Veterinary World*, *8*(4), 556-560. doi: 10.14202/vetworld.2015.556-560
- Saleh, A.A., Hayashi, K., & Ohtsuka, A. (2013). Synergistic effect of feeding *Aspergillus awamori* and *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance in broiler chickens; promotion of protein metabolism and modification of fatty acid profile in the muscle. *Journal of Poultry Science*, *50*(3), 242-250. doi: 10.2141/jpsa.0120153
- Sariozkan, S., Konca, Y., Guclu, B. K., Kara, K., Ildiz, N., Kirkpinar, F., ... Kaliber, M. (2015). Effects of dietary supplementation of dried distillers grain with solubles (DDGS) and yucca (*Yucca schidigera*) on broiler performance, carcass traits, intestinal viscosity and marketing. *Journal of Poultry Research*, *12*(1), 5-11.

- Sarker, S. K., Park, S.-R., Kim, G.-M., & Yang, C.-J. (2010). Hamcho (*Salicornia herbacea*) with probiotics as alternative to antibiotic for broiler production. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(5), 415-420.
- Sarker, S. K., Rana, M., Sultana, S., Hossain, N., Sarker, N. R., & Nahar, T. N. (2017). Effect of dietary probiotics as antibiotic alternative on growth performance, organ development and meat quality in broiler chicken. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 3(2), 233-239. doi: 10.3329/ajmbr.v3i2.33575
- Southon, S., Johnson, I. T., Gee, J. M., & Price, K. R. (1988). The effect of *Gypsophila saponins* in the diet on mineral status and plasma cholesterol concentration in the rat. *British Journal of Nutrition*, 59(1), 49-55.
- Sun, D.-s., Shi, B.-l., Tong, M.-m., & Yan, S.-m. (2018). Improved performance and immunological responses as a result of dietary *Yucca schidigera* extract supplementation in broilers. *Italian Journal of Animal Science*, 17(2), 511-517. doi: 10.1080/1828051X.2017.1358593
- West, L. G., Greger, J. L., White, A., & Nonnamaker, B. J. (1978). In vitro studies on saponin-mineral complexation. *Journal of Food Science*, 43(4), 1342-1343. doi: 10.1111/j.1365-2621.1978.tb15309.x
- Yassin, A. K., Gong, J., Kelly, P., Lu, G., Guardabassi, L., Wei, L., ... Cheng, D. (2017). Antimicrobial resistance in clinical *Escherichia coli* isolates from poultry and livestock, China. *PloS one*, 12(9), e0185326. doi: 10.1371/journal.pone.0185326
- Zhang, A. W., Lee, B. D., Lee, S. K., Lee, K. W., An, G. H., Song, K. B., & Lee, C. H. (2005). Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks. *Poultry Science*, 84(7), 1015-1021. doi: 10.1093/ps/84.7.1015