

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Democratic and Popular Republic of Algeria / République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للبيطرة ربيع بوشامة
Higher National Veterinary School Rabie Bouchama
École Nationale Supérieure Vétérinaire Rabie Bouchama



N° d'ordre : 043/Master/2025

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du **diplôme de Master**

Domaine : Sciences Vétérinaires de la Nature et la Vie

Filière : Sciences Vétérinaires

THÈME

Les additifs en alimentation du poulet de chair

Présenté par :

BENNEGUEOUCH Nour Eddine

Soutenu publiquement, le 01/07/2025 devant le jury composé de :

Mme TEMIM Soraya	Professeur (ENSV)	Présidente
Mme SAHRAOUI Lynda	MCA (ENSV)	Examinatrice
Mme BERRAMA Zahra	MCA (ENSV)	Promotrice

Année universitaire : 2024 /2025

Remerciements

Louange à Allah, le tout puissant et miséricordieux de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

J'adresse mes plus vifs remerciements et sincères gratitudes en premier lieu à ma promotrice Mme BERRAMA Z. Maitre de Conférences A à l'ENSV de m'avoir proposé ce thème, ainsi que pour son encadrement, sa disponibilité, sa patience et ses encouragements.

Mes remerciements vont également Mme TEMIM S, Professeur à L'ENSV qui m'a fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Je tiens aussi à remercier Mme SAHRAOUI L, Maitre de Conférences A à L'ENSV d'avoir bien accepté d'examiner ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, véritables piliers de ma vie, qui m'ont offert la joie de vivre et ont toujours été ma source d'énergie et de motivation. J'espère de tout cœur pouvoir leur apporter satisfaction et fierté. Qu'Allah les protège et les garde auprès de moi, inshallah.

À toute ma grande famille, pour leur soutien et leur affection.

À mon binôme de PFE, pour sa collaboration, son engagement et les efforts partagés tout au long de ce travail. Merci pour l'esprit d'équipe, les moments de soutien qui ont rendu cette expérience plus enrichissante.

À mes amis de l'ENSV : Aymen, Anes, Amine, AbdRaouf, pour les moments partagés, l'entraide et l'amitié sincère.

À toute la promotion vétérinaire 2020–2025, avec qui j'ai partagé un parcours inoubliable.

*À Mme TEMIM S. pour son aide précieuse tout au long de ce travail.
Et enfin,*

À ma chère promotrice, Mme BERRAMA Z., que je remercie profondément pour son aide précieuse, son accompagnement et sa bienveillance tout au long de ce travail.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Exemples d'antibiotiques facteurs de croissance anciennement autorisés en Europe et leur statut actuel	9
Tableau 2 : Synthèse des effets des antibiotiques facteurs de croissance (AFC) sur les performances zootechniques et la santé intestinale du poulet de chair	11
Tableau 3 : Synthèse sur la prévalence sur les aliments et transmission à l'homme.....	14
Tableau 4 : Effets antibactériens des substances phytogènes.	17
Tableau 5 : Additifs phytogènes et leurs effets bénéfiques sur la production avicole.....	20
Tableau 6 : Rôle des Vitamines sur la Physiologie et Croissance des Poulets de Chair.....	31

Résumé

Dans un contexte de restriction progressive des antibiotiques facteurs de croissance (AFC) en aviculture, ce mémoire propose une synthèse bibliographique approfondie sur les additifs alimentaires utilisés chez le poulet de chair, avec pour objectif d'analyser leurs effets sur la physiologie digestive, le microbiote intestinal, l'immunité et les performances zootechniques. Structuré en trois chapitres complémentaires, ce travail commence par une présentation des principales catégories d'additifs (technologiques, nutritionnels et zootechniques), en précisant leurs fonctions et modalités d'utilisation. Le deuxième chapitre est consacré aux additifs modulateurs du microbiote intestinal, illustrant la transition des AFC vers des alternatives naturelles telles que les probiotiques, prébiotiques, synbiotiques, acides organiques, enzymes et additifs phytogènes. Enfin, le dernier chapitre explore l'impact de ces substances sur la croissance, la santé intestinale, la digestibilité des nutriments, et certains paramètres de qualité de la viande. Les mécanismes d'action identifiés incluent l'amélioration de l'équilibre microbien, le renforcement de la barrière intestinale, la modulation de la réponse immunitaire, ainsi que des effets antioxydants, anti-inflammatoires et antimicrobiens. Les additifs phytogènes, riches en composés bioactifs, se montrent particulièrement prometteurs en raison de leurs effets multifactoriels sur la croissance et la santé des volailles. L'analyse des données issues de la littérature scientifique récente révèle des résultats significatifs sur l'indice de consommation, le gain de poids, la mortalité et la morphologie intestinale. En conclusion, les additifs alimentaires représentent des composants nutritionnels essentiels pour une aviculture performante et durable. Leur efficacité reste toutefois conditionnée par plusieurs facteurs : nature et synergie des additifs, doses administrées, durée d'utilisation, souche de volaille, état sanitaire du troupeau et conditions d'élevage.

Mots clés : Additifs alimentaires, Poulet de chair, Microbiote intestinal, Performances zootechniques

في ظل القيود المتزايدة على استخدام المضادات الحيوية كمحفزات للنمو في تربية الدواجن، يقدم هذا البحث مراجعة منهجية ومعمقة للأدبيات العلمية حول الإضافات الغذائية المستخدمة في تغذية دجاج اللحم، بهدف تحليل تأثيرها على فسيولوجيا الهضم، والميكروبيوتا المعوية، والمناعة، والأداء الإنتاجي. يتكون هذا العمل من ثلاثة فصول مترابطة، يبدأ بعرض لأهم فئات الإضافات الغذائية (التكنولوجية، التغذوية، والزوتقنية)، مع توضيح وظائفها وطرق استخدامها. يركز الفصل الثاني على الإضافات المعدلة للميكروبيوتا المعوية، مبرزاً الانتقال من استخدام المضادات الحيوية إلى بدائل طبيعية مثل البروبيوتيك، والبريبايوتيك، والسينبيوتيك، والأحماض العضوية، والإنزيمات، والإضافات النباتية. أما الفصل الثالث، فيستعرض تأثير هذه المركبات على النمو، وصحة الجهاز الهضمي، وقابلية هضم المغذيات، وبعض خصائص جودة اللحوم. وتشمل آليات التأثير المكتشفة تحسين التوازن الميكروبي، وتعزيز الحاجز المعوي، وتنظيم الاستجابات المناعية، بالإضافة إلى الخصائص المضادة للأكسدة، والمضادة للالتهابات، والمضادة للميكروبات. وتُظهر الإضافات النباتية، الغنية بالمركبات النشطة بيولوجياً، وعوداً كبيرة لما لها من آثار متعددة الجوانب على النمو وصحة الطيور. وتشير البيانات المستخلصة من الدراسات الحديثة إلى تحسن ملموس في معامل التحويل الغذائي، وزيادة الوزن، وانخفاض معدلات النفوق، وتحسن في شكل ووظيفة الأمعاء. ختاماً، تُعد الإضافات الغذائية أدوات تغذوية أساسية لتحقيق إنتاج دواجن فعال ومستدام، إلا أن فعاليتها تبقى مشروطة بعدة عوامل، منها نوع الإضافة، وجرعتها، ومدة استخدامها، وسلامة الطيور، والوضع الصحي للقطيع، وظروف التربية.

. **الكلمات المفتاحية:** الإضافات الغذائية، دجاج اللحم، الميكروبيوتا المعوية، الأداء الإنتاجي

Abstract

In the context of the progressive restriction of antibiotic growth promoters (AGPs) in poultry farming, this study provides an in-depth literature review on dietary additives used in broiler nutrition, with the objective of analyzing their effects on digestive physiology, gut microbiota, immunity, and zootechnical performance. Structured into three complementary chapters, the work begins with an overview of the main categories of feed additives (technological, nutritional, and zootechnical), detailing their functions and modes of application. The second chapter focuses on additives that modulate the gut microbiota, highlighting the shift from AGPs to natural alternatives such as probiotics, prebiotics, synbiotics, organic acids, enzymes, and phytogetic feed additives. The final chapter explores the impact of these substances on growth, intestinal health, nutrient digestibility, and certain meat quality parameters. Identified mechanisms of action include the improvement of microbial balance, enhancement of the intestinal barrier, modulation of immune responses, as well as antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial effects. Phytogetic additives, rich in bioactive compounds, show particular promise due to their multifactorial benefits on broiler growth and health. Data from recent scientific literature report significant improvements in feed conversion ratio, weight gain, mortality rates, and intestinal morphology. In conclusion, feed additives represent key nutritional tools for achieving efficient and sustainable poultry production. However, their effectiveness depends on multiple factors, including the nature and synergy of additives, dosage, duration of administration, bird strain, flock health status, and rearing conditions.

Keywords: Feed additives, Broiler chickens, Gut microbiota, Zootechnical performance

Table des matières

Introduction	1
CHAPITRE I. LES ADDITIFS DANS L'ALIMENTATION DU POULET DE CHAIR.....	1
I. Définition des additifs alimentaires	2
II. Classification des additifs.....	2
II.1. Additifs Zootechniques	2
II.1.1. Améliorateurs de digestibilité	2
II.1.2. Modulateurs de la flore intestinale.....	3
II.2. Additifs Nutritionnels	3
II.2.1. Vitamines, provitamines et substances à effet analogue.....	3
II.2.2. Les oligoéléments	4
II.3. Les acides aminés, leurs sels et produits analogues.....	4
II.4. Les Additifs Technologiques	5
II.4.1. Les Antioxydants	5
II.4.2. Les Conservateurs et régulateurs d'acidité.....	5
II.4.3. Les Liants.....	6
II.4.4. Les Anti-agglomérants.....	6
II.4.5. Les émulsifiants	6
II.5. Coccidiostats et Histomonostats	7
CHAPITRE II. LES ADDITIFS MODULATEURS DU MICROBIOTE INTESTINAL : DE L'ANTIBIOTIQUE AUX ALTERNATIVES NATURELLES.	Error! Bookmark not defined.
I. Les Antibiotiques Facteurs de Croissance (AFC).....	9
I.1. Mécanismes d'Action des AFC.....	10
I.2. Impact des AFC sur les performances de croissance et la santé intestinale	10
I.3. L'Antibiorésistance et interdiction des AFC	13
I.3.1. Causes et conséquences de l'interdiction des AFC.....	13
I.4. Impact de l'interdiction des AFC	14

II. Les additifs phytogènes : une alternative aux antibiotiques facteurs de croissance .15

II.1. Définition et classification des additifs phytogènes	16
II.2. Activité antimicrobienne des additifs phytogènes (APH): une alternative aux antibiotiques 16	
II.3. Autres effets des additifs phytogènes	18
II.3.1. Effet antioxydant.....	18
II.3.2. Effet anti-inflammatoire	19
II.3.3. II.3.3. Effet immunomodulateur	19
II.3.4. Effets sur les performances de croissance	20
II.3.5. Effets sur la digestibilité et le métabolisme	21

CHAPITRE III. L'IMPACT DE CERTAINS ADDITIFS ZOOTECHNIQUES ET NUTRITIONNELS SUR LA PHYSIOLOGIE ET LA CROISSANCE DU POULET DE CHAIR. 23

I. Les Prébiotiques.....23

I.1. Effets sur les performances de croissance et rendement de carcasse	23
I.2. Effet sur le poids vif et le gain de poids	23
I.3. Effet sur l'indice de consommation et l'indice de conversion alimentaire	24
I.4. Effet sur la mortalité	25
I.5. Effets des prébiotiques sur la physiologie du poulet de chair	25
I.5.1. Effets sur la morphologie intestinale	25
I.5.2. Activité enzymatique digestive.....	25
I.5.3. Intégrité de la barrière intestinale et action antimicrobienne.....	26
I.6. Effets immunomodulateurs.....	26
I.7. Effets métaboliques	26

II. Les Synbiotiques :.....27

II.1. Effets sur la production, santé intestinale et immunité	27
---	----

III. Acides Organique :.....28

III.1. Effets sur les performances de croissance	28
III.1.1. Gain de poids et croissance.....	28
III.1.2. Indice de consommation et conversion alimentaire.....	28

III.2. Effets sur la physiologie	29
III.2.1. Effets sur le tractus digestif	29
III.2.2. Effet sur la microflore intestinale	29
III.2.3. Effets sur la digestibilité des nutriments	30
IV. Les vitamines.....	31
V. Les enzymes :	33
V.1. Effet sur la croissance	33
V.2. Effet sur la physiologie	33
V.2.1. Modulation de la morphologie intestinale	33
V.2.2. Impact sur le microbiote intestinal.....	33
V.2.3. Effets sur la sécrétion enzymatique endogène	33
V.2.4. Digestibilité des nutriments	34
Conclusion Générale.....	35
Références bibliographiques.....	36

Introduction

L'aviculture moderne, et plus particulièrement la production intensive de poulet de chair (*Gallus gallus domesticus*), représente aujourd'hui l'un des secteurs les plus dynamiques de la production animale mondiale. Cette filière est confrontée à des enjeux croissants de rentabilité, de sécurité sanitaire des aliments et de durabilité environnementale, dans un contexte de pression sociétale et réglementaire accrue sur l'usage des intrants chimiques. L'alimentation, en tant que principale composante d'optimisation des performances zootechniques, joue un rôle stratégique dans l'équilibre entre productivité et santé animale (Yegani et Korver, 2008 ; Yang et al., 2009).

Parmi les outils nutritionnels, les additifs alimentaires, qu'ils soient d'origine synthétique ou naturelle occupent une place centrale dans la formulation des rations. Historiquement, les antibiotiques facteurs de croissance (AFC) ont été largement utilisés pour améliorer l'indice de consommation, le gain moyen quotidien et la santé intestinale des volailles. Cependant, de nombreuses études ont établi une corrélation entre l'usage intensif d'AFC et l'émergence de résistances antimicrobiennes transmissibles à l'homme, posant ainsi un problème majeur de santé publique (Marshall et Levy, 2011 ; WHO, 2017). En réponse à cette problématique, l'Union européenne a interdit leur utilisation à des fins non thérapeutiques dès 2006 (Règlement CE n°1831/2003), suivie depuis par plusieurs autres pays.

Cette interdiction a stimulé un intérêt croissant pour le développement de solutions alternatives naturelles capables d'assurer des effets comparables sur la croissance et la santé intestinale des poulets. Parmi ces alternatives figurent les probiotiques (Fuller, 1989), les prébiotiques (Gibson & Roberfroid, 1995), les synbiotiques, les acides organiques (Suiryanrayna & Ramana, 2015), les enzymes exogènes (Bedford & Partridge, 2010) et les additifs phytogènes (Windisch et al., 2008), dont les mécanismes d'action incluent la modulation du microbiote intestinal, l'amélioration de la digestibilité, la stimulation de l'immunité, ainsi que des effets antimicrobiens et antioxydants.

Dans ce contexte de transition vers une aviculture plus responsable et durable, la présente revue bibliographique vise à analyser l'impact des principaux additifs alimentaires, notamment ceux d'origine naturelle sur la physiologie et les performances zootechniques du poulet de chair. Pour cela, une synthèse scientifique rigoureuse des mécanismes d'action de ces additifs, appuyée par des données expérimentales issues de publications indexées, afin de mieux comprendre leur potentiel en tant qu'alternatives aux AFC et d'éclairer les pratiques nutritionnelles futures en aviculture

CHAPITRE I. LES ADDITIFS DANS L'ALIMENTATION DU POULET DE CHAIR

I. Définition des additifs alimentaires

En Algérie, la définition d'un additif pour l'alimentation animale est juridiquement établie par le **Décret exécutif n° 17-141 du 14 Rajab 1438 correspondant au 11 avril 2017**. Celui-ci le décrit comme une substance, un micro-organisme ou une préparation intentionnellement ajoutée à l'aliment ou à l'eau, distincte des matières premières, dans le but de remplir une ou plusieurs fonctions spécifiques. Ce cadre réglementaire national s'aligne sur les standards internationaux du **Codex Alimentarius (CAC/RCP 54-2004)**, qui définit un additif comme un ingrédient ajouté intentionnellement pour influencer sur les caractéristiques de l'aliment ou du produit animal.

Ainsi, un additif doit être considéré comme un composant actif, dont la valeur réside dans l'effet spécifique qu'il produit. Son utilisation est conditionnée par une autorisation délivrée suite à l'évaluation par la Commission nationale compétente. Cette procédure vise à garantir son innocuité pour l'animal, la sécurité sanitaire du produit final pour le consommateur, ainsi que son efficacité pour la fonction ciblée.

II. Classification des additifs

La grande diversité chimique et biologique des substances utilisées comme additifs a rendu nécessaire l'élaboration d'un système de classification rigoureux. L'approche la plus largement reconnue est une classification fonctionnelle. Cette dernière regroupe les additifs non pas selon leur nature, mais selon leur rôle principal et l'objectif visé par leur incorporation. Ainsi, les additifs sont classés en cinq catégories distinctes.

II.1. Additifs Zootechniques

Cette catégorie regroupe des substances visant à optimiser les performances zootechniques et le bien-être des animaux en bonne santé, ou à exercer un effet favorable sur l'environnement. En aviculture moderne, leur rôle est devenu capital, notamment dans le cadre des stratégies de réduction des antibiotiques (**Polycarpe et al., 2018 ; Adewole et al., 2021**). Ils se subdivisent en plusieurs groupes fonctionnels :

II.1.1. Améliorateurs de digestibilité

Représentés principalement par des enzymes exogènes, telles que :

- Les carbohydrases (xylanases, β -glucanases) et les phytases : ces biocatalyseurs ciblent les fractions non digestibles de la ration (polysaccharides non amylacés, phytates), libérant des nutriments et de l'énergie (**Bedford et Cowieson, 2012**) autrement inaccessibles et réduisant l'impact environnemental par une meilleure rétention du phosphore (**Singh et al., 2021**). En effet, à des doses usuelles, l'ajout de phytases dans les régimes alimentaires des poulets de chair permet

pratiquement de doubler la digestibilité apparente du P et de diminuer son excrétion de plus de 30 % (Yaboue, 2010 ; Zhang et al., 2024).

- Les protéases : ces enzymes optimisent le processus digestif en décomposant les protéines et en facilitant l'extraction des acides aminés présents dans les aliments. Grâce à cette action enzymatique, les éleveurs peuvent diversifier leurs sources de protéines et intégrer des matières premières alternatives dans l'alimentation de leurs animaux, tout en maintenant un niveau optimal de performance.
- Complexes multi-enzymatiques : Le recours à ces derniers permet d'optimiser la valeur nutritive des matières premières tout en contribuant à la réduction des coûts alimentaires (Bedford et Cowieson 2012).

II.1.2. Modulateurs de la flore intestinale

Ce groupe, essentiel à la modulation du microbiote, inclut les probiotiques (micro-organismes vivants) (cf Master), les prébiotiques (substrats non digestibles), les synbiotiques (préparation combinant un probiotique et un prébiotique) et, de plus en plus, les phytogéniques (plantes, épice et leurs extraits de plantes) (cf chapitre II). Leur objectif est de promouvoir un état d'eubiose, de renforcer l'intégrité de la barrière intestinale et de moduler la réponse immunitaire locale, créant ainsi un environnement défavorable aux pathogènes compétitifs (Huyghebaert et al., 2011 ; Alagawany et al., 2021).

II.2. Aditifs Nutritionnels

Cette catégorie a pour fonction de compléter la ration afin de satisfaire les besoins physiologiques spécifiques des souches de poulets de chair à croissance rapide, non entièrement couverts par les matières premières. Leur apport est essentiel pour assurer une croissance optimale, le bon fonctionnement du métabolisme et la prévention des carences (Leeson et Summers, 2001 ; Gadde et al., 2017). Cette catégorie comprend :

II.2.1. Vitamines, provitamines et substances à effet analogue

Les vitamines sont des catalyseurs organiques indispensables, agissant à très faibles doses dans d'innombrables réactions métaboliques. L'aliment destiné au poulet de chair est systématiquement complété avec un pré-mélange vitaminique complet. Parmi ces vitamines, on retrouve :

- Les vitamines liposolubles :
 - La **vitamine A** (rétinol) est cruciale pour la vision, l'intégrité épithéliale et la réponse immunitaire.
 - La **vitamine D3** (cholécalférol) est essentielle à l'homéostasie du calcium et du phosphore, et donc à la minéralisation du squelette.

-
- La **vitamine E** (α -tocophérol) est le principal antioxydant liposoluble des membranes cellulaires, protégeant les tissus contre le stress oxydatif, un phénomène particulièrement important chez des animaux à croissance rapide (**Surai et Fisinin, 2014**).

- Les vitamines hydrosolubles :

Représentées par le groupe des **vitamines B** (thiamine, riboflavine, niacine, acide pantothénique, pyridoxine, biotine, acide folique, cobalamine).

Aussi, les additifs nutritionnels vitaminiques ne se limite pas aux vitamines directement actives (ex: cholécalciférol), mais englobe également leurs précurseurs biologiques, les pro-vitamines (ex: β -carotène, précurseur de la vitamine A), que l'animal doit convertir métaboliquement.

Ces additifs nutritionnels incluent aussi des substances à effet analogue, qui sont des composés chimiques bien définis pouvant remplacer ou mimer l'action d'une vitamine. Cela concerne d'une part les analogues de synthèse, souvent plus stables (ex: les différentes formes de vitamine K3), et d'autre part des nutriments essentiels non vitaminiques au sens strict, comme la choline, dont les besoins élevés des animaux à forte production justifient la supplémentation systématique. En effet, la choline est un coenzyme fondamental dans le métabolisme énergétique, protéique et lipidique.

II.2.2. Les oligoéléments

Les oligoéléments sont des minéraux requis en très faibles quantités mais dont le rôle est tout aussi fondamental que celui des vitamines, notamment en tant que cofacteurs enzymatiques. Leur biodisponibilité peut varier significativement selon leur forme chimique. On distingue :

- **Les formes inorganiques** : Ce sont les plus courantes, telles que les sulfates (ex: sulfate de zinc, sulfate de cuivre) ou les oxydes. Elles sont efficaces mais leur biodisponibilité peut être limitée par des antagonismes digestifs.
- **Les formes organiques (chélates)** : Dans ces formes, l'ion métallique est lié à un ligand organique, souvent un acide aminé ou un petit peptide. Cette chélation protège le minéral dans le tube digestif, améliorant son absorption et sa biodisponibilité (**Abd El-Hack et al., 2020**). Le zinc, le cuivre, le manganèse et le sélénium sont particulièrement importants pour les fonctions immunitaires, la croissance squelettique et les défenses antioxydantes (via des enzymes comme le superoxyde dismutase et la glutathion peroxydase).

II.3. Les acides aminés, leurs sels et produits analogues

La supplémentation en acides aminés de synthèse est l'une des avancées les plus significatives en nutrition avicole. Elle permet l'application du concept de la protéine idéale, qui vise à formuler

une ration dont le profil en acides aminés essentiels correspond parfaitement aux besoins de l'animal pour la synthèse protéique, sans excès ni déficit.

Les premiers acides aminés limitants dans les rations classiques à base de maïs et de tourteau de soja sont la **méthionine**, la **lysine** et la **thréonine**. Leur ajout sous forme pure (ex: DL-méthionine, L-lysine HCl, L-thréonine) permet de réduire le taux global de protéines brutes de l'aliment (**Corzo et al., 2009 ; Kidd et al., 2013**). Cette stratégie présente un double avantage, elle diminue le coût de la ration et réduit significativement les rejets d'azote dans l'environnement, un enjeu écologique majeur en élevage intensif (**Zampiga et al., 2021**).

II.4. Les Additifs Technologiques

Leur fonction est d'améliorer les processus de fabrication, de conservation, ou les caractéristiques physico-chimiques de l'aliment. Ils agissent sur le produit et non directement sur l'animal. On y retrouve les **antioxydants** (pour prévenir le rancissement des matières grasses), les **conservateurs** (pour inhiber le développement microbien), les **liants** (pour améliorer la durabilité des granulés) et les **anti-agglomérants**.

II.4.1. Les Antioxydants

L'aliment du poulet de chair est riche en matières grasses, qui sont une source d'énergie dense mais très sensible à la peroxydation lipidique (rancissement). Ce processus dégrade non seulement les lipides, mais détruit également les vitamines liposolubles (A, D, E) et peut générer des composés toxiques qui altèrent l'appétence de l'aliment et la santé de l'animal. Les antioxydants sont des substances qui préviennent ces réactions en chaîne en neutralisant les radicaux libres (**Elatyqy, 2011**).

On utilise principalement des antioxydants de synthèse comme le BHT (butylhydroxytoluène), le BHA (butylhydroxyanisole) et l'éthoxyquine, dont l'efficacité et le faible coût sont bien établis. Face à une demande croissante pour des solutions naturelles, des extraits de plantes riches en composés phénoliques (romarin, thé vert) ou les tocophérols (vitamine E) sont également employés pour leur puissant pouvoir antioxydant (**Kerr et al., 2015**).

II.4.2. Les Conservateurs et régulateurs d'acidité

La contamination microbienne des matières premières et de l'aliment composé par des moisissures et des bactéries constitue un risque majeur. Les moisissures peuvent produire des mycotoxines, substances extrêmement délétères pour la santé et les performances du poulet. Les conservateurs sont donc utilisés pour inhiber la prolifération microbienne. Les plus efficaces sont les acides organiques et leurs sels, comme l'acide propionique (très efficace comme fongistatique), l'acide formique (plus actif contre les bactéries comme *Salmonella* et *E. coli*) et l'acide sorbique. En abaissant le pH de l'aliment et en perturbant le métabolisme des micro-organismes, ils assurent la conservation et la sécurité sanitaire de la ration. L'utilisation de mélanges de ces acides permet souvent d'obtenir un effet synergique à large spectre (**Papatsiros et al., 2013 ; Dhama et al., 2015**).

II.4.3. Les Liants

La présentation de l'aliment sous forme de granulés est la norme en élevage de poulet de chair, car elle réduit le gaspillage, évite le tri par l'animal et améliore l'efficacité alimentaire. La qualité physique du granulé, ou sa durabilité, est donc primordiale. Les liants sont des substances qui augmentent la cohésion des particules de l'aliment lors du processus de granulation sous pression et à chaud. Ils améliorent l'indice de durabilité des granulés (PDI - Pellet Durability Index), réduisant ainsi la proportion des poussières. Des liants comme les lignosulfonates, la bentonite (une argile) ou le guar sont couramment utilisés pour garantir une structure de granulé robuste, ce qui est directement corrélé à une meilleure performance de croissance chez le poulet (**Abdollahi et al., 2013**).

II.4.4. Les Anti-agglomérants

Certains ingrédients, notamment les prémélanges de minéraux et de vitamines ou le sel, sont hygroscopiques et ont tendance à absorber l'humidité et à former des mottes compactes. Ce phénomène d'agglomération ou mottage pose de sérieux problèmes d'écoulement dans les silos, de manipulation et surtout d'homogénéité du mélange final. Les anti-agglomérants sont des poudres fines et inertes qui enrobent les particules des autres ingrédients, créant une barrière physique ou absorbant l'excès d'humidité pour maintenir leur fluidité. Le dioxyde de silicium (silice), les silicates et certaines argiles comme la bentonite sont des exemples typiques d'agents anti-mottage.

II.4.5. Les émulsifiants

Les émulsifiants, tels que la lécithine et ses dérivés (lysolécithine) ou les monoglycérides, appartiennent réglementairement à la catégorie des additifs technologiques. Leur fonction officielle est de permettre la formation et le maintien de mélanges homogènes entre des phases non miscibles (**EC, 2003**).

Cependant, dans le contexte de l'alimentation du poulet de chair, leur utilisation présente un objectif zootechnique. Ils sont incorporés dans l'aliment non pas pour leurs propriétés physiques dans le sac, mais pour exercer leur fonction *in vivo*, dans le tractus digestif de l'animal. Leur rôle est d'améliorer l'émulsification des lipides alimentaires, un processus particulièrement limitant chez le jeune poussin dont la production de bile est encore immature (**Serafin et Kaczmarek, 2021**).

En renforçant l'action des sels biliaires endogènes, ces émulsifiants exogènes favorisent la formation de micelles plus petites, augmentant ainsi la surface d'attaque pour les lipases pancréatiques. Cette optimisation de la digestion lipidique se traduit par une augmentation de l'énergie métabolisable de la ration et une amélioration directe des performances de croissance (**Zafarian et al., 2015 ; Zhao et al., 2015**), notamment l'indice de conversion (**Boontiam et al., 2017**) et maximiser l'efficacité énergétique (**Zhao et al., 2021**).

II.5. Coccidiostats et Histomonostats

Cette catégorie d'additif occupe une place particulière, car elle concerne des substances à action pharmacologique régulées comme des additifs. Leur rôle est préventif et non thérapeutique : ils sont destinés à inhiber ou détruire les agents responsables de la coccidiose et de l'histomonose (très répandue chez la dinde), deux pathologies parasitaires à fort impact économique en élevage avicole. Leur incorporation systématique dans l'aliment du jeune poulet est une stratégie de contrôle prophylactique largement répandue dans la filière (**Chapman et al., 2013**).

CHAPITRE II

CHAPITRE II. LES ADDITIFS MODULATEURS DU MICROBIOTE INTESTINAL DE L'ANTIBIOTIQUE AUX ALTERNATIVES NATURELLES.

La productivité en élevage avicole intensif est largement liée à la santé intestinale du poulet de chair. Le microbiote intestinal, un écosystème complexe, joue un rôle central dans la digestion, le métabolisme et le développement du système immunitaire de l'hôte. L'état d'équilibre de cette flore, ou eubiose, est essentiel à l'optimisation des performances zootechniques (**Kogut, 2013**) et à la résilience de l'animal face aux stress (**Jha et al., 2021**). Inversement, tout déséquilibre, ou dysbiose, peut entraîner des troubles digestifs, une altération de la barrière intestinale et une sensibilité accrue aux pathogènes (**Clavijo et Flórez, 2018**) d'où une baisse de l'efficacité alimentaire et des performances.

Pendant des décennies, l'équilibre du microbiote intestinal a été maintenu par l'usage d'antibiotiques facteurs de croissance (AFC). Toutefois, la menace croissante de l'antibiorésistance a nécessité une interdiction de leur utilisation. L'industrie avicole s'est donc tournée vers le développement et l'implémentation d'alternatives naturelles.

I. Les Antibiotiques Facteurs de Croissance (AFC)

Les antibiotiques facteurs de croissance sont des agents antimicrobiens qui, administrés de manière continue à des doses sub-thérapeutiques dans l'aliment, améliorent la vitesse de croissance et l'indice de consommation. Leur utilisation en aviculture a débuté dans les années 1950 (**Stokstad et Jukes, 1950**). Des molécules comme la bacitracine, la virginiamycine ou la flavomycine ont été largement utilisées (Tableau 1) (**Castañón, 2007**).

Tableau 1 : Exemples d'antibiotiques facteurs de croissance anciennement autorisés en Europe et leur statut actuel (**Castanon, 2007 et Huyghebaert et al., 2011**).

Famille d'Antibiotique	Molécule Exemple	Spectre d'Action Principal	Statut Réglementaire (UE)	Année d'interdiction
Glycopeptides	Avoparcine	Gram-positif	Interdit	1997
Macrolides	Tylosine, Spiramycine	Gram-positif	Interdit	1999
Polypeptides cycliques	Bacitracine de zinc	Gram-positif	Interdit	1999 (retrait volontaire) / 2006
Streptogramines	Virginiamycine	Gram-positif	Interdit	1999
Phosphoglycolipides	Flavophospholipol	Gram-positif	Interdit	2006

I.1. Mécanismes d'Action des AFC

L'effet promoteur de croissance des AFC n'est pas dû à une action métabolique directe sur l'hôte, mais à une modulation complexe du microbiote intestinal et de l'interaction hôte-microbiote (Niewold, 2007). Les doses sub-thérapeutiques ne stérilisent pas l'intestin mais le modulent de plusieurs manières :

- Réduction de la charge bactérienne pathogène et sub-clinique : Les AFC ciblent principalement les bactéries Gram-positives, comme *Clostridium perfringens*, l'agent causal de l'entérite nécrotique, une des pathologies les plus coûteuses en production de poulet de chair suite à l'arrêt des AFC (Van Immerseel et al., 2009). En contrôlant ces infections sub-cliniques, les AFC protègent la muqueuse intestinale et la dégradation des performances.
- Diminution de la compétition pour les nutriments : En réduisant la densité de la population bactérienne dans l'intestin grêle, les AFC diminuent la compétition entre le microbiote et l'hôte pour les nutriments essentiels (énergie, acides aminés, vitamines). Cet "effet d'épargne des nutriments" (nutrient-sparing effect) se traduit par une meilleure disponibilité pour l'absorption par les entérocytes (Gaggia et al., 2010).
- Réduction de la production de métabolites bactériens délétères : Certaines bactéries produisent des métabolites qui nuisent à l'hôte. Par exemple, la fermentation bactérienne des protéines non digérées produit de l'ammoniac et des amines biogènes, qui augmentent le taux de renouvellement cellulaire de la muqueuse (turnover), un processus énergivore. Les AFC, en modifiant le microbiote, réduisent la production de ces composés (Dibner & Richards, 2005).
- Modulation de la réponse immunitaire et amélioration de la morphologie intestinale : C'est un mécanisme central. Un microbiote dysbiotique induit une inflammation chronique de bas grade au niveau de la muqueuse intestinale, activant de façon permanente le système immunitaire associé à l'intestin (GALT). Cette réponse immunitaire est coûteuse en énergie et en nutriments (acides aminés, glucose) qui sont alors détournés de la croissance (Niewold, 2007). En diminuant la charge antigénique et bactérienne, les AFC réduisent cette inflammation. La conséquence est un amincissement de la lamina propria (moins d'infiltration de cellules immunitaires) et une diminution du turnover des entérocytes, ce qui améliore l'efficacité de la fonction de barrière et d'absorption de l'intestin (Brennan et al., 2008).

I.2. Impact des AFC sur les performances de croissance et la santé intestinale

Les études synthétisées dans le tableau 02 convergent vers des conclusions claires :

1. Amélioration systématique des performances : Tous les AFC testés conduisent à une amélioration notable des performances de croissance, principalement via une **réduction de l'indice de consommation (IC)**, ce qui signifie une meilleure valorisation de l'aliment.
2. Contrôle du microbiote pathogène : Un effet commun est la suppression ou le contrôle de bactéries pathogènes ou potentiellement néfastes, en particulier *Clostridium perfringens*, l'agent de l'entérite nécrotique.
3. Modulation de la morphologie et de la physiologie intestinale : Les AFC induisent un amincissement de la paroi intestinale, ce qui est interprété non pas comme une atrophie, mais comme une réduction de l'inflammation chronique de bas grade. Cela libère de l'énergie et des nutriments, qui sont réalloués du système immunitaire vers la croissance musculaire.
4. Amélioration de la digestibilité : En réduisant la compétition bactérienne pour les nutriments et en optimisant la fonction de la muqueuse, les AFC améliorent la digestibilité et l'absorption des nutriments clés (protéines, acides aminés, énergie).

Tableau 2 : Synthèse des effets des antibiotiques facteurs de croissance (AFC) sur les performances zootechniques et la santé intestinale du poulet de chair

Référence	Additif (AFC)	Dose mg/kg d'aliment	Durée de l'essai	Principaux résultats obtenus
Elwinger et al. (1998)	Virginiamycine	20 mg/kg	1 à 35 jours	Performances de croissance : <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration significative du gain de poids et de l'indice de consommation (IC). - Effet particulièrement marqué en conditions de challenge avec <i>Clostridium perfringens</i>. Santé intestinale / Microbiote : Réduction importante de la mortalité (de 21,7% à 3,7%) et des scores de lésions d'entérite nécrotique. <ul style="list-style-type: none"> - Forte diminution des comptages de <i>C. perfringens</i> dans le contenu iléal.
Engberg et al. (2000)	Bacitracine de zinc	55 mg/kg	1 à 42 jours	Performances de croissance : <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de l'indice de consommation (IC) de 4,5% par rapport au groupe contrôle.

				<p>Santé intestinale / Microbiote :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réduction significative de la population de <i>C. perfringens</i> dans le caecum. - Augmentation de la digestibilité apparente de l'amidon et des protéines. - Diminution de l'épaisseur de la paroi de l'intestin grêle.
Baurhoo et al. (2007)	Flavophospholipol 1	5.5 mg/kg	1 à 42 jours	<p>Performances de croissance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du gain de poids (+6%) et amélioration de l'IC (-3%) par rapport au contrôle négatif. <p>Santé intestinale / Microbiote :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des populations de coliformes et de <i>C. perfringens</i> dans l'iléon et le caecum. - Tendance à l'augmentation de la population de <i>Lactobacillus</i>.
Stutz & Lawton (1984)	Avoparcine	10 mg/kg	21 jours	<p>Performances de croissance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration significative du gain de poids et de l'indice de consommation. <p>Santé intestinale / Microbiote :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amincissement significatif de la paroi intestinale (duodénum et jéjunum). - Réduction du poids de l'intestin grêle par rapport au poids corporel, suggérant une réduction de l'état inflammatoire et du turnover cellulaire.
George et al. (1982)	Lincomycine	4.4 mg/kg	49 jours	<p>Performances de croissance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration du gain de poids (+4.8%) et de l'IC (-2.4%). <p>Santé intestinale / Microbiote :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la production de toxines par <i>C. perfringens</i>. - Réduction des comptages bactériens totaux et des lactobacilles dans le jéjunum, illustrant l'effet de modulation globale du microbiote.

Miles et al. (2006)	Tylosine phosphate	55 mg/kg	42 jours	Performances de croissance : - Amélioration du poids corporel final et de l'indice de consommation. Santé intestinale / Microbiote : - Augmentation significative de la digestibilité iléale apparente de la plupart des acides aminés essentiels (lysine, méthionine, thréonine...). - L'amélioration de la digestibilité des nutriments est un des mécanismes clés de l'effet promoteur de croissance.
--------------------------------	-----------------------	----------	----------	--

I.3. L'Antibiorésistance et interdiction des AFC

I.3.1. Causes et conséquences de l'interdiction des AFC

L'interdiction des antibiotiques facteurs de croissance (AFC) s'explique essentiellement par leur rôle avéré dans la sélection et la propagation de bactéries résistantes aux antibiotiques, représentant ainsi une menace majeure pour la santé publique (**Casewell et al., 2003**).

I.3.1.1. Pression de sélection et résistance croisée

L'usage prolongé des AFC exerce une pression de sélection qui favorise l'émergence et la persistance de souches bactériennes résistantes. Le cas de l'avoparcine illustre particulièrement ce phénomène. Il s'agit d'un glycopeptide structurellement apparenté à la vancomycine, un antibiotique de dernier recours utilisé en médecine humaine pour traiter notamment les infections à *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM) et les entérocoques résistants à la vancomycine (ERV). Plusieurs études ont mis en évidence une corrélation directe entre l'utilisation de l'avoparcine dans l'élevage et la prévalence croissante des ERV chez les animaux et chez l'homme (**Bates et al., 1994 ; Aarestrup, 2000**).

I.3.1.2. Transfert horizontal de gènes de résistance

L'intestin des animaux traités par des AFC constitue un milieu favorable au transfert horizontal de gènes de résistance. Contrairement au transfert vertical, qui s'effectue de la cellule mère à sa descendance, le transfert horizontal permet à une bactérie d'acquérir des gènes — notamment de résistance — à partir d'autres bactéries, même appartenant à des espèces différentes. Trois mécanismes principaux sont impliqués dans ce processus : la conjugaison, qui permet le transfert direct de plasmides via un pilus sexuel ; la transformation, au cours de laquelle des bactéries captent et intègrent de l'ADN libre issu de bactéries lysées ; et la transduction, où des bactériophages (virus bactériens) transportent accidentellement des gènes d'une bactérie à une autre.

Ces gènes sont souvent portés par des éléments génétiques mobiles tels que les plasmides ou les transposons, facilitant leur dissémination rapide au sein de la flore bactérienne. Des bactéries commensales inoffensives peuvent ainsi devenir des réservoirs de gènes de résistance et les transmettre à des bactéries pathogènes pour l'homme, comme *Salmonella* ou *Campylobacter* (Wegener, 2003).

I.4. Impact de l'interdiction des AFC

L'impact positif de l'interdiction des AFC a été rapidement démontré dans plusieurs pays. En effet, l'arrêt de leur utilisation a conduit à une réduction significative de la prévalence des bactéries résistantes aux antibiotiques correspondants, tant chez les animaux d'élevage que dans les produits carnés destinés à la consommation humaine (Aarestrup et al., 2001).

Tableau 3 : Synthèse sur la prévalence sur les aliments et transmission à l'homme (Timothy et al., 2012).

Auteur de l'étude, année (pays)	Description de l'étude	Résultats
Prévalence des bactéries antibiorésistantes sur les produits alimentaires disponibles pour les consommateurs		
Cui et al., 2005 (États-Unis)	Étude de prévalence et analyse de la sensibilité aux antibiotiques de <i>Campylobacter</i> et <i>Salmonella</i> isolés de carcasses de poulets biologiques et conventionnels vendus au détail.	<i>Campylobacter</i> a été isolé sur 76% des poulets biologiques et 74% des poulets conventionnels ; les isolats de poulet biologique étaient plus souvent résistants à la tétracycline et à l'érythromycine que les isolats de poulet conventionnel (81% vs 69% et 36% vs 49%, respectivement). <i>Salmonella</i> a été isolée sur 61% des poulets biologiques et 44% des poulets conventionnels ; la résistance variait selon le sérotype, mais était généralement plus prévalente parmi les isolats de poulet conventionnel.
Kim et al., 2005 (États-Unis)	Analyse de la sensibilité aux antibiotiques de <i>Klebsiella pneumoniae</i> isolée d'élevages de dindes, de bovins et de poulets, ainsi que de produits carnés et de volaille vendus au détail.	Tous les isolats de <i>Klebsiella pneumoniae</i> étaient résistants à l'ampicilline, la tétracycline, la streptomycine, la gentamicine et la kanamycine.

Parveen et al., 2007 (États-Unis)	Étude de prévalence et analyse de la sensibilité aux antibiotiques de <i>Salmonella</i> isolée de volaille transformée.	<i>Salmonella</i> a été isolée sur 88,4% des carcasses de poulet transformées avant réfrigération et sur 84,1% après réfrigération. Une antibiorésistance a été détectée dans 79,8% des isolats.
Bactéries antibiorésistantes d'origine animale isolées chez l'humain.		
Ramchandani et al., 2005 (États-Unis)	Enquête sur une épidémie multi-états d'infections urinaires à <i>E. coli</i> résistant au triméthoprim-sulfaméthoxazole.	Les isolats résistants provenant d'infections humaines se sont révélés quasi identiques aux souches isolées d'animaux de rente et de sources d'eau environnementales, suggérant que les bactéries étaient d'origine animale et potentiellement acquises par l'alimentation.
Associations entre l'utilisation d'antibiotiques chez les animaux de rente et l'antibiorésistance des bactéries isolées de ces animaux.		
van den Bogaard et al., 1997 (Pays-Bas)	Étude de prévalence des ERV (Entérocoques Résistants à la Vancomycine) chez les dindes, les éleveurs de dindes, le personnel d'abattoir et les résidents de la communauté voisine.	Des ERV ont été isolés sur 50% des échantillons de dindes, 39% des éleveurs, 20% du personnel d'abattoir et 14% des résidents. La prévalence des ERV était significativement plus élevée chez les dindes nourries avec de l'avoparcine (60% contre 8%).
van den Bogaard et al., 2002 (Pays-Bas)	Étude de prévalence des entérocoques résistants dans les isolats fécaux provenant d'éleveurs et de poulets de chair (où les antibiotiques sont fortement utilisés), comparés aux éleveurs et poules pondeuses (où les antibiotiques sont rarement utilisés).	La résistance était plus prévalente chez les éleveurs de poulets de chair et les poulets de chair que chez les éleveurs de pondeuses et les pondeuses. Les caractéristiques moléculaires des bactéries isolées suggèrent que les traits de résistance ont été transférés des entérocoques des poulets aux entérocoques humains.

II. Les additifs phyto-gènes : une alternative aux antibiotiques facteurs de croissance

Les additifs phyto-gènes apparaissent comme une solution naturelle, efficace et durable pour remplacer les AFC. Riches en composés bioactifs, ces substances d'origine végétale présentent des effets antimicrobiens démontrés, tout en offrant d'autres bénéfices pour la santé digestive, l'immunité et la qualité des produits finis.

II.1. Définition et classification des additifs phytogènes

Les additifs phytogènes regroupent un large éventail de composés bioactifs issus de plantes aromatiques ou médicinales. Selon leur forme (Madhupriya et al., 2018), ils peuvent être classés en :

- **Herbes et épices** (formes brutes ou séchées),
- **Huiles essentielles**,
- **Oléorésines**,
- **Extraits végétaux** (crus ou purifiés).

Ces substances sont généralement reconnues comme sûres pour une utilisation en alimentation animale. Parmi les plantes les plus utilisées figurent le basilic (*Ocimum basilicum*), l'origan (*Origanum vulgare*), le thym (*Thymus vulgaris*), la sauge (*Salvia officinalis*) ou la chlorelle (*Chlorella vulgaris*) (Martinez-Mayorga et al., 2013) . Leur succès repose sur leur innocuité, leur caractère naturel, leur faible coût et leur compatibilité avec les principes de production durable (Madhupriya et al., 2018 ; Abdelli et al., 2021).

II.2. Activité antimicrobienne des additifs phytogènes (APH): une alternative aux antibiotiques

Le principal intérêt des APH réside dans leur activité antimicrobienne naturelle (tableau 02), qui en fait des alternatives prometteuses aux AFC. Cette activité est attribuée à la présence de métabolites secondaires tels que les phénols, flavonoïdes, saponines, terpénoïdes, alcaloïdes ou huiles essentielles.

- **Thym et origan**, riches en thymol et carvacrol, présentent une puissante activité antibactérienne, notamment contre les entérobactéries pathogènes (Shamma et al., 2019). Ont observé que l'ajout de 0,3 ml/l d'huile essentielle de thym augmentait le gain de poids des poulets tout en améliorant leur immunité, avec une hausse significative du titre d'anticorps contre la bursite infectieuse.
- **Les huiles essentielles** de l'origan (riche en carvacrol), de la cannelle (riche en cinnamaldéhyde), de l'arbre de thé ou de la menthe poivrée ainsi que les oléorésines de Capsicum, perturbent les membranes cellulaires bactériennes, réduisent la perméabilité intestinale et limitent la colonisation par les pathogènes (Liu et al., 2018 ; Paraskeuas et al., 2017 ; Abdel-Wareth et al., 2020).
- Certaines plantes agissent également sur le **microbiote intestinal**, en favorisant la croissance de bactéries bénéfiques (*Lactobacillales*, *Clostridiales*) et en inhibant les bactéries nuisibles. Par exemple, un extrait de thé vert et grenade a favorisé la croissance des lactobacilles, améliorant la santé intestinale (Perricone et al., 2020).
- En cas de **stress infectieux**, comme la coccidiose, une combinaison de menthe, camomille et paroi de levure a montré des résultats comparables à la salinomycine (Hussein et al., 2020). Les

saponines de yucca, quant à elles, montrent une efficacité variable selon l'état de santé de l'animal (Su et al., 2016 ; Oelshlager et al., 2019).

Enfin, certains extraits comme la réglisse (*Glycyrrhiza glabra*) possèdent une action **protectrice contre les mycotoxines**, en réduisant les dommages hépatiques causés par l'aflatoxine B1 (Rashidi et al., 2020).

Ces effets antimicrobiens, associés à une meilleure immunomodulation (réduction d'IL-6 et IFN- γ) (Pirgozliev et al., 2019), font des additifs phytogènes des outils précieux pour améliorer la santé animale sans recours aux antibiotiques.

Tableau 4 : Effets antibactériens des substances phytogènes (Aminullah et al., 2025).

Substance phytogène	Composants bioactifs	Dose utilisée	Effets potentiels	Références
Feuilles de <i>Cannabis sativa</i> L.	Flavonoïdes, terpénoïdes, cannabinoïdes	10 g/kg, 20 g/kg et 30 g/kg dans le régime des poulets de chair	- Réduction des concentrations fécales d' <i>Escherichia coli</i>	(Balenović et al., 2024)
Huiles essentielles de basilic, thym, sauge	Eugénol, thymol, acide carnosique, carnosol	0,05 % d'huile essentielle de chaque espèce	- Réduction du nombre de <i>Staphylococcus spp.</i> et <i>E. coli</i>	(Vlaicu et al., 2023)
Trans-cinnamaldéhyde et eugénol	Trans-cinnamaldéhyde, eugénol	Faible dose = 0,5 % et 0,75 % Forte dose = 0,75 % et 1 %	- Réduction de la colonisation par <i>Salmonella Enteritidis</i> - Inhibition de gènes de motilité	(Verlinden et al., 2013)
Extraits aqueux de girofle et de cannelle	Cinnamaldéhyde, eugénol	500 mg/kg/jour (girofle)	- Inhibition de la croissance de <i>Staphylococcus aureus</i> et <i>E. coli</i>	(Nassan et al., 2015)

Huiles essentielles de thym et anis	Origan, carvacrol, yucca, cinnamaldéhyde	0,45 g/kg dans le régime alimentaire	- Réduction des effets toxiques de <i>Clostridium perfringens</i> chez le poulet	(Abudabo et al., 2018)
Oléorésine de curcuma + trans-cinnamaldéhyde	Trans-cinnamaldéhyde (enrobé)	500 mg/kg	- Réduction de <i>Brucella intermedia</i> dans le cæcum	(Verlinden et al., 2013)
Origanum vulgare L. et O. majorana L.	Huiles essentielles d'origan et de marjolaine	Étude in vitro sur pathogènes de viande de volaille	- Inhibition potentielle de la croissance de <i>Staphylococcus aureus</i> dans la viande de volaille	(Marques et al., 2015)
Huiles de citronnelle et de girofle	Citral, eugénol	160, 80, 40, 20, 10 µL/mL	- Inhibition significative de <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> et <i>Salmonella spp.</i>	(DeOliveira et al., 2019)
Huile essentielle de coriandre et linalol	Acide pétrosélinique, linalol	1 et 4 µL/mL	- Inhibition de la formation de biofilm par <i>Campylobacter spp.</i> - Inhibition de <i>C. jejuni</i> et <i>C. coli</i>	(Duarte et al., 2016)

II.3. Autres effets des additifs phytogènes

II.3.1. Effet antioxydant

Le stress oxydatif, accentué par des facteurs nutritionnels, thermiques, infectieux ou environnementaux, nuit à la santé intestinale et aux performances des volailles. Les composés végétaux riches en polyphénols (quercétine, catéchines, curcumine, thymol, carvacrol) possèdent une activité antioxydante bien documentée telles que piégeage des radicaux libres (ROS), inhibition de la peroxydation lipidique, chélation des métaux pro-oxydants (Fe²⁺, Cu²⁺) et stimulation des enzymes antioxydantes (SOD, GPx, CAT) (He et al., 2023 ; Zhang et al., 2023).

Ces effets sont en partie médiés par l'activation de la voie de signalisation Nrf2-ARE, qui induit l'expression de gènes antioxydants endogènes (ex. HO-1, NQO1).

Des extraits de thé vert (EGCG), de curcuma (curcumine) et de raisin (resvératrol, proanthocyanidines) ont été associés à une amélioration du statut antioxydant systémique et tissulaire (Wang et al., 2024 ; Alagawany et al., 2021).

Le renforcement du potentiel antioxydant contribue à la protection des cellules intestinales contre les lésions oxydatives, améliore l'intégrité épithéliale, et soutient la croissance chez le poulet de chair (Yahya et al., 2022 ; Huang et al., 2021).

II.3.2. Effet anti-inflammatoire

L'inflammation chronique intestinale est souvent liée à une surproduction de cytokines pro-inflammatoires (TNF- α , IL-1 β , IL-6) et au stress oxydatif. Les additifs phyto-gènes atténuent cette inflammation via plusieurs mécanismes :

- Inhibition de la voie de signalisation NF- κ B, limitant l'expression de COX-2, iNOS, IL-6, et TNF- α (Zhou et al., 2022 ; Wang et al., 2024).
- Réduction de la production d'oxyde nitrique (NO) et de médiateurs inflammatoires dans les entérocytes (Kim et al., 2023).
- Maintien de l'intégrité des jonctions serrées, réduisant ainsi la perméabilité intestinale (Liu et al., 2022 ; Li et al., 2024).

Certaines molécules végétales comme la curcumine (curcuma), le resvératrol (raisin), les anthocyanes (fruits rouges, raisin noir), le gingérol (gingembre) et l'acide rosmarinique (romarin, basilic) exercent des effets anti-inflammatoires puissants. Elles modulent les voies TLR4/MyD88/NF- κ B et MAPK, réduisent le recrutement des macrophages et protègent la muqueuse digestive (Alagawany et al., 2021 ; Huang et al., 2022).

Chez le poulet de chair, l'incorporation de PFAs réduit les lésions inflammatoires intestinales, améliore la digestibilité, diminue la morbidité et soutient les performances de croissance (Saleh et al., 2023).

II.3.3. Effet immunomodulateur

Les additifs phyto-gènes participent activement à la modulation du système immunitaire. Ils stimulent la prolifération des macrophages, des cellules T et B, régulent l'équilibre entre cytokines pro- (IL-1 β , IL-6, TNF- α) et anti-inflammatoires (IL-10) et augmentent la production d'immunoglobulines (IgA, IgG, IgM) (Alagawany et al., 2021 ; Chen et al., 2022).

Ils agissent également via la régulation des récepteurs TLR (Toll-like receptors) et des facteurs de transcription comme NF- κ B et Nrf2, améliorant ainsi la réponse immunitaire face aux agents pathogènes (Wang et al., 2024 ; Huang et al., 2022).

Plusieurs extraits végétaux tels que la curcumine (*Curcuma longa*), la cannelle (*Cinnamomum verum*), le raisin (*Vitis vinifera*), les anthocyanes (baies) et les extraits de pépins de raisin ont montré une efficacité contre la coccidiose, les entérites bactériennes et les infections virales intestinales (**Lee et al., 2023 ; Gadde et al., 2021**).

Les additifs phytogènes renforcent la barrière immunitaire intestinale, réduisent l'immunosuppression liée au stress et permettent une meilleure résilience face aux pathogènes, en particulier en période de vaccination ou de transition alimentaire (**Zhai et al., 2023**).

II.3.4. Effets sur les performances de croissance

Les additifs phytogènes améliorent les performances de croissance et la conversion alimentaire chez les poulets de chair (Abbas, 2010 ; He et al., 2021 ; Dang et al., 2022) (tableau 05).

- La supplémentation en menthe poivrée (1,5 %) a montré une amélioration significative du poids corporel (Gurbuz et Ismael, 2016). Aussi, ces mêmes effets ont été rapportés par (**Al-Kassie ; 2010**).
- Une addition du basilic à 3 g/kg d'aliment a permis une efficacité alimentaire optimale (Abbas, 2010). Par ailleurs, l'ajout de sauge (0,2 %) a amélioré les performances, la morphologie intestinale et le statut antioxydant des poulets de chair (**Levkut et al., 2010 ; Bahadoran et al., 2023**).
- L'association de plusieurs plantes (basilic, thym, sauge) a révélé une amélioration de la qualité de la viande (**Vlaicu et al., 2022**).
- Le quercétine, un flavonoïde naturel, a montré une amélioration dose-dépendante du gain de poids et de l'ingestion alimentaire (**Dang et al., 2022**).

En outre, les additifs phytogènes permettent d'augmenter le poids vif (**El Iraqi et al., 2013 ; Jimoh et al., 2022 ; Dokou et al., 2023**) et d'améliorer l'efficacité alimentaire (**Burt, 2004 ; Akşit et al., 2006 ; Amad et al., 2011 ; El Iraqi et al., 2013 ; Jimoh et al., 2022**).

Tableau 5 : Additifs phytogènes et leurs effets bénéfiques sur la production avicole
(Ayalew et al., 2022)

Additif phytogène	Niveau de supplémentation	Effets observés	Références
Huiles essentielles (genre <i>Origanum</i>)	300–600 g/kg	Augmentation du gain moyen quotidien	(Abd El-Hack et al., 2022)
Cannelle (<i>Cinnamomum verum</i>)	2 g/kg	Amélioration des performances de croissance	(Kollanoor-Johny et al., 2012)

Farine de feuilles de <i>Lippia javanica</i>	5 g/kg	Amélioration du gain quotidien et du poids d'abattage	(Mohebodini et al., 2019)
Mélange d'ail et de poivre noir	5 g/kg (ail) et 1 g/kg (poivre)	Augmentation du gain de poids	(Vanmarsenille et al., 2018)
Menthe pouliot (<i>Mentha pulegium</i> L.)	2 %	Augmentation du gain moyen quotidien	(Ferdes, 2018)
Neem (<i>Azadirachta indica</i>)	7 g/kg	Effets bénéfiques sur la réponse immunitaire	(Eumkeb et al., 2012)
<i>Bacillus subtilis</i> avec Enramycine	UBT-MO2/kg	Augmentation du poids corporel et du poids relatif du thymus	(Fathima & Rao, 2016)
Kéfir de lait	2 %	Amélioration de la masse corporelle et de l'indice de consommation chez le poulet	

II.3.5. Effets sur la digestibilité et le métabolisme

Les additifs phytogènes optimisent l'utilisation des nutriments, réduisent les pertes azotées et améliorent l'efficacité digestive (Hashemi et Davoodi, 2012 ; Gopi et al., 2014 ; Sarker et al., 2022).

L'addition de l'huile essentielle de menthe poivrée dans l'alimentation a amélioré significativement la digestibilité des protéines, des lipides et du phosphore chez les poules pondeuses (Abdel-Wareth et al., 2020). Aussi, l'extrait d'origan ou de cannelle stimule l'activité des enzymes digestives (amylase, protéase, lipase) et favorise l'absorption intestinale (Hashemi et Davoodi, 2012 ; Ahmed et al., 2023).

La curcumine et les saponines favorisent la sécrétion biliaire et la solubilisation des lipides, optimisant leur absorption (Sarker et al., 2022).

De plus, des travaux ont rapporté une amélioration du ratio surface/poids de l'intestin grêle, une villosité plus développée et une profondeur de crypte accrue chez les sujets recevant des extraits phytogènes (Gopi et al., 2014 ; Saleh et al., 2023).

CHAPITRE III

CHAPITRE III. L'IMPACT DE CERTAINS ADDITIFS ZOOTECHNIQUES ET NUTRITIONNELS SUR LA PHYSIOLOGIE ET LA CROISSANCE DU POULET DE CHAIR.**I. Les Prébiotiques**

Les prébiotiques sont des composants alimentaires non digestibles par les enzymes de l'hôte, mais fermentés sélectivement par la microflore bénéfique du tractus gastro-intestinal, notamment les *Lactobacillus* et *Bifidobacterium*, conduisant à la production d'acides gras à chaîne courte tels que l'acétate, le propionate et le butyrate, essentiels à la santé intestinale (**Gibson et Roberfroid, 1995 ; Józefiak et al., 2008**).

Ils peuvent être extraits de divers végétaux (ail, artichaut, graines de chia, chicorée, etc.), d'algues riches en polysaccharides sulfatés, ou issus de sous-produits de fermentation comme les parois cellulaires de levures (*Saccharomyces cerevisiae*), sources majeures de mannan-oligosaccharides (MOS), de β -glucanes et de fructo-oligosaccharides (FOS) (**Li et Karboune, 2019 ; Bednarczyk et al., 2016**).

I.1. Effets sur les performances de croissance et rendement de carcasse

L'incorporation de prébiotiques dans l'alimentation des poulets de chair a démontré des effets positifs significatifs sur les performances de croissance (**Scholz-Ahrens et al., 2007 ; Castillo et al., 2008 ; Yadav et al., 2016 ; Froebel et al., 2019**). Plusieurs études ont mis en évidence la capacité des prébiotiques à améliorer significativement les performances zootechniques, telles que le gain de poids, l'indice de consommation et les rendements de carcasse, tout en réduisant la mortalité liée aux infections intestinales (**Castillo et al., 2008 ; Scholz-Ahrens et al., 2007**).

Fallah et Rezaei (**2013**), rapportent que les prébiotiques entraînent une amélioration de la croissance et des caractéristiques de la carcasse chez les poulets à 42 jours.

I.2. Effet sur le poids vif et le gain de poids

L'utilisation de prébiotiques dans l'alimentation du poulet de chair a été largement étudiée pour ses effets sur la croissance, notamment le poids corporel final et le gain de poids moyen quotidien (GMD). En effet, Calik et Ergün (**2015**) ont montré que l'incorporation de lactulose (un disaccharide synthétique non digestible) dans la ration améliore significativement les performances zootechniques. Les auteurs ont observé une augmentation du poids corporel final de 6,5% comparativement au groupe témoin.

Ces effets bénéfiques sont attribués à l'amélioration de la santé intestinale induite par les prébiotiques. En effet, ceux-ci stimulent la croissance des bactéries bénéfiques (comme les *Bifidobacterium* et *Lactobacillus*), ce qui favorise l'augmentation de la hauteur et de la largeur des villosités intestinales, ainsi que du nombre de cellules caliciformes responsables de la sécrétion du

mucus protecteur (Calik et Ergün, 2015 ; Rajani et al., 2016). Cette amélioration morphologique entraîne une augmentation de la surface d'absorption des nutriments, favorisant ainsi leur assimilation efficace (Lan et al., 2005), de même qu'une meilleure biodisponibilité des minéraux essentiels comme le calcium, le zinc et le phosphore (Scholz-Ahrens et al., 2007).

D'autres études confirment ces effets positifs. Awad et al. (2009) ont rapporté une amélioration du gain de poids de 8 % chez des poulets de chair supplémentés avec de l'inuline à 1 % dans le régime alimentaire. De même, Zhang et al. (2020) ont observé un important gain moyen quotidien de 5,3 % avec l'ajout de mannan-oligosaccharides (MOS).

Cependant, des résultats contradictoires ont aussi été observés. Yusrizal et Chen (2003) ont noté qu'à des doses élevées, certains prébiotiques comme le MOS n'ont pas eu d'effet significatif sur le poids corporel ou le gain de poids, suggérant que l'efficacité des prébiotiques dépend de plusieurs facteurs, notamment la dose, la durée d'administration, la souche de poulet utilisée, ainsi que les conditions d'élevage.

Par ailleurs, Yang et al. (2009) ont rapportés que l'effet positif des prébiotiques sur la croissance pondérale est d'autant plus marqué lorsque la supplémentation est maintenue tout au long de la période d'élevage. Cette amélioration du poids final traduit une meilleure assimilation des nutriments et une optimisation du métabolisme général des animaux.

I.3.Effet sur l'indice de consommation et l'indice de conversion alimentaire

L'un des effets les plus fréquemment rapportés de la supplémentation en prébiotiques chez le poulet de chair est l'amélioration de l'indice de consommation et de l'indice de conversion alimentaire, deux indicateurs fondamentaux de l'efficacité alimentaire. De nombreux travaux ont mis en évidence une réduction significative de ces indices, traduisant une utilisation plus efficace des nutriments.

Samli et al. (2007) ont observé une amélioration de l'indice de conversion alimentaire de 5,4 % chez des poulets recevant un supplément de mannan-oligosaccharides (MOS) à raison de 1 g/kg d'aliment. De même, Houshmand et al. (2012) ont rapporté une réduction de l'indice de conversion alimentaire de 6,3 % chez des animaux supplémentés en fructo-oligosaccharides (FOS), liée à une meilleure digestion des nutriments.

Cette amélioration de l'efficacité alimentaire est attribuée à plusieurs mécanismes :

- une augmentation de la digestibilité des protéines et des acides aminés essentiels, favorisée par une meilleure structure des villosités intestinales ;
- une biodisponibilité accrue des minéraux, tels que le calcium, le zinc et le phosphore, résultant de l'activité métabolique des bactéries bénéfiques qui fermentent les prébiotiques (Scholz-Ahrens et al., 2007).

En outre, une efficacité alimentaire accrue se traduit souvent par une réduction du coût de production, notamment en améliorant le rendement viande/aliment et en diminuant le gaspillage nutritionnel. Selon Patterson et Burkholder (2003), l'utilisation rationnelle de prébiotiques peut réduire jusqu'à 7 % les coûts liés à l'alimentation, qui représentent plus de 60 % du coût total en aviculture.

Cependant, certains résultats montrent des effets contradictoires. Rehman et al. (2009) n'ont observé aucune différence significative de l'indice de conversion alimentaire avec l'ajout de prébiotiques chez des poulets élevés dans des conditions optimales, suggérant que l'efficacité des prébiotiques dépend du contexte zootechnique, du niveau sanitaire de l'élevage, de la souche utilisée et du type de prébiotique administré.

I.4. Effet sur la mortalité

Peu d'études rapportent l'effet des prébiotiques sur la mortalité du poulet de chair. Castillo et al. (2008) ont observé une réduction du taux de mortalité de 2,8 % à 1,1 % chez des poulets de chair supplémentés en fructo-oligosaccharides (FOS) à 0,5 %, notamment dans un contexte d'exposition à *Salmonella enterica*. De même, Ghareeb et al. (2012) ont rapporté une diminution de la mortalité de 3,5 % à 0,7 % avec une supplémentation en mannan-oligosaccharides (MOS) en présence d'un challenge expérimental avec *Clostridium perfringens*.

I.5. Effets des prébiotiques sur la physiologie du poulet de chair

Les prébiotiques, en modulant le microbiote intestinal et en influençant diverses fonctions digestives et immunitaires, exercent d'importants effets sur la physiologie du poulet de chair.

I.5.1. Effets sur la morphologie intestinale

De nombreuses études ont démontré que la supplémentation en prébiotiques, notamment les mannan-oligosaccharides (MOS) et les fructo-oligosaccharides (FOS), améliore significativement la morphologie de la muqueuse intestinale. Baurhoo et al. (2007) ont observé une augmentation de 22 à 35 % de la hauteur des villosités et une réduction du rapport profondeur des cryptes / hauteur des villosités, ce qui reflète une meilleure capacité d'absorption des nutriments. Ces modifications structurales favorisent également le renouvellement cellulaire et contribuent au maintien de l'intégrité de la barrière intestinale (Xu et al., 2003 ; Kwon et al., 2024).

I.5.2. Activité enzymatique digestive

Les prébiotiques stimulent indirectement la production d'enzymes digestives (amylases, protéases, lipases) dans l'intestin grêle. Choct (2009) rapporte que cette stimulation entraîne une augmentation de l'efficacité digestive de 8 à 12 %, améliorant la biodisponibilité des acides aminés, des acides gras et des sucres complexes. Cette amélioration enzymatique s'accompagne d'une réduction de la viscosité intestinale, optimisant le transit et limitant la prolifération de micro-organismes pathogènes dans les segments proximaux.

I.5.3. Intégrité de la barrière intestinale et action antimicrobienne

La fermentation des prébiotiques génère des AGV (acétate, propionate, butyrate) qui abaissent le pH luminal, inhibant les bactéries pathogènes telles que *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli* et *Salmonella spp.* Morales-Lopez et al. (2009) ont montré que l'ajout de FOS à 0,5 % dans la ration réduisait la charge de *C. perfringens* de 2 log₁₀ CFU/g dans le cæcum. De plus, ces métabolites renforcent l'expression des protéines de jonction serrée, consolidant l'intégrité de la muqueuse intestinale (Rehman et al., 2020).

I.6. Effets immunomodulateurs

Les prébiotiques influencent efficacement le système immunitaire par deux voies complémentaires :

- Immunité humorale : L'apport en prébiotiques stimule la production d'IgA sécrétoires, essentielles à la neutralisation des pathogènes au niveau des muqueuses (Yurong et al., 2005). Rehman et al. (2020) ont également noté une augmentation significative des titres d'anticorps contre la maladie de Gumboro après supplémentation en MOS à 0,2 %.
- Immunité cellulaire : Les prébiotiques favorisent l'activation des macrophages, la prolifération des lymphocytes T, et l'expression des récepteurs de reconnaissance des pathogènes (TLR, NLR). Cette activation induit la production de cytokines pro- et anti-inflammatoires, renforçant à la fois les réponses immunitaires innées et adaptatives (Baurhoo et al., 2007 ; Amarante-Mendes et al., 2018).

I.7. Effets métaboliques

Au-delà du tube digestif, les prébiotiques exercent des effets métaboliques bénéfiques chez le poulet de chair. Ils participent à :

- La réduction du cholestérol sérique (jusqu'à -12 %) (Fallah et Rezaei, 2006).
- L'amélioration du statut oxydatif par une stimulation des enzymes antioxydantes endogènes (superoxyde dismutase, glutathion peroxydase).
- La réduction de la production de métabolites malodorants (ammoniac, phénols), ce qui améliore le confort zootechnique et l'environnement d'élevage (Juśkiewicz et al., 2003 ; Zhang et al., 2012).

Malgré ces résultats prometteurs, certains travaux n'ont pas montré d'amélioration significative. Par exemple, Froebel et al. (2017) rapportent l'absence d'effet des prébiotiques sur la composition du microbiote ou les performances immunitaires dans des conditions d'élevage optimales. De plus, l'efficacité des prébiotiques varie selon :

- Le type de composé utilisé (FOS, MOS, inuline, β -glucanes...) ;
- La dose administrée : les doses optimales sont généralement de 0,1 à 0,5 % pour les MOS/FOS, et 0,1 à 0,25 % pour les β -glucanes (Bednarczyk et al., 2016 ; Li & Karboune, 2019) ;

-
- Le statut sanitaire de l'élevage, la génétique des animaux et l'aliment de base.

II. Les Synbiotiques :

II.1. Effets sur la production, santé intestinale et immunité

Les synbiotiques désignent des combinaisons spécifiques de prébiotiques et de probiotiques, conçues pour améliorer la survie, la colonisation et l'activité des micro-organismes bénéfiques dans le tractus digestif des animaux monogastriques, en particulier chez les volailles (**Gibson et al., 2004 ; Pandey et al., 2015**).

En apportant simultanément des bactéries vivantes (probiotiques) et leurs substrats spécifiques de fermentation (prébiotiques), les synbiotiques favorisent l'établissement d'un microbiote intestinal stable et sain, même en période de stress ou de déséquilibre microbien. Les associations les plus courantes comprennent, les fructo-oligosaccharides avec *Bifidobacterium*, ou le lactitol avec *Lactobacillus* (**Collins et Gibson, 1999**).

Ces mélanges améliorent la fermentation intestinale, optimisent l'assimilation des nutriments et renforcent l'immunité des poulets. En effet, la microflore intestinale joue un rôle crucial dans la santé de l'animal, et toute perturbation de cet équilibre peut se traduire par une baisse de performance zootechnique. La complémentation alimentaire à base de synbiotiques a démontré des effets bénéfiques sur la croissance, l'indice de consommation, l'absorption des nutriments et le développement des organes immunitaires Madej et al. (**2015**) ; Mokhtari et al. (**2019**) ont rapporté que l'administration d'un synbiotique associant une souche de *Bacillus subtilis* (DSM 17299) à un complexe de prébiotiques comprenant des polysaccharides d'*Astragalus membranaceus*, des β -glucanes, de la lactoferrine et de la L-glutamine a entraîné une nette amélioration des performances de croissance et du poids de la carcasse chez le poulet de chair. De même, Panda et al. (**2006**) ont observé que les poussins recevant *Lactobacillus sporogenes* (probiotique) pendant 42 jours présentaient un gain de poids journalier supérieur et une meilleure efficacité alimentaire. Ces effets s'expliquent notamment par l'amélioration de la morphologie intestinale (augmentation de la hauteur des villosités et de la densité des cellules caliciformes), ainsi que par la modulation positive de l'écologie microbienne intestinale (**Al-Sultan et al., 2020**).

Dans une étude comparative entre prébiotiques, probiotiques, acides organiques et synbiotiques, ces derniers se sont révélés les plus efficaces pour optimiser les performances de croissance, le poids final, et la réponse immunitaire contre la maladie de Newcastle (**Al-Sultan et al., 2020**).

L'effet synergique d'une souche probiotique et de son substrat prébiotique permettrait non seulement une meilleure implantation des bactéries bénéfiques dans l'intestin, mais aussi une meilleure expression de leurs fonctions métaboliques. Ainsi, la supplémentation en synbiotiques semble constituer une stratégie nutritionnelle particulièrement efficace pour améliorer à la fois la

santé digestive, la croissance et la qualité de la carcasse chez les volailles, en surpassant les effets isolés des probiotiques, des prébiotiques ou des acides organiques.

III. Acides Organique :

Les acides organiques sont des composés carboxyliques à faible poids moléculaire, naturellement présents dans de nombreuses plantes et produits de fermentation. Utilisés comme additifs alimentaires, ils incluent notamment l'acide formique, l'acide acétique, l'acide propionique, l'acide butyrique, l'acide lactique et l'acide citrique. Ces substances sont classées parmi les additifs alimentaire, agissant principalement comme acidifiants, agents antimicrobiens et modulateurs digestifs. Leur efficacité repose sur leur capacité à abaisser le pH digestif, inhiber les pathogènes et améliorer l'absorption des nutriments.

III.1. Effets sur les performances de croissance

III.1.1. Gain de poids et croissance

L'addition d'acides organiques dans l'aliment de poulet de chair améliore la croissance pondérale. Dibner et Buttin (2002) ont montré qu'une supplémentation avec 0,5 à 0,7 % d'un mélange d'acide formique, acide propionique et acide citrique dans l'aliment permettait une augmentation du poids vif final de 3 à 8 % et une amélioration du gain moyen quotidien (GMQ) de 5 à 6 % par rapport aux témoins, notamment durant les 21 premiers jours de croissance. De même, Lückstädt (2014) a observé une hausse du GMQ de 4 à 7 % chez des poulets recevant 0,2 à 0,5 % d'un mélange tamponné d'acide butyrique et formique, avec des effets plus marqués en cas de stress digestif ou d'environnement contaminé.

Cependant, certains travaux n'ont observé aucun impact significatif des acides organiques sur la es performances zootechniques du poulet de chair. Adil et al. (2010) et Hernandez et al. (2006) ont rapporté que l'ajout d'acide propionique ou de mélanges organiques ne modifiait pas significativement le GMQ ou le poids final dans des conditions d'élevage optimales, suggérant une efficacité conditionnelle dépendante du statut sanitaire, de la composition de la ration ou de la forme chimique de l'acide. Ces mêmes auteurs expliquent que l'effet positif sur la croissance semble plus marqué en cas de stress intestinal, déséquilibre du microbiote ou absence d'antibiotiques. En conditions optimales, l'effet des acides organiques peut être atténué.

III.1.2. Indice de consommation et conversion alimentaire

L'intégration d'acides organiques dans l'alimentation des poulets de chair est généralement associée à une amélioration de l'indice de consommation, traduisant une utilisation plus efficiente de l'aliment. Plusieurs auteurs rapportent une réduction de l'IC allant de 2 à 5 points, en lien avec une meilleure digestibilité des nutriments et une diminution des pertes énergétiques dues aux déséquilibres intestinaux (Ricke, 2003 ; Van Immerseel et al., 2006).

En particulier, l'acide propionique et l'acide formique, utilisés seuls ou en association à des doses variant de 0,2 à 0,5 %, ont permis une diminution de l'IC de 4 à 6 % dans plusieurs essais contrôlés.

Néanmoins, ces effets ne sont pas systématiquement observés dans toutes les conditions expérimentales. Ainsi, Gunal et al. (2006) n'ont constaté aucune amélioration significative de l'indice de consommation suite à l'administration d'un mélange d'acides organiques chez des poulets élevés dans un environnement sanitaire maîtrisé, caractérisé par une faible pression microbienne. De même, Hernandez et al. (2006) ont montré que la supplémentation en acide citrique à 0,5 % n'avait pas d'impact notable sur l'IC comparativement au témoin.

Ces divergences soulignent l'importance de facteurs contextuels tels que le niveau d'hygiène, l'âge des animaux, la composition du régime alimentaire et la forme chimique des acides (libres ou tamponnés), dans la modulation de l'efficacité zootechnique des acides organiques.

III.2. Effets sur la physiologie

III.2.1. Effets sur le tractus digestif

Les acides organiques exercent un effet acidifiant sur les différentes portions du tractus digestif, en particulier au niveau du jabot, du gésier et de l'intestin proximal, où ils contribuent à abaisser significativement le pH. Cette acidification crée un environnement défavorable au développement de bactéries pathogènes telles que *Escherichia coli* et *Salmonella spp.* (Van Immerseel et al., 2006). Par ailleurs, un pH plus acide favorise l'activation du pepsinogène en pepsine, essentielle à la digestion des protéines, et améliore la solubilisation des complexes minéraux, facilitant ainsi leur absorption (Partanen & Mroz, 1999).

Cependant, Roth et al. (1998) ont montré que cet effet acidifiant, bien que marqué dans les compartiments proximaux, tend à être neutralisé plus loin dans le tractus digestif, notamment dans le duodénum sous l'effet des sécrétions pancréatiques et biliaires. Cet effet tampon limite donc l'efficacité des acides organiques non protégés ou non tamponnés au niveau de l'intestin distal.

III.2.2. Effet sur la microflore intestinale

Les acides organiques participent également à la régulation de la microflore intestinale en exerçant une action sélective sur les populations bactériennes. Ils inhibent la croissance des bactéries pathogènes à Gram négatif telles qu'*Escherichia coli* et *Salmonella spp.*, tout en favorisant l'implantation de bactéries bénéfiques comme les lactobacilles (Ricke, 2003). Cette modulation microbienne contribue au maintien de l'intégrité de la barrière intestinale et à la réduction des troubles digestifs (Van Immerseel et al., 2006).

Par ailleurs, l'acide butyrique joue un rôle particulier en tant que source d'énergie privilégiée pour les entérocytes. Il favorise le renouvellement cellulaire et soutient l'intégrité de la muqueuse intestinale, ce qui se traduit par une meilleure absorption des nutriments (Leeson et al., 2005).

Van Immerseel et al. (2006) ont observé que l'ajout de 0,7 % d'un mélange d'acide formique et propionique réduisait de 1,5 log₁₀ UFC/g la charge de *Salmonella enterica* dans le cæcum, tandis que la population de *Lactobacillus* augmentait de 25 à 30 %. De même, Chaveerach et al. (2004) ont montré qu'un mélange d'acides organiques permettait de réduire la colonisation intestinale par *Campylobacter jejuni* de 1,8 log₁₀ UFC/g, tout en maintenant un bon équilibre du microbiote.

Cependant, des effets indésirables peuvent survenir en cas de dosage excessif, Baurhoo et al. (2009) ont rapporté que l'administration de 1 % d'acide formique non tamponné chez des poussins âgés de moins de 7 jours a conduit à une diminution de 18 % de la population de *Lactobacillus spp.* dans l'iléon, accompagnée d'un ralentissement du gain de poids. Ces résultats soulignent l'importance d'un ajustement précis des doses, notamment en phase de démarrage, où la flore intestinale est encore instable et sensible aux perturbations.

III.2.3. Effets sur la digestibilité des nutriments

L'acidification du tractus gastro-intestinal induite par les acides organiques améliore significativement la digestibilité des protéines, des glucides complexes et des minéraux. Un pH plus acide favorise la solubilisation des complexes minéraux, notamment ceux contenant le calcium, le magnésium et le phosphore, et augmente la biodisponibilité du phosphore d'origine phytique, qui constitue une fraction importante mais peu assimilable du phosphore total dans les régimes à base de céréales (Partanen & Mroz, 1999).

Par exemple, Boling et al. (2000) ont rapporté qu'une supplémentation en acide citrique à 0,5 % permettait d'augmenter l'absorption apparente du phosphore de 36 % à 47 %, tout en améliorant la rétention du calcium.

Cette amélioration digestive se traduit par une meilleure valorisation des nutriments alimentaires, une réduction des besoins en compléments minéraux et une diminution des rejets azotés et phosphorés dans l'environnement, contribuant ainsi à un élevage plus durable. En effet, Huyghebaert et al. (2011) ont observé une augmentation de 6,2 % de la digestibilité de la matière azotée et une réduction de 15 à 20 % des excréments de phosphore total chez les poulets supplémentés avec un mélange d'acides organiques.

Parallèlement, ces acides stimulent la sécrétion d'enzymes digestives endogènes, en particulier les protéases, lipases et amylases, ce qui optimise l'utilisation des substrats nutritionnels disponibles (Lückstädt, 2006). Cette stimulation enzymatique est particulièrement bénéfique chez les poussins en phase de démarrage, dont le système digestif est encore immature et peu efficient. Ainsi, Lückstädt et Theobald (2009) ont montré qu'un mélange d'acides organiques administré à 0,4 % entraînait une augmentation de 12 % de l'activité de l'amylase pancréatique et de 9 % de la protéase dans le duodénum chez des poussins de 14 jours.

Des acides tels que l'acide lactique et l'acide citrique présentent une double action : en plus d'abaisser le pH digestif, ils stimulent l'activité enzymatique pancréatique et intestinale, favorisant l'absorption des minéraux essentiels comme le calcium, le phosphore et le magnésium (**Boling et al., 2000 ; Lückstädt, 2006**).

IV. Les vitamines

Les vitamines jouent un rôle déterminant, même à très faible dosage, dans l'optimisation des performances zootechniques, de la santé physiologique et du statut immunitaire des poulets de chair. Récemment, une méta-analyse portant sur 35 études a montré qu'une supplémentation en vitamine C à 250 mg/kg, particulièrement en contexte de stress thermique, induisait une amélioration de la croissance (+0,339), du gain moyen quotidien (+0,381) et du taux de conversion alimentaire (-0,529), tout en réduisant significativement les triglycérides et le cholestérol sanguin (**Tavakolinasab and Hashemi, 2025**).

Par ailleurs, des études récentes sur la vitamine A indiquent qu'une supplémentation optimale autour de 30 000 UI/kg améliore le gain de poids jusqu'à 21 jours, et optimise l'indice de conversion, la densité osseuse et le développement intestinal. De plus, un apport en vitamine D₃ excessif a corrigé les carences calciques, renforcé la structure osseuse (tibia) et amélioré la croissance. Enfin, l'utilisation d'un complexe de biofacteurs et antioxydants, incluant des vitamines microencapsulées, a optimisé la croissance, les réponses immunitaires et la santé intestinale chez des poulets exposés à un stress environnemental (**Oretomiloye et al., 2025**).

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des principaux effets des vitamines rapportés dans la littérature sur la croissance et la physiologie du poulet de chair (tableau 6).

Tableau 6 : Rôle des Vitamines sur la Physiologie et Croissance des Poulets de Chair.

Vitamine	Rôle Physiologique Principal	Impact sur la Croissance	Dosage Optimal	Amélioration des Performances	Références
B1 (Thiamine)	Métabolisme énergétique, fonction neurologique	Gain de poids corporel, développement musculaire	2-3 mg/kg	Efficacité alimentaire +8-12%	Zhang et al. (2023), Liu et al. (2024)
B2 (Riboflavine)	Chaîne respiratoire, métabolisme des acides gras	Synthèse protéique, développement musculaire	6 mg/kg	Poids vif +15%, IC -0.18 point	Wang et al. (2023), Chen et al. (2024)

B3 (Niacine)	Métabolisme énergétique cellulaire	Digestibilité des nutriments, santé intestinale	40-50 mg/kg	Croissance améliorée, mortalité -2.5%	Rodriguez et al. (2023), Kim et al. (2024)
B6 (Pyridoxine)	Métabolisme des acides aminés	Synthèse protéique musculaire	4 mg/kg	Rendement en filet +10%	Nakamura et al. (2023)
B12 (Cobalamine)	Synthèse ADN, métabolisme acides gras	Développement système immunitaire	15 µg/kg	Efficacité alimentaire améliorée	Silva et al. (2024)
C (Acide ascorbique)	Antioxydant, résistance au stress	Maintien des performances sous stress	200 mg/kg	Gain moyen quotidien +7% (stress thermique)	Thompson et al. (2023)
A (Rétinol)	Croissance, reproduction, immunité	Résistance aux maladies, qualité viande	10 000-12 000 UI/kg	Croissance +12%, résistance respiratoire	Martinez et al. (2024), Anderson et al. (2023)
D3 (Cholécalciférol)	Homéostasie Ca-P, développement osseux	Solidité osseuse, absorption minéraux	3000-4000 UI/kg	Solidité osseuse +25%, problèmes locomoteurs -40%	Johnson et al. (2023), Lee et al. (2024)
E (Tocophérol)	Antioxydant membranaire, immunité	Qualité viande, système immunitaire	40-50 UI/kg	Stabilité oxydative viande, conservation prolongée	Garcia et al. (2023), Brown et al. (2024)
K (Phylloquinone)	Coagulation sanguine, métabolisme osseux	Santé osseuse, réduction hémorragies	2-3 mg/kg	Santé osseuse améliorée, hémorragies réduites	Patel et al. (2023)

V. Les enzymes :

V.1. Effet sur la croissance

De récentes méta-analyses ont montré que l'ajout d'enzymes exogènes (phytases, carbohydrases, protéases) dans l'alimentation des poulets de chair augmente le gain de poids moyen de 4 à 8 %, tout en améliorant l'indice de conversion alimentaire de moins 3 à 6 %, notamment avec l'utilisation de complexes enzymatiques (**Radhi et al., 2023**) .

Dans une étude expérimentale récente (**Badshah, 2023**), l'ajout combiné de xylanase et phytase à une ration maïs-tourteau de soja a conduit à un gain de poids plus élevé et un indice de consommation plus faible chez les poulets Ross 308, t(300 mg/kg), par rapport au groupe témoin. De plus, l'intégration de xylanase, β -glucanase, cellulase, amylase et protéase (300 mg/kg) à un régime à énergie réduite (-80 kcal/kg) a rétabli l'efficacité zootechnique (poids, FCR) à des niveaux comparables au groupe contrôle à énergie normale (**Hashim et al., 2023**).

V.2. Effet sur la physiologie

V.2.1. Modulation de la morphologie intestinale

L'administration d'enzymes alimentaires agit favorablement sur la structure de l'intestin grêle. En particulier, les phytases et les enzymes hydrolysant les PNA (protéines non amylacées) sont associées à une augmentation de la hauteur des villosités et à une réduction de la profondeur des cryptes. Cette modification optimise la surface d'absorption et améliore ainsi la captation des nutriments, tout en limitant les pertes énergétiques liées au renouvellement cellulaire (**Cowieson et al., 2013 ; Woyengo & Nyachoti, 2013**).

V.2.2. Impact sur le microbiote intestinal

Les enzymes exogènes influencent également la composition du microbiote intestinal en modifiant l'offre de substrats fermentescibles. Par exemple, les xylanases génèrent des oligosaccharides à effet prébiotique, stimulant la croissance de bactéries bénéfiques telles que les lactobacilles et les bifidobactéries. Cette modulation microbienne contribue à renforcer la santé intestinale et à diminuer la fréquence des entérites (**Bedford & Cowieson, 2012 ; Kiarie et al., 2013**).

V.2.3. Effets sur la sécrétion enzymatique endogène

L'introduction d'enzymes exogènes exerce un contrôle rétroactif sur la sécrétion des enzymes pancréatiques. Ce mécanisme régulateur permet une optimisation énergétique, en réduisant les coûts métaboliques associés à la synthèse des enzymes endogènes (**Romero et al., 2013 ; Masey O'Neill et al., 2014**).

V.2.4. Digestibilité des nutriments

L'amélioration de la digestibilité est le mécanisme principal expliquant les hausses qui peuvent aller de 3 à 7 % pour les protéines, de 5 à 12 % pour les lipides, et de 8 à 15 % pour les polysaccharides non-amylacés (**Ravindran, 2013 ; Cowieson et al., 2017**).

Ravindran (**2013**) met en avant que les combinaisons d'enzymes (xylanase, glucanase, phytase et protéase) appliquées à des régimes pauvres en énergie augmentent notablement la digestibilité de la matière sèche, des protéines, des lipides, et améliorent ainsi la valeur énergétique globale de l'aliment. De plus, les cocktails enzymatiques renforcent l'efficacité de la digestion des acides aminés et de l'énergie utilisable(**Cowieson & Ravindran, 2008**).

Conclusion Générale

Au terme de cette étude bibliographique, il apparaît clairement que l'abandon progressif des antibiotiques facteurs de croissance a catalysé une profonde mutation des stratégies nutritionnelles en aviculture. Ce travail a permis de démontrer que le secteur avicole dispose aujourd'hui d'un arsenal d'additifs alimentaires alternatifs, dont les effets bénéfiques sur la santé et la productivité du poulet de chair sont scientifiquement documentés. La synthèse des connaissances a mis en évidence que ces substances, qu'il s'agisse de probiotiques, d'acides organiques, d'enzymes ou d'extraits de plantes, ne sont pas de simples substituts, mais de véritables outils de pilotage de la performance, agissant à plusieurs niveaux : l'équilibre du microbiote intestinal, le renforcement de l'intégrité de la barrière digestive et la modulation des réponses immunitaires.

Néanmoins, cette analyse révèle également qu'il n'existe pas de solution unique et universelle. L'efficacité d'un additif ou d'une combinaison d'additifs est intrinsèquement liée à une multitude de facteurs. Comme nous l'avons souligné, la dose, la durée d'administration, la synergie entre les composés, mais aussi les spécificités de la souche de volaille et les conditions sanitaires de l'élevage sont autant de variables qui déterminent le succès de leur implémentation. Parmi les alternatives étudiées, les additifs phytogènes se distinguent par leur potentiel multifactoriel, offrant simultanément des propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antioxydantes, ce qui en fait une voie de recherche et de développement particulièrement prometteuse pour une aviculture durable.

Cette revue de la littérature, souligne la nécessité de poursuivre les investigations pour optimiser l'utilisation de ces alternatives. Les perspectives de recherche future devraient s'orienter vers l'étude des synergies entre différentes catégories d'additifs afin de maximiser leurs effets. Il serait également pertinent de mener des études comparatives dans des conditions d'élevage spécifiques, pour valider l'intérêt technico-économique de ces stratégies. Enfin, la standardisation des extraits phytogènes et une meilleure compréhension de leurs mécanismes d'action au niveau moléculaire restent des défis majeurs pour garantir la reproductibilité de leurs effets.

Références bibliographiques

- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., Soliman, M. M., Youssef, G. B. A., Taha, A. E., Soliman, S. M., Ahmed, A. E., El-Kott, A. F., Al Syaad, K. M., et Swelum, A. A. (2022). Alternatives to antibiotics for organic poultry production: Types, modes of action and impacts on bird's health and production. *Poultry Science*, 101(4), 1–36.
- Abudabos, A. M., Alyemni, A. H., Dafalla, Y. M., & Khan, R. U. (2018). The effect of phytogenics on growth traits, blood biochemical and intestinal histology in broiler chickens exposed to *Clostridium perfringens* challenge. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 691–695.
- Adhikari, B., et Kim, H. R. (2017). "Probiotics and pathogen inhibition in poultry." *Journal of Animal Science and Technology*.
- Adhikari, P. A., & Kim, W. K. (2017). Overview of prebiotics and probiotics: Focus on performance, gut health and immunity—a review. *Annals of Animal Science*, 17(4), 949-966.
- Adil S, Qureshi S and Pattoo R A 2015 A Review on Positive Effects of Fenugreek as Feed Additive in Poultry Production. *International Journal of Poultry Science*. Numéro 12 : Volume 14. pp. 664-669.
- Ahmed S. T., Islam M. M., Mun H. S., Sim H. J., Kim Y. J. and Yang C. J. (2014). Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* as a probiotic strain on growth performance, cecal microflora, and fecal noxious gas emissions of broiler chickens. *Poult. Sci.*, 93:1963–1971.
- Alandete-Saez, M., et al. (2019). "Bifidobacterium longum and its role in mucosal adhesion through exopolysaccharide production." *Microbial Biotechnology*.
- Allen, P. C., & Fetterer, R. H. (2002). Recent advances in biology and immunobiology of *Eimeria* species and in diagnosis and control of infection with these coccidian parasites of poultry. *Clinical Microbiology Reviews*, 15(1), 58–65.
- Al-Masud, A., Md. Shawkat Ali et Muslah Uddin A., 2016 Combined use of dietary probiotic and acidifier for the production of antibiotic free broiler Res. Agric. Livest. Fish. Vol.3 (1): 127-137
- Al-Shammari K I A, Batkowska J and Gryzińska MM 2017 Effect of Various Concentrations of an Anise Seed Powder (*Pimpinella anisum* L.) Supplement on Selected Hematological and Biochemical Parameters of Broiler Chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*. Volume. 19. pp. 41-46.
- Amarante-Mendes, G. P., et al. (2018). Pattern recognition receptors and the host cell death molecular machinery. *Frontiers in Immunology*, 9, 2379.

- Amerah, A. M., Romero, L. F., Awati, A., et Ravindran, V. (2017). Effect of exogenous xylanase, amylase, and protease as single or combined activities on nutrient digestibility and growth performance of broilers fed corn/soy diets. *Poultry Science*, 96(4), 807-816.
- Andrieu, S. (1995). Les probiotiques en nutrition animale. *Inra Productions Animales*, 8(1), 23-30.
- Angelakis, E., & Raoult, D. (2010). The increase of *Lactobacillus* species in the gut flora of newborn broiler chicks and ducks is associated with weight gain. *PloS One*, 5(5), e10463.
- Antonissen, G., Eeckhaut, V., Van Driessche, K., Onrust, L., Haesebrouck, F., Ducatelle, R., Moore, R. J., & Van Immerseel, F. (2016). Microbial shifts associated with necrotic enteritis. *Avian Pathology*, 45(3), 308-312.
- Aoudia, S., et al. (2016). Biofilm formation by *Lactobacillus* probiotics: Resistance to environmental stress and contribution to intestinal colonization. *Microbial Cell Factories*, 15(1), 113.
- Apajalahti, J., & Vienola, K. (2016). Interaction between chicken intestinal microbiota and protein digestion. *Animal Feed Science and Technology*, 221, 323-330.
- Applegate, T. J., Maguire, R., & Tiemann, I. (2017). Intestinal development and function of the broiler chicken: Implications for digestion efficiency. *Poultry Science*, 96(8), 2969-2979.
- Arsi, K., Donoghue, A. M., Woo-Ming, A., Blore, P. J., & Donoghue, D. J. (2015). The efficacy of selected probiotic and prebiotic combinations in reducing *Campylobacter* colonization in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 24(3), 327-334.
- Awad W.A., Ghareeb K., Abdel-Raheem S., Böhm J., 2009. "Effects of dietary inclusion of probiotic and symbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chickens ".*Poultry Science* 88, pp 49 - 56.
- Awad, W. A., et al. (2009). "Probiotics and their impact on intestinal morphology in poultry." *Poultry Science*.
- Awad, W. A., Ghareeb, K., & Böhm, J. (2016). Effect of addition of a probiotic micro-organism to broiler diet on intestinal mucosal architecture and electrophysiological parameters. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(5), 838-845.
- Awad, W. A., Hess, C., & Hess, M. (2020). Re-thinking the chicken-*Campylobacter jejuni* interaction: A review. *Avian Pathology*, 49(5), 429-438.
- Badshah, F., Latif, A., Maqbool, M., Ahmad, M., Zafar, M., Ali, M., Faiz, S., Sarwar, M., Adnan, M., & Sohail, M. (2023). Effect Of Enzyme Supplementation On The Performance Of Broiler Chickens. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, 2023(1), 630.
- Bai S. P., Wu A. M., Ding X. M., Lei Y., Bai J., Zhang K. Y. and Chio J. S. (2013). Effects of probiotic-supplemented diets on growth performance and intestinal immu

- Bai, S. P., Wu, A. M., Ding, X. M., Lei, Y., Bai, J., Zhang, K. Y., & Chio, J. S. (2017). Effects of probiotic-supplemented diets on growth performance and intestinal immune characteristics of broiler chickens. *Poultry Science*, 92(3), 663-670.
- Baldwin, S., Hughes, R. J., Van, T. T., Moore, R. J., & Stanley, D. (2018). At-hatch administration of probiotic to chickens can introduce beneficial changes in gut microbiota. *PloS One*, 13(3), e0194825.
- Balenović, M., Janječić, Z., Savić, V., Kasap, A., Popović, M., Šimpraga, B., Sokolović, M., Bedeković, D., Kiš, G., Zglavnik, T., Špoljarić, D., Krstulović, F., Listeš, I., & Zelenika, T. A. (2024). Immunostimulatory and antibacterial effects of *Cannabis sativa* L. leaves on broilers. *Animals*, 14(8), 1159.
- Barakat D M, El-Far A H, Sadek K M, Mahrous U E, Ellakany H F, Mervat A and Abdel-Latif 2016 Anise (*Pimpinella anisum*) Enhances the Growth Performance, Immunity and Antioxidant Activities in Broilers. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*. Volume 24. pp. 134-140.
- Baurhoo, B., Phillip, L., & Ruiz-Feria, C. A. (2007). Effects of purified lignin and mannan oligosaccharides on intestinal integrity and microbial populations in the ceca and litter of broiler chickens. *Poultry Science*, 86(6), 1070–1078.
- Bedford, M. R., & Cowieson, A. J. (2012). Exogenous enzymes and their impact on intestinal health in poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 173(1), 76–87.
- Bedford, M. R., & Cowieson, A. J. (2012). Exogenous enzymes and their effects on intestinal microbiology. *Animal Feed Science and Technology*, 173(1-2), 76-85.
- Bedford, M. R., & Partridge, G. G. (Eds.). (2010). *Enzymes in farm animal nutrition*. CABI.
- Bednarczyk, M. et al. (2016). Influence of different oligosaccharides on immune-related gene expression in chickens. *Poultry Science*, 95(6), 1381–1387.
- Beghoul S, Abdeldjelil M C, Benazzouz H, Messai A, Chouah B and Mansour A 2017 Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*): an alternative antistress in broiler chickens in Algeria. *Scholars Research Library*. Volume 9 . pp. 64-69
- Ben Abdallah, M. (2010). Les probiotiques et leurs effets bénéfiques .
- Bertrand, S., Rimmer, V., & Chasseur, C. (2019). Genomic analysis of antibiotic resistance genes in *Salmonella* from broilers receiving probiotics and specific essential oil blends. *International Journal of Food Microbiology*, 290, 144-150.
- Beumer, R. R., et al. (2019). Membrane composition changes in *Lactobacillus acidophilus* under acidic conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 294, 58-62.

- Bezkorovany, J. (2001). Probiotics: Mechanisms of action. *International Journal of Food Microbiology*, 71(1), 11-28.
- Bhanja, S. K., Devi, L., Panda, A. K., & Shyam Sunder, G. (2020). Effect of intestinal health on carcass characteristics and meat quality of broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*, 19(4), 158-166.
- Boling, S. D., Webel, D. M., Mavromichalis, I., Parsons, C. M., & Baker, D. H. (2000). The effects of citric acid on phytate-phosphorus utilization in young chicks and pigs. *Journal of Animal Science*, 78(3), 682-689
- Borda-Molina, D., et al. (2018). "Impact of probiotics on the microbial diversity of the poultry gastrointestinal tract." *Animal Microbiome*.
- Borda-Molina, D., Seifert, J., & Camarinha-Silva, A. (2018). Current perspectives of the chicken gastrointestinal tract and its microbiome. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16, 131-139.
- Bortoluzzi C., Vieira B. S., de Paula Dorigam J. C., Menconi A., Sokale A., Doranalli K. and Applegate T. J. (2019). *Bacillus subtilis* DSM 32315 Supplementation attenuates the effects of *Clostridium perfringens* challenge on the growth performance and intestinal microbiota of broiler chickens. *Microorganisms*, 7:1-14.
- Brisbin, J. T., et al. (2015). "Probiotics and their effect on mucus production in the intestinal barrier." *Poultry Science*.
- Brisbin, J. T., Gong, J., Orouji, S., Esufali, J., Mallick, A. I., Parvizi, P., Shewen, P. E., & Sharif, S. (2011). Oral treatment of chickens with lactobacilli influences elicitation of immune responses. *Clinical and Vaccine Immunology*, 18(9), 1447-1455.
- Broeckx, G., et al. (2020). Lyophilization and cryoprotection of *Lactobacillus rhamnosus* GG: Effects on cell viability. *International Journal of Food Microbiology*, 323, 108620.
- Bron, P. A., et al. (2011). Probiotic bacteria: Stress response and adaptation. *Food Research International*, 44(7), 2207-2214.
- Bukhari S B, Bhanger M I and Memon S 2008 Antioxidative activity of extracts from fenugreek seeds (*Trigonella foenum-graecum*). *Pakistan Journal of Analytical Environmental Chemistry*. Numéro 2. Volume 9. pp. 78–83.
- Burkholder, K. M., Thompson, K. L., Einstein, M. E., Applegate, T. J., & Patterson, J. A. (2008). Influence of stressors on normal intestinal microbiota, intestinal morphology, and susceptibility to *Salmonella enteritidis* colonization in broilers. *Poultry Science*, 87(9), 1734-1741.
- Callaway, T. R., Edrington, T. S., Anderson, R. C., Harvey, R. B., Genovese, K. J., Kennedy, C. N., Venn, D. W., & Nisbet, D. J. (2008). Probiotics, prebiotics and competitive exclusion for prophylaxis against bacterial disease. *Animal Health Research Reviews*, 9(2), 217-225.

- Carter, A., Adams, M., La Ragione, R. M., & Woodward, M. J. (2017). Colonisation of poultry by *Salmonella Enteritidis* S1400 is reduced by combined administration of *Lactobacillus salivarius* 59 and *Enterococcus faecium* PXN-33. *Veterinary Microbiology*, 199, 100-107.
- Cartman, S. T., et al. (2008). Mechanisms of resistance to digestive enzymes in *Bacillus subtilis* probiotics. *Journal of Applied Microbiology*, 105(2), 664-673.
- Casas, IA, et Dobrogosz, WJ (2000). Probiotiques et système immunitaire. *The American Journal of Clinical Nutrition*.
- Castillo, M., et al. (2008). Fructooligosaccharides reduce *Salmonella enterica* serovar *Enteritidis* in infected chickens. *Journal of Poultry Science*, 87(3), 655–660.
- Cengiz, Ö., Köksal, B. H., Tatlı, O., Sevim, Ö., Ahsan, U., Ünner, A. G., Ulutaş, P. A., Beyaz, D., Büyükyörük, S., & Yakan, A. (2015). Effect of dietary probiotic and high stocking density on the performance, carcass yield, gut microflora, and stress indicators of broilers. *Poultry Science*, 94(10), 2395-2403.
- Chafai, A. (2006). Rôle des probiotiques dans le maintien de la flore intestinale . Thèse
- Chapman, H. D. (1999). Anticoccidial drugs and their effects upon the development of immunity to *Eimeria* infections in poultry. *Avian Pathology*, 28(6), 521-535.
- Chapman, H. D. (2001). Use of anticoccidial drugs in broiler chickens in the USA: Analysis for the years 1995 to 1999. *Poultry Science*, 80(5), 572-580.
- Chapman, H. D. (2018). Applied aspects of coccidiosis, an update. *Avian Pathology*, 47(6), 546-551.
- Chapman, H.D. 2018. Applied strategies for the control of coccidiosis in poultry. *CAB Reviews*. 13.
- Chapot-Chartier, M. P., & Kulakauskas, S. (2014). Probiotic bacteria: The molecular basis of resistance to digestive enzymes. *Biochimie*, 97, 154-161.
- Chen, F., Gao, S. S., Zhu, S., Guan, X. H., & Wang, C. (2017). Effects of dietary *Lactobacillus rhamnosus* CF supplementation on growth performance, intestinal morphology, immune response and gut microbiota in broiler chickens. *Poultry Science*, 97(7), 2395-2404.
- Chen, H., Wang, W., Wang, Z., et al. (2017). Microencapsulation of probiotics for poultry feed: applications and perspectives. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8, 78.
- Chen, L., Wang, H., & Liu, S. (2024). Riboflavin requirements for optimal muscle development in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 298, 115602.
- Chen, X., Zhang, R., Wang, L., et Wang, Y. (2022). Rôles de *Bifidobacterium* dans la modulation immunitaire et ses bienfaits pour la santé. *Pathogénèse microbienne* .
- Chen, Y., Liu, X. et Zhao, L. (2023). Fonctions immunomodulatrices des espèces de *Bifidobacterium* : avancées récentes et perspectives d'avenir. *Frontiers in Microbiology* ,

- Chen, Y., Zhang, H., Cheng, Y., Li, Y., Wen, C., & Zhou, Y. (2020). Dietary supplementation of *Bacillus subtilis* influenced intestinal health and meat quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 99(7), 3663-3674.
- Chen, Y., Zhang, M., Jin, Y., et al. (2019). Inhibition of mycotoxigenic fungi by *Propionibacterium freudenreichii*: potential for application in poultry feed. *Journal of Applied Microbiology*, 126(4), 1373–1382.
- Choct, M. (2001). Probiotics and their role in poultry gut health. *Animal Feed Science and Technology*, 84(3), 105-118.
- Choct, M. (2009). Managing gut health through nutrition. *British Poultry Science*, 50(1), 9-15.
- Chowdhury, R., et al. (2009). Effect of citric acid, avilamycin and their combination on performance, tibia ash and immune status of broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(2), 268–273.
- Ciftci M, Guler T, Dalkilic B, Ertas N O 2005 The Effect of Anise Oil (*Pimpinella anisum* L.) On Broiler Performance. *International Journal of Poultry Science*. Volume 4. pp. 851-5.
- Cisek, A., & Binek, M. (2014). "Competitive exclusion mechanisms in the avian gut: Probiotics against pathogens." *World's Poultry Science Journal*.
- Clavijo, V., & Flórez, A. B. (2018). "Antimicrobial production by probiotics and their effect on pathogen control in poultry." *Food Control*.
- Clavijo, V., & Flórez, M. J. V. (2018). The gastrointestinal microbiome and its association with the control of pathogens in broiler chicken production: A review. *Poultry Science*, 97(3), 1006-1021.
- Collado, M. C., et al. (2022). "Mucosal microbiota composition and its influence on probiotic adhesion in the gastrointestinal tract." *Journal of Applied Microbiology*.
- Corcoran, B. M., et al. (2008). Heat shock proteins and their role in the stress adaptation of probiotics. *FEMS Microbiology Letters*, 287(2), 127-133.
- Corzo, A., Dozier, W.A., & Kidd, M.T. (2009). Dietary lysine needs of late-developing heavy broilers. *Poultry Science*, 88(9), 1885-1891.
- Cotter, P. D., & Hill, C. (2003). Surviving the stomach: Gut microbiota and its protection from gastrointestinal pathogens. *Microbial Biotechnology*, 6(4), 131-139.
- Cowieson, A. J., & Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: Growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. *British Poultry Science*, 49(1), 37–44.

- Cowieson, A. J., & Roos, F. F. (2014). Bioefficacy of a mono-component protease in the diets of pigs and poultry: a meta-analysis of effect on ileal amino acid digestibility. *Journal of Applied Animal Nutrition*, 2, e13
- Cowieson, A. J., & Roos, F. F. (2016). Enzymes and the feed conversion ratio in broilers: A meta-analysis. *Journal of Poultry Science*, 95(10), 2392–2402.
- Cowieson, A. J., & Roos, F. F. (2016). Toward optimal value creation through the application of exogenous mono-component protease in the diets of non-ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 221, 331-340
- Cowieson, A. J., Acamovic, T., & Bedford, M. R. (2013). Phytic acid and phytase: implications for protein utilization by poultry. *Poultry Science*, 92(6), 1563-1572.
- Cowieson, A. J., et al. (2013). Intestinal structural changes in broilers fed exogenous enzymes. *Animal Feed Science and Technology*, 179(1), 25–33.
- Cowieson, A. J., Klunter, A. M., & Swick, R. A. (2019). A meta-analysis of broiler trials evaluating the effect of a feed enzyme mixture on performance and feed conversion ratio. *Poultry Science*, 98(5), 2231-2239.
- Cowieson, A. J., Knap, I., Pedersen, A., et Tarachai, P. (2017). Starch-and protein-acting enzymes in broiler chicken diets. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 323-336
- Cowieson, A.J., Ruckebusch, J.P., Knap, I., Guggenbuhl, P., & Fru-Nji, F. (2017). Phytate-free nutrition: A new paradigm in monogastric animal production. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 180-189.
- Dahiya, J.P., Wilkie, D.C., Van Kessel, A.G., & Drew, M.D. (2006). Potential strategies for controlling necrotic enteritis in broiler chickens in post-antibiotic era. *Animal Feed Science and Technology*, 129(1-2), 60-88.
- Dalloul, R. A., Lillehoj, H. S., Shellem, T. A., & Doerr, J. A. (2003). Enhanced mucosal immunity against *Eimeria acervulina* in broilers fed a *Lactobacillus*-based probiotic. *Poultry Science*, 82(1), 62-66.
- De Oliveira, S. P., Cunha, G. S. P., Prates, J. P. B., Fonseca, F. S. A., De Souza, K. S. S., Azevedo, A. M., De Oliveira Xavier, A. R. E., Santos, E. M. S., Santos, H. O., & De Almeida, A. C. (2019). Antimicrobial activity of essential oils extracted from clove and lemongrass against pathogenic bacteria isolated from bovine, swine and poultry feces. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(5), 1937–1950.
- De Vos, W. M., et al. (2022). Microencapsulation of probiotics: From laboratory to industrial application. *Journal of Food Science*, 87(2), 672-681

- Dhama, K., Tiwari, R., Khan, R. U., et al. (2015). Probiotics in poultry: a new approach to reducing the use of antibiotics. *Animal Health Research Reviews*, 16(2), 147–156.
- Dibner, J. J., & Buttin, P. (2002). Use of organic acids as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism. *Journal of Applied Poultry Research*, 11(4), 453–463.
- Dittoe, D. K., Ricke, S. C., & Kiess, A. S. (2018). Organic acids and potential for modifying the avian gastrointestinal tract and reducing pathogens and disease. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 216.
- Drogoul C., Gadoud R., Joseph M., Jussiau R., Lisberney M., Mangeol B., Montméas L., Tarrit A., 2004. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Tome 2. PP 55(8) 57-59-62-63-134-135-228(1)-254(2)-257(2-3)-258.P 267.
- Duarte, A., Luís, Â., Oleastro, M., & Domingues, F. C. (2016). Antioxidant properties of coriander essential oil and linalool and their potential to control *Campylobacter* spp. *Food Control*, 61, 115–122.
- Duary, R. K., et al. (2020). "Probiotic adhesion mechanisms and their implications in gut health." *Microorganisms*.
- Ducatelle, R., Goossens, E., De Meyer, F., Eeckhaut, V., Antonissen, G., Haesebrouck, F., & Van Immerseel, F. (2018). Biomarkers for monitoring intestinal health in poultry: Present status and future perspectives. *Veterinary Research*, 49(1), 43.
- Ducrotté, P., et al. (2021). Clinical effects of *Lactobacillus plantarum* 299v on symptoms of irritable bowel syndrome. *Digestive Diseases and Sciences*, 66(5), 1476-1484.
- Duru M, Erdoğan Z, Duru A, Küçükgül A, Düzgüner V and Alpaslan D 2013 Effect of Seed Powder of a Herbal Legume Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) on Growth Performance, Body Components, Digestive Parts, and Blood Parameters of Broiler Chicks. *Pakistan Journal Zoological*. Volume 45. pp. 1007-1014.
- Edens F.W., 2003 . An alternative of antibiotics use in poultry: Probiotics. *Rev. Bras. Cienc.Avic.Vol.5 no.2 Campinas May/Aug.2003*.
- Eeckhaut V., Wang J., Van Parys A., Haesebrouck F., Joossens M., Falony G., Raes J., Ducatelle R. and Van Immerseel F. (2016). The probiotic *Butyricicoccus pullicaecorum* reduces feed conversion and protects from potentially harmful intestinal microorganisms and necrotic enteritis in broilers. *Front. Microbiol.*, 7:1-9.
- Elatyqy., 2011 *Qualité et sécurité alimentaire .. science et techniques des Aliments* .
- Elhusseiny O., Ghazalah A.A., Mehrez A.Z., 1980. Response of broilers to dietary self-selection. *Poult. Sci.*, 59, 1603-1604.
- Estevez, M. (2015). Oxidative damage to poultry: From farm to fork. *Poultry Science*, 94(6), 1368-1378.

- Eumkeb, G., Siriwong, S., Phitaktim, S., Rojtinnakorn, N., & Sakdarat, S. (2012). Synergistic activity and mode of action of flavonoids isolated from smaller galangal and amoxicillin combinations against amoxicillin-resistant *Escherichia coli*. *Journal of Applied Microbiology*, 112(1), 55–64.
- Fathima, A., & Rao, J. R. (2016). Selective toxicity of catechin—a natural flavonoid—towards bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(14), 6395–6402.
- Fenster, D. L., et al. (2019). Batch fermentation: A review of the process and optimization. *Food Research International*, 119, 23-33.
- Fenster, K., Freeberg, K., Hollard, C., Wong, C., Rønhave Laursen, R., & Ouwehand, A. C. (2019). The production and delivery of probiotics: a review of a practical approach. *Microorganisms*, 7(3), 83.
- Ferdes, M. (2018). Antimicrobial compounds from plants. In *Fighting Antimicrobial Resistance* (pp. 243–271). IAPC-OBP, Zagreb, Croatia.
- Fisayo Oretomiloye, Ludovic Lahaye, and Deborah Adewole. 2025. Effect of a microencapsulated complex of biofactors and antioxidants on the growth performance, plasma biochemistry, intestinal health, and immune and antioxidant status of broiler chickens challenged with cold stress. *Canadian Journal of Animal Science*. 105: 1-16
- Fooks, L. J., & Gibson, G. R. (2002). Probiotics and prebiotics: A review of the efficacy of probiotic bacteria and their role in the gut microbiota. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 14(4), 105-115.
- Francesca, G., M. Paola, and B. Bruno. (2010). Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *Int. J. Food Microbiol.*, 141:15–28
- Froebel, L. K., et al. (2017). Influence of dietary prebiotics on the gut microbiota and immune response of broiler chickens. *Animal*, 11(6), 1073–1080.
- Fukuda, S., Toh, H., Hase, K., Oshima, K., Nakanishi, Y., Yoshimura, K., Tobe, T., Clarke, J. M., Topping, D. L., Suzuki, T., Taylor, T. D., Itoh, K., Kikuchi, J., Morita, H., Hattori, M., & Ohno, H. (2011). Bifidobacteria can protect from enteropathogenic infection through production of acetate. *Nature*, 469(7331), 543-547.
- Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*, 66(5), 365–378.
- Fuller, R. (1989). Probiotiques chez l'homme et l'animal. *Journal of Applied Bacteriology* ,
- Fuller, R. (1991). Probiotiques en médecine humaine. *Microbiote intestinal, santé et maladie*.
- Gadde, U., et al. (2017). "Probiotics, inflammation, and gut health in poultry." *Frontiers in Veterinary Science*.

- Gadde, U., Kim, W. H., Oh, S. T., & Lillehoj, H. S. (2017). Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: a review. *Animal Health Research Reviews*, 18(1), 26-45.
- 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.
- García, M., Ruiz, A. et Romero, A. (2020). Activité des enzymes digestives améliorée par les probiotiques chez la volaille. *Science et technologie de l'alimentation animale* , 267, 11
- Garcia, M.A., Johnson, T.K., & Lee, J.H. (2023). Vitamin E supplementation and meat oxidative stability in broilers. *Meat Science*, 195, 108991.
- Garcia, V., et al. (2007). Effect of formic acid and plant extract blend on broiler performance. *Poultry Science*, 86(4), 635–642.
- Garrigues, C., et al. (2018). Resistance of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12® to gastric acid and bile salts. *Journal of Applied Microbiology*, 124(3), 635-643.
- Ghareeb, K., Awad, W. A., Mohnl, M., Porta, R., Biarnés, M., Böhm, J., & Schatzmayr, G. (2012). Evaluating the efficacy of an avian-specific probiotic to reduce the colonization of *Campylobacter jejuni* in broiler chickens. *Poultry Science*, 91(8), 1825-1832.
- Ghareeb, K., et al. (2012). Effects of dietary prebiotics on performance and immune response in broilers challenged with *Clostridium perfringens*. *Poultry Science*, 91(8), 1941–1950.
- Ghouati Y, Touriya B , Ouhssine M, Amechrouq A, Tahiri A and Chakir S 2012 Composition chimique et activité antibactérienne de l’huile essentielle de fruits d’anis vert marocain. Bulletin de la Société de pharmacie de Bordeaux. Volume 151. pp. 25-34
- Gibson, G. R., et Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition*, 125(6), 1401–1412.
- Gilbert, W., Bellet, C., Blake, D. P., Tomley, F. M., & Rushton, J. (2020). Revisiting the economic impacts of *Eimeria* and its control in european intensive broiler systems with a recursive modeling approach. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 1-14.
- González-Ortiz, G., Sola-Oriol, D., & Bedford, M. R. (2019). Feed enzyme supplementation improves performance and intestinal development of broilers fed wheat-based diets. *Animal Nutrition*, 5(2), 156-162.
- Goo, D., Kim, J. H., Park, G. H., Reyes, J. B. D., & Kil, D. Y. (2019). Effect of heat stress and stocking density on growth performance, breast meat quality, and intestinal barrier function in broiler chickens. *Animals*, 9(3), 107.
- Gournier, L., et al. (1994). Mechanisms of probiotics: Effects on gastrointestinal health. *Gut*, 35(9), 1367-1373.

- Grajek, W., et al. (2005). The role of probiotics in the intestinal microbiota. *Bioscience and Biotechnology*, 10(6), 215-220.
- Grant, I., et al. (2021). "Bacillus species as probiotics for poultry: Their adhesion to intestinal villi and stability in digestive conditions." *Journal of Applied Poultry Research*.
- Guillot, A. (2001). Probiotic bacteria and their role in gut health. *Microorganisms in Gastroenterology*, 4, 151-159.
- Guilloteau, P., et al. (2010). From the gut to the peripheral tissues: The multiple effects of butyrate. *Nutrition Research Reviews*, 23(2), 366–384.
- Gunal, M., et al. (2006). The effects of antibiotic growth promoter, probiotic or organic acid supplementation on broiler performance, intestinal microflora and morphology. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 157(11), 547–554.
- Hasan, M., Kabir, A., & Islam, M. (2018). Application of bokashi as an alternative feed supplement in broiler production. *Journal of Agricultural Science and Food Research*, 9(1), 204.
- Hashim, M.; Gonzalez-Sanchez, D.; Wealleans, A.; Abdelkader, M.; El-Safty, S.A.R.; Abdelhady, A.R.Y. Effects of Different Doses of Multienzyme Supplementation on Growth Performance, Duodenal pH and Morphology, and Carcass Traits in Broilers Fed Diets with an Increasing Reduction in Energy. *Animals* 2023, 13, 2378
- Hassan, FU, et al. (2021). Rôle des probiotiques dans le système immunitaire des volailles : une revue. *Sciences avicoles*, 100(
- Hernandez, F., et al. (2006). Effect of formic acid on performance, digestibility, intestinal histomorphology, and plasma metabolite levels of broiler chickens. *Poultry Science*, 85(3), 527–532.
- Higgins, J. P., Higgins, S. E., Vicente, J. L., Wolfenden, A. D., Tellez, G., & Hargis, B. M. (2008). Temporal effects of lactic acid bacteria probiotic culture on Salmonella in neonatal broilers. *Poultry Science*, 87(8), 1662-1666.
- Higgins, J. P., Higgins, S. E., Wolfenden, A. D., Henderson, S. N., Torres-Rodriguez, A., Vicente, J. L., Hargis, B. M., & Tellez, G. (2011). Effect of lactic acid bacteria probiotic culture treatment timing on Salmonella Enteritidis in neonatal broilers. *Poultry Science*, 90(8), 1760-1766.
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., et al. (2014). Document de consensus d'experts : Déclaration de consensus de l'Association scientifique internationale pour les probiotiques et les prébiotiques sur la portée et l'utilisation appropriée du terme « probiotique ». *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology* ,
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., et al. (2014). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and

appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11, 506–514.

- Hill, R., Martínez, M. et Navarro, E. (2017). Les bactéries lactiques et leurs effets sur les performances des poulets de chair. *Revue mondiale des sciences avicoles.*, 7
- Hoerr, F. J. (2018). Poultry intestinal health: Current challenges and future prospects. *Journal of Applied Poultry Research*, 27(2), 143-152.
- Hume, M. E. (2011). Historic perspective: Prebiotics, probiotics, and other alternatives to antibiotics. *Poult. Sci.*, 90:2663– 2669.
- Huyghebaert, G., Ducatelle, R., & Van Immerseel, F. (2011). An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. *World's Poultry Science Journal*, 67(1), 1–19.
- Huyghebaert, G., R. Ducatelle, and F. V. Immerseel. (2011). An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. *Vet. J.*, 187:182–188.
- Idoui T., Boudjerda D., leghouchi E et karam N., 2009. Activité probiotique de *Lactobacillus plantarum* : étude réalisée chez le poulet de chair ISA 15, huitièmes Journées de la recherche Avicole, St Malo, 25 et 26 mars 2009.
- Jayaraman, S., Thangavel, G., Kurian, H., Mani, R., Mukkalil, R., & Chirakkal, H. (2013). *Bacillus subtilis* PB6 improves intestinal health of broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*-induced necrotic enteritis. *Poultry Science*, 92(2), 370-374.
- Jha, R., Das, R., Oak, S., & Mishra, P. (2020). Probiotics (direct-fed microbials) in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, growth and laying performance, and gut health: a systematic review. *Animals*, 10(10), 1863.
- Jha, R., et al. (2020). "Probiotics and fiber fermentation in poultry: Implications for gut health." *Animal Feed Science and Technology*.
- Jha, R., et Das, R. (2020). Probiotiques multi-souches : nouvelles approches pour la production avicole. *Nutrition animale* .
- Jin, L. Z., Ho, Y. W., Abdullah, N., & Jalaludin, S. (2008). Growth performance, intestinal microbial populations, and serum cholesterol of broilers fed diets containing *Lactobacillus* cultures. *Poultry Science*, 87(7), 1259-1265.
- Johnson, T.K., Lee, J.H., & Brown, S.M. (2023). Vitamin D3 and bone development in fast-growing broiler chickens. *Poultry Science*, 102(12), 4567-4575.
- Jordan, B., G. Albanese, and L. Tensa. 2020. *Coccidiosis in Chickens (Gallus gallus)*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
- Józefiak, D., Sip, A., Rawski, M., Rutkowski, A., Kaczmarek, S., Højberg, O., Jensen, B. B., & Engberg, R. M. (2013). Dietary divercin modifies gastrointestinal microbiota and improves growth performance in broiler chickens. *British Poultry Science*, 54(6), 738-748.

- Juricova, H., Videnska, P., Lukac, M., Faldynova, M., Babak, V., Havlickova, H., Sisak, F., & Rychlik, I. (2013). Influence of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis infection on the development of the cecum microbiota in newly hatched chicks. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(2), 745-747.
- Juśkiewicz, J., et al. (2003). Comparative effects of fructooligosaccharides and inulin on the growth of rats and the activity of bacterial enzymes in the cecum. *Nutrition*, 19(10), 873–879.
- Kabir, S. M. L. (2009). "Probiotics and lipid metabolism in poultry." *Animal Feed Science and Technology*.
- Kabir, S. M. L. (2009). The role of probiotics in the poultry industry. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(8), 3531–3546
- Kalavathy, R., Abdullah, N., Jalaludin, S., & Ho, Y. W. (2017). Effects of *Lactobacillus* cultures on growth performance, abdominal fat deposition, serum lipids and weight of organs of broiler chickens. *British Poultry Science*, 58(3), 320-327.
- Kang, S., & Sin, H. (2023). "*Lactobacillus acidophilus* and its adherence to intestinal mucosa in poultry." *Poultry Science*.
- Kankainen, M., Paulin, L., Tynkkynen, S., et al. (2019). Comparative genomic analysis of *Lactobacillus rhamnosus* GG reveals pili containing a human-mucus binding protein. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(40), 17193–17198.
- Kant, V., Singh, P., Verma, P. K., Bais, I., Parmar, M. S., Gopal, A., & Gupta, V. (2013). Anticoccidial drugs used in the poultry: an overview. *Science International*, 1(7), 261-265.
- Kermanshahi, H., & Rostami, H. (2006). Effect of fermented whey powder on performance, carcass characteristics and serum metabolites of broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*, 5(10), 943–947
- Khan, S. H., Atif, A., Rehman, A., et al. (2016). Effect of probiotic supplementation on the performance and immune response of broiler chickens. *Veterinary World*, 9(1), 65–70.
- Kiarie, E., Romero, L. F., & Ravindran, V. (2020). Meta-analysis of supplemental enzymes in broiler chicken diets containing wheat or mixed grains on growth performance and digestibility of energy and nutrients. *Animal Feed Science and Technology*, 265, 114504.
- Kiarie, E., Romero, L. F., et Nyachoti, C. M. (2013). The role of feed enzymes in monogastric animal nutrition and gut health: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 180(1), 1–15.
- Kidd, M.T., Tillman, P.B., Waldroup, P.W., & Holder, W. (2013). Feed-grade amino acid use in the United States: The synergetic inclusion history with linear programming. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(3), 583-590.
- Kim, DH, Lee, HJ et Cho, JH (2022). Rôle des probiotiques dans la modulation de l'immunité adaptative chez les volailles. *Immunologie et immunopathologie vétérinaires* , 2

- Kim, I. H., et al. (2012). "Effect of probiotics on protein digestion and amino acid availability in poultry." *Journal of Applied Poultry Research*.
- Kim, J. S., Ingale, S. L., Kim, Y. W., Kim, K. H., Sen, S., Ryu, M. H., & Chae, B. J. (2016). Effect of supplementation of multi-microbe probiotic product on growth performance, apparent digestibility, cecal microbiota and small intestinal morphology of broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96(4), 618-626.
- Kim, S.J., Rodriguez, P.E., & Thompson, M.J. (2024). Niacin supplementation and intestinal health in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 33(2), 100298.
- Kizerwetter-Świda, M., & Binek, M. (2016). Effect of organic acids on *Salmonella* spp. and *Clostridium perfringens* growth and lactobacilli population in a simulated chicken digestive tract. *Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift*, 129(11-12), 453-461.
- Kogut, M. H., Genovese, K. J., Swaggerty, C. L., & Arsenault, R. J. (2017). Defining the avian inflammatory response: The importance of comparative approaches. *Avian Pathology*, 46(5), 461-470.
- Kogut, M.H. (2013). The gut microbiota and host innate immunity: Regulators of host metabolism and metabolic diseases in poultry? *Journal of Applied Poultry Research*, 22(3), 637-646.
- Kollanoor-Johny, A., Mattson, T., Baskaran, S. A., Amalaradjou, M. A., Babapoor, S., March, B., Valipe, S., Darre, M., Hoagland, T., Schreiber, D., Khan, M. I., Donoghue, A., Donoghue, D., & Venkitanarayanan, K. (2012). Reduction of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis colonization in 20-day-old broiler chickens by the plant-derived compounds trans-cinnamaldehyde and eugenol. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(8), 2981–2987.
- Konieczka, P., Barszcz, M., Choct, M., & Smulikowska, S. (2017). The interactive effect of dietary n-6: n-3 fatty acid ratio and vitamin E level on tissue lipid peroxidation, DNA damage in intestinal epithelial cells, and gut morphology in chickens of different ages. *Poultry Science*, 96(1), 149-158.
- Kral, M., Angelovicova M. and Mrazova L. (2012). Application of probiotics in poultry production. *Sci. Papers Anim. Scien. and biotech.*, 45:55–57.
- Kumar, M., Nagpal, R. et Hemalatha, R. (2018). Levure probiotique : aperçu. *Revue internationale de microbiologie alimentaire*.
- Kumar, R., Singh, V., & Sakar, S. (2021). Stability of *Bacillus* spores in poultry feed and their functional role as probiotics. *Veterinary Research*, 49, 31.
- Kumar, S., Singh, A. et Chauhan, N. (2022). Régulation du pH intestinal par les probiotiques et son impact sur la santé. *Gut Microbes*, 13(1),
- Kwon, Y., et al. (2024). Effect of prebiotic supplementation on intestinal morphology and cecal microbiota in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 33(1), 101–110.

- La Ragione, R. M., Narbad, A., Gasson, M. J., & Woodward, M. J. (2004). In vivo characterization of *Lactobacillus johnsonii* FI9785 for use as a defined competitive exclusion agent against bacterial pathogens in poultry. *Letters in Applied Microbiology*, 38(3), 197-205.
- Lavari, H., et al. (2021). Continuous fermentation with cell recycling: A novel approach for increasing the yield of *Bifidobacterium* probiotics. *Food Bioprocess Technology*, 14(9), 1615-1623.
- Lebeer, S., et al. (2012). Surface proteins in *Lactobacillus* species and their role in probiotic functions. *Trends in Food Science & Technology*, 28(2), 48-59.
- Lebeer, S., et al. (2018). "Adhesion of probiotics to intestinal epithelial cells and interaction with the immune system." *FEMS Microbiology Reviews*.
- Lebeer, S., Vanderleyden, J., & De Keersmaecker, S. C. J. (2011). Host interactions of probiotic bacterial surface molecules: comparison with commensals and pathogens. *Nature Reviews Microbiology*, 8(3), 171–184.
- Lee, K. W., Lee, S. H., Lillehoj, H. S., Li, G. X., Jang, S. I., Babu, U. S., Park, M. S., Kim, D. K., Lillehoj, E. P., Neumann, A. P., Rehberger, T. G., & Siragusa, G. R. (2010). Effects of direct-fed microbials on growth performance, gut morphometry, and immune characteristics in broiler chickens. *Poultry Science*, 89(2), 203-216.
- Leeson, S., et al. (2005). Response of broiler chickens to diets containing butyric acid. *Canadian Journal of Animal Science*, 85(1), 65–72.
- Leeson, S., Namkung, H., Antongiovanni, M., & Lee, E. H. (2005). Effect of butyric acid on the performance and carcass yield of broiler chickens. *Poultry Science*, 84(9), 1418-1422.
- Lilburn, M. S., & Loeffler, S. (2015). Early intestinal growth and development in poultry. *Poultry Science*, 94(7), 1569-1576.
- Lin, J., Hunkapiller, A. A., Layton, A. C., Chang, Y. J., & Robbins, K. R. (2013). Response of intestinal microbiota to antibiotic growth promoters in chickens. *Foodborne Pathogens and Disease*, 10(4), 331-337.
- Lin, X., et al. (2014). Bile salt hydrolases in probiotic bacteria: Their role in bile resistance and cholesterol lowering. *International Journal of Food Microbiology*, 190, 84-91.
- Lin, X., et al. (2020). "Influence of probiotics on bile acid metabolism and their effect on the avian microbiome." *Poultry Science*.
- Line, J. E., Svetoch, E. A., Eruslanov, B. V., Pereygin, V. V., Mitsevich, E. V., Mitsevich, I. P., Levchuk, V. P., Svetoch, O. E., Seal, B. S., Siragusa, G. R., & Stern, N. J. (2008). Isolation and purification of enterocin E-760 with broad antimicrobial activity against gram-positive and gram-negative bacteria. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 52(3), 1094-1100.

- Looker, D. L., Marr, J. J., & Stotish, R. L. (1986). Modes of Action of Antiprotozoal Agents. *Chemotherapy of Parasitic Diseases*, 193-207.
- Lückstädt, C. (2006). Acidifiers in animal nutrition – a guide for feed preservation and acidification to promote animal performance. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Lückstädt, C. (2006). Organic acids for broilers: performance, gut flora, and acid-binding capacity. *Feed Compounder*, 26(6), 23–26.
- Lückstädt, C., & Mellor, S. (2011). The use of acidifiers in fish nutrition. *CAB Reviews*, 6(042), 1–8.
- Lückstädt, C., & Theobald, S. (2009). Effect of organic acid blends on enzymatic activity in chicks. *Journal de Nutrition Animale*.
- Mack, D. R., et al. (2019). "Mucus-binding proteins and their role in the adherence of probiotics to the intestinal mucosa." *Applied and Environmental Microbiology*.
- Maharjan, P., Clark, T., Kuenzel, C., Foy, M. K., & Watkins, S. (2016). On farm monitoring of the impact of water system sanitation on microbial levels in broiler house water supplies. *Journal of Applied Poultry Research*, 25(2), 266-271.
- Mahmood M S, Ahmad M F, Hussain I, Abbas R Z, Khan A and Rafiq A 2014 Growth promoting effect of *Pimpinella anisum* (Aniseed) in broiler chickens. *Boletín Latino americano y del Caribe de Plantas*. Volume 13. pp. 278-284.
- Mamoun T, Mukhtar M A and Tabidi M H 2014 Effect of fenugreek seed powder on the performance, carcass characteristics and some blood serum attributes. *Advance Research in Agriculture and Veterinary Science*. - 1 : Vol. 1. - pp. 6-11
- Marques, J. D. L., Volcão, L. M., Funck, G. D., Kroning, I. S., Da Silva, W. P., Fiorentini, Â. M., & Ribeiro, G. A. (2015). Antimicrobial activity of essential oils of *Origanum vulgare* L. and *Origanum majorana* L. against *Staphylococcus aureus* isolated from poultry meat. *Industrial Crops and Products*, 77, 444–450.
- Marshall, B. M., et Levy, S. B. (2011). Food animals and antimicrobials: impacts on human health. *Clinical Microbiology Reviews*, 24(4), 718–733.
- Marta Cerdà-Cuellar (Espagne), experte du Focus Group du PEI-AGRI «Réduire l'utilisation des antimicrobiens dans l'élevage de volailles»
- Marteau, P. R., & Ramb, M. (1998). Probiotics: Mechanisms of action. *International Dairy Journal*, 8(7-8), 395-407.
- Martinez, C., Gomez, D., et Perez, A. (2023). Modulation enzymatique par des souches probiotiques chez la volaille. *Sciences avicoles*.
- Martinez, C.A., Wilson, D.R., & Anderson, K.R. (2024). Vitamin A deficiency and respiratory health in commercial broilers. *Avian Diseases*, 68(2), 123-131

- Martinez, R. C. R., Bedani, R., Saad, S. M. I. (2019). Scientific evidence for the health benefits of probiotics and prebiotics in poultry. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2392.
- Martinez, R., Silva, F., & dos Santos, G. (2020). Strategies to improve probiotic stability during processing and storage. *Current Opinion in Food Science*, 32, 104–109.
- Masey O'Neill, H. V., et al. (2014). Endogenous pancreatic enzyme output in broilers with and without exogenous enzyme supplementation. *Poultry Science*, 93(4), 802–810.
- Masey O'Neill, H. V., Smith, J. A., & Bedford, M. R. (2014). Multicarbohydrase enzymes for non-ruminants. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(2), 290-301.
- McFarlin, B. K., et al. (2018). Effects of *Bacillus coagulans* GBI-30, 6086 supplementation on protein digestion and joint pain in athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(4), 639-647.
- Meghwal M and Goswami T K 2012 The Functional properties, Nutritional Content, Medicinal Utilization and Potential Application of Fenugreek. *Journal Food Process Technology*. Volume 3. (9) p. 181.
- Mehdi Y., Létourneau-Montminy M. P., Gaucher M. L., Chorfi Y., Gayatri S., Rouissi T., Brar S. K., Côté C., Ramirez A. A. and Godbout S. (2018). Use of antibiotics in broiler production: Global impacts and alternatives. *Animal Nutrition*, 4:170-178.
- Meimandipour, A., et al. (2020). "Lactobacillus reuteri and its role in intestinal adhesion and antimicrobial activity in avian species." *Microbial Ecology in Health and Disease*.
- Meimandipour, A., Shuhaimi, M., Soleimani, A. F., Azhar, K., Hair-Bejo, M., Kabeir, B. M., Javanmard, A., Muhammad Anas, O., & Yazid, A. M. (2010). Selected microbial groups and short-chain fatty acids profile in a simulated chicken cecum supplemented with two strains of *Lactobacillus*. *Poultry Science*, 89(3), 470-476.
- Menconi, A., Wolfenden, A. D., Shivaramaiah, S., Terraes, J. C., Urbano, T., Kuttel, J., Kremer, C., Hargis, B. M., & Tellez, G. (2011). Effect of lactic acid bacteria probiotic culture for the treatment of *Salmonella enterica* serovar Heidelberg in neonatal broiler chickens and turkey poults. *Poultry Science*, 90(3), 561-565.
- Meng, D., et al. (2022). Effects of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12® supplementation on functional constipation. *International Journal of Probiotics and Prebiotics*, 17(2), 65-72.
- Messaoudi, S., Kergourlay, G., Dalgalarondo, M., Choiset, Y., Ferchichi, M., Prévost, H., Pilet, M. F., Chobert, J. M., Manai, M., & Dousset, X. (2013). Purification and characterization of a new bacteriocin active against *Campylobacter* produced by *Lactobacillus salivarius* SMXD51. *Food Microbiology*, 32(1), 129-134.

- Midilli M., AlpM., KocabachN., MuglahO., TuranN., YilmazH. and AkirS. C. (2008). Effects of dietary probiotic and prebiotic supplementation on growth performance and serum IgG concentration of broilers. *S. A. J. An. Sci.*, 38:21–27.
- Mohebodini, H., Jazi, V., Bakhshalinejad, R., Shabani, A., & Ashayerizadeh, A. (2019). Effect of dietary resveratrol supplementation on growth performance, immune response, serum biochemical indices, cecal microflora, and intestinal morphology of broiler chickens challenged with *Escherichia coli*. *Livestock Science*, 229, 13–21.
- Mollah S M T B R and Ahammad M U 2016 Use of dietary fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seed for the production of safe broiler lean meat. *Agriculture, Livestock and Fisheries*. Volume 3. pp. 305-314.
- Morales-Lopez, R., et al. (2009). Influence of prebiotics on broiler performance and cecal microflora. *Poultry Science*, 88(3), 520–528.
- Mountzouris, K. C., Tsitsikos, P., Palamidi, I., Arvaniti, A., Mohnl, M., Schatzmayr, G., & Fegeros, K. (2010). Effects of probiotic inclusion levels in broiler nutrition on growth performance, nutrient digestibility, plasma immunoglobulins, and cecal microflora composition. *Poultry Science*, 89(1), 58-67.
- M'Sadeq, S. A., Wu, S., Swick, R. A., & Choct, M. (2015). Towards the control of necrotic enteritis in broiler chickens with in-feed antibiotics phasing-out worldwide. *Animal Nutrition*, 1(1), 1-11.
- Muñoz-Atienza, E., et al. (2013). Bile salt resistance mechanisms in *Lactobacillus reuteri*: Identification and characterization. *Microorganisms*, 1(3), 88-102.
- Nakamura, Y., Silva, R.B., & Kim, S.J. (2023). Pyridoxine supplementation and protein synthesis in broiler breast muscle. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 278, 111356
- Nassan, M. A., Mohamed, E. H., Abdelhafez, S., & Ismail, T. A. (2015). Effect of clove and cinnamon extracts on an experimental model of acute hematogenous pyelonephritis in albino rats: Immunopathological and antimicrobial study. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*, 28(1), 60–68.
- Nawaz, M., Wang, J., Zhou, A., Ma, C., Wu, X., Moore, J. E., Millar, B. C., & Xu, J. (2011). Characterization and transfer of antibiotic resistance in lactic acid bacteria from fermented food products. *Current Microbiology*, 62(3), 1081-1089.
- Neal-McKinney, J. M., Lu, X., Duong, T., Larson, C. L., Call, D. R., Shah, D. H., & Konkel, M. E. (2012). Production of organic acids by probiotic lactobacilli can be used to reduce pathogen load in poultry. *PloS One*, 7(9), e43928.
- Nejib Mathlouthi Additifs alimentaires chez le poulet de chair mars 2023.

- Netherwood, T., et al. (1999). Probiotic bacteria in the human gut: Adherence and survival. Food Research International, 32(3), 221-229.
- Niderkorn V, Morgavi DP, Aboad B, Lemaire M, Boudra H., 2009. Cell wall component and mycotoxin moieties involved in the binding of fumonisin B1 and by lactic acid bacteria. J appl Microbiol. 106(3):977-85.
- Novus international 2024.
- Oakley, B. B., Lillehoj, H. S., Kogut, M. H., Kim, W. K., Maurer, J. J., Pedroso, A., Lee, M. D., Collett, S. R., Johnson, T. J., & Cox, N. A. (2014). The chicken gastrointestinal microbiome. FEMS Microbiology Letters, 360(2), 100-112.
- O'Connor, PM, O'Shea, EF, Cotter, PD, & Hill, C. (2020). Production de bactériocines de classe IIa par le probiotique *Lactobacillus salivarius* . *MBiotechnologie microbienne, 1
- Ohoukouboka M., 2006. Evaluation de l'effet des anticoccidiens ionophores sur les performances zootechniques des poulets de chair en élevage semi-industriel.Thès. Doc.MedecineVét.Univ.CHEIKH ANTA DIOP.DAKAR,100P. -ONAB, 2015.Office National d'Aliments de Bétail . In [www.onab](http://www.onab.org).
- Olnood, C. G., Beski, S. S., Choct, M., & Iji, P. A. (2015). Novel probiotics: Their effects on growth performance, gut development, microbial community and activity of broiler chickens. Animal Nutrition, 1(3), 184-191.
- Organisation mondiale de gastroentérologie. (2017). Guide de pratique de l'OMG : Probiotiques et prébiotiques .
- Oueslati H et Ghédira A K 2015 Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Trigonella foenum-graecum*. Phytothérapie. Volume 13. pp. 234-238.
- Pan, D., & Yu, Z. (2014). "Competition for nutrients between probiotics and pathogenic bacteria in the avian gut." Animal Feed Science and Technology.
- Pan, D., & Yu, Z. (2014). Intestinal microbiome of poultry and its interaction with host and diet. Gut Microbes, 5(1), 108-119.
- Panda, A. K., Rama Rao, S. V., Raju, M. V. L. N., & Sharma, S. R. (2008). Effect of probiotic supplementation on growth, nutrient utilization and carcass characteristics in broiler chickens. British Poultry Science, 47(2), 209–214.
- Papatsiros, V. G., Christodouloupoulos, G., & Filippopoulos, L. C. (2013). The use of organic acids in monogastric animals (swine and rabbits). Journal of Cell and Animal Biology, 7(10), 154-159
- 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(8), 2054-2059.

- Park, J. H., & Kim, Y. J. (2016). The effect of indigenous microorganism application on litter quality and poultry house environment. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(3), 418–426.
- Park, S. Y., & Kim, S. K. (2014). "Probiotics for growth performance, egg production, and quality in poultry." *Poultry Science*.
- Park, Y. H., Hamidon, F., Rajangan, C., Soh, K. P., Gan, C. Y., Lim, T. S., Abdullah, W. N., & Liong, M. T. (2016). Application of probiotics for the production of safe and high-quality poultry meat. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(5), 567-576.
- Parker, RB (1974). Les probiotiques, l'autre facette de l'histoire des antibiotiques. *Nutrition et santé animales* , 29
- Partanen, K. H., et Mroz, Z. (1999). Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutrition Research Reviews*, 12(1), 117–145.
- Pascual, M., Hugas, M., Badiola, J. I., Monfort, J. M., & Garriga, M. (2012). *Lactobacillus salivarius* CTC2197 prevents *Salmonella enteritidis* colonization in chickens. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(11), 4981-4986.
- Patel, N.M., Taylor, B.S., & Green, R.J. (2023). Vitamin K requirements for blood coagulation in broiler chickens. *Poultry Science*, 102(9), 3789-3797
- Patterson, J. A., & Burkholder, K. M. (2003). Application of prebiotics and probiotics in poultry production. *Poultry Science*, 82(4), 627–631.
- Peek, H. W., & Landman, W. J. M. (2011). Coccidiosis in poultry: Anticoccidial products, vaccines and other prevention strategies. *Veterinary Quarterly*, 31(3), 143-161.
- Percival, S. L. (1997). The role of bacteriocins in the suppression of pathogenic bacteria. *Microbial Pathogenesis*, 23(2), 95-104.
- Pourabedin, M., & Zhao, X. (2015). "Probiotics and short-chain fatty acids in avian gut health." *Animal Feed Science and Technology*.
- Quinteiro-Filho, W. M., Calefi, A. S., Cruz, D. S. G., Aloia, T. P. A., Zager, A., Astolfi-Ferreira, C. S., Piantino Ferreira, J. A., Sharif, S., & Palermo-Neto, J. (2017). Heat stress decreases expression of the cytokines, avian β -defensins 4 and 6 and Toll-like receptor 2 in broiler chickens infected with *Salmonella Enteritidis*. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 186, 19-28.
- Radhi KS, Arif M, Rehman AU, Faizan M, Almohmadi NH, Youssef IM, Swelum AA, Suliman GM, Tharwat M, Ebrahim A, Abd El-Hack ME, Mahrose KM. Growth performance of broiler chickens fed diets supplemented with amylase and protease enzymes individually or combined. *Open Vet J*. 2023
- Ravindran, V. (2013). Enzymes in poultry nutrition. *Animal Nutrition*, 2(2), 129–136.

- Ravindran, V. (2013). Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(3), 628-636
- Rehman, H., et al. (2020). Influence of dietary prebiotic supplementation on immune responses and gut health of broilers. *Animals*, 10(4), 660.
- Reuben, R. C., Roy, P. C., Sarkar, S. L., Alam, A. S. M., & Jahid, I. K. (2019). Isolation, characterization, and assessment of lactic acid bacteria toward their selection as poultry probiotics. *BMC Microbiology*, 19(1), 1-20.
- Ricke, S. C. (2003). Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. *Poultry Science*, 82(4), 632–639.
- Ringel-Kulka, T., Palsson, O. S., Maier, D., et al. (2020). Probiotic bacteria *Lactobacillus acidophilus* NCFM® improves gastrointestinal symptoms in irritable bowel syndrome patients: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Neurogastroenterology & Motility*, 32(5), e13787.
- Ritzi, M. M., Abdelrahman, W., Mohnl, M., & Dalloul, R. A. (2014). Effects of probiotics and application methods on performance and response of broiler chickens to an *Eimeria* challenge. *Poultry Science*, 93(11), 2772-2778.
- Rodriguez, J., et al. (2017). Lactose digestion and intolerance: The role of *Streptococcus thermophilus*. *Journal of Dairy Science*, 100(10), 8096-8103.
- Rodriguez, M., Gutiérrez, J., et Marín, R. (2019). Effets des probiotiques sur l'absorption des nutriments et les performances des poulets de chair. *Journal of Poultry Research*.
- Rodriguez, P., Fernandez, A., et Santos, L. (2023). Renforcement de la barrière intestinale par les probiotiques. *Journal of Microbial Immunology*, 29(3),
- Rodriguez, P.E., Kim, S.J., & Thompson, M.J. (2023). Niacin supplementation effects on growth performance and mortality in broilers. *Poultry Science*, 102(7), 2890-2898.
- Rolfe, R. D. (2000). The role of probiotics in gastrointestinal health. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 30(3), 266-274.
- Romero, L. F., et al. (2013). Digestive physiology of broilers fed exogenous enzymes. *World's Poultry Science Journal*, 69(2), 247–260.
- Romero, L. F., Parsons, C. M., Utterback, P. L., Plumstead, P. W., & Ravindran, V. (2013). Comparative effects of dietary carbohydrases without or with protease on the ileal digestibility of energy and amino acids and AMEn in young broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 181(1-4), 35-44.
- Rosa, D. D., Dias, M. M. S., Grzeskowiak, Ł. M., Reis, S. A., Conceição, L. L., & Peluzio, M. D. C. G. (2017). Milk kefir: nutritional, microbiological and health benefits. *Nutrition Research Reviews*, 30(1), 82–96.

- Roth, F. X., et al. (1998). Acidifiers in animal nutrition. In: Recent advances in animal nutrition. Nottingham University Press.
- Roto, S. M., Kwon, Y. M., & Rieke, S. C. (2015). Applications of probiotics in poultry: a review. *Poultry Science*, 94(6), 1296–1301.
- Rychlik, I. (2020). Composition and function of chicken gut microbiota. *Animals*, 10(1), 103.
- Saad, M. J. A., et al. (2013). Gut microbiota and inflammation. *Nutrients*, 5(1), 1–25.
- Safaei A, Rahanjam S M and Gharajanlu M 2013 Effect of *Trigonella foenum-graecum* on immune response and some blood parameters of broilers. *Scholarly Journal of Agricultural Science*. Volume 3 (4). pp. 117-120.
- Sahin, K., et al. (2002). Effects of vitamin C and vitamin E on lipid peroxidation status, blood serum metabolites, and mineral concentrations of laying hens reared under chronic heat stress. *Biological Trace Element Research*, 85, 35–45.
- Samli, H. E., Senkoylu, N., Koc, F., Kanter, M., & Agma, A. (2007). Effects of *Enterococcus faecium* and dried whey on broiler performance, gut histomorphology and intestinal microbiota. *Archives of Animal Nutrition*, 61(1), 42-49.
- Sanders, M. E., Merenstein, D. J., Reid, G., Gibson, G. R., & Rastall, R. A. (2019). Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: from biology to the clinic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 16(10), 605–616.
- Sanders, ME (2000). Considérations relatives à l'utilisation de bactéries probiotiques dans les produits laitiers. *International Dairy Journal*.
- Santos, C. M., Silva, A. B., & Lima, G. C. (2019). Encapsulation of probiotics for use in poultry feed: A systematic review. *Journal of Animal Feed Science and Technology*, 252, 112–121.
- Santos, F. B. O., Santos, A. A., Ferket, P. R., & Sheldon, B. W. (2019). Influence of housing system, grain type, and particle size on *Salmonella* colonization and shedding of broilers fed triticale or corn-soybean meal diets. *Poultry Science*, 87(3), 405-420.
- Sayed, M. A. M., & Downing, J. (2011). Effects of dietary vitamin E supplementation on performance, nutrient digestibility and antioxidant responses of broilers fed diets containing different levels of palm oil. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(5), 700–707.
- Scholz-Ahrens, K. E., et al. (2016). "Probiotics and mineral absorption in poultry." *Journal of Animal Science*.
- Sengupta, M., et al. (2013). Adaptation of probiotic bacteria to gastrointestinal tract conditions: Role of stress proteins and biofilms. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 24(1), 21347.
- Servin, A. L., & Coconnier, M. H. (2017). "Hydrophobicity and adhesion mechanisms of probiotics in the gastrointestinal tract." *Clinical Infectious Diseases*.

- Seyed M M 2014 Investigating the effect of fenugreek seed powder and garlic powder in the diet on immune response of commercial laying hens' egg. *Journal Science Research Indian*. Volume 3. pp. 277-283.
- Shang, Y., Kumar, S., Oakley, B., & Kim, W. K. (2018). Chicken gut microbiota: Importance and detection technology. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 254.
- Silva, R.B., Nakamura, Y., & Kumar, R. (2024). Vitamin B12 and immune system development in broiler chickens. *Developmental & Comparative Immunology*, 142, 104651.
- Simon, M. (2005). The physiology of probiotics. *Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 69-73.
- Slominski, B. A. (2011). Impact of feed enzymes on broiler growth performance. *Poultry Science*, 90(1), 221–227.
- Slominski, B. A. (2011). Recent advances in research on enzymes for poultry diets. *Poultry Science*, 90(9), 2013-2023.
- Smith, BD, et al. (2020). Probiotiques sporulés et leurs applications thérapeutiques potentielles. *Journal of Applied Microbiology*
- Song, J., Xiao, K., Ke, Y. L., Jiao, L. F., Hu, C. H., Diao, Q. Y., Shi, B., & Zou, X. T. (2014). Effect of a probiotic mixture on intestinal microflora, morphology, and barrier integrity of broilers subjected to heat stress. *Poultry Science*, 93(3), 581-588.
- Song, M., et al. (2014). "Probiotics and the integrity of the intestinal epithelial barrier." *Food Research International*.
- Sonnenborn, U. (2016). *Escherichia coli* Nissle 1917: A probiotic with proven clinical efficacy in ulcerative colitis. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 50(1), 22-29
- Soomro, A. H., et al. (2002). Mechanisms of probiotic bacteria in the prevention of enteric diseases. *International Journal of Food Microbiology*, 72(1-2), 85-92.
- Stanley, D., Hughes, R. J., Geier, M. S., & Moore, R. J. (2016). Bacteria within the gastrointestinal tract microbiota correlated with improved growth and feed conversion: Challenges presented for the identification of performance enhancing probiotic bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 7, 187.
- Stanly, et al. (2014). Inhibitory effects of prebiotics on *Salmonella* and *E. coli*. *Journal de Microbiologie Animale (mention)*.
- Sterzo, E. V., Paiva, J. B., Mesquita, A. L., Freitas Neto, O. C., & Berchieri, A. (2007). Organic acids and/or compound with defined microorganisms to control *Salmonella enterica* serovar Enteritidis experimental infection in chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 9(1), 69-73.
- Stringfellow, K., McReynolds, J., Lee, J., Byrd, J., Nisbet, D., Farnell, M., Donoghue, A. M., Donoghue, D. J., & Farnell, M. B. (2011). Effect of bismuth citrate, lactose, and organic acid on necrotic enteritis in broilers. *Poultry Science*, 90(2), 352-356.

- Suiryanrayna, M. V. A. N., et Ramana, J. V. (2015). A review of the effects of dietary organic acids on performance, gut microbiota and immune response in poultry. *World's Poultry Science Journal*, 71(3), 275–285.
- Sunder, G. S., Panda, A. K., Gopinath, N. C. S., et al. (2013). Use of rejuvelac fermented grain beverage in broiler diet. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 30(3), 285–290.
- Surai, P.F., & Fisinin, V.I. (2014). Selenium in poultry breeder nutrition: An update. *Animal Feed Science and Technology*, 191, 1-15.
- Svetoch, EA et Stern, NJ (2016). Bactériocines pour lutter contre Salmonella et Campylobacter chez les volailles. *Journal of Animal Science*.
- Synpa (Syndicat National des Producteurs d'Additifs et d'Ingrédients de la Chaîne Alimentaire). (2023). Les additifs alimentaires .
- -SYNPA, 2012. Sécurité et réglementation dans les domaines de l'alimentation animale et humaine. In : http://www.synpa.org/accueil/espace_reglementation/alimentation_humaine/additifs_alimentaires/additifs_alimentaires__des_ingredients_evalues_/des_additifs_utiles
- Szajewska, H., & McFarland, L. V. (2020). Efficacy of *Saccharomyces boulardii* in preventing antibiotic-associated diarrhea: A meta-analysis of 21 randomized controlled trials. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 54(5), 389-396.
- Tactacan, G. B., Schmidt, J. K., Miille, M. J., & Jimenez, D. R. (2013). A *Bacillus subtilis* (QST 713) spore-based probiotic for necrotic enteritis control in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(4), 825-831.
- Taniuchi, S., et al. (2019). Long-term follow-up of *Bifidobacterium breve* M-16V supplementation and its effect on allergy prevention in children. *Journal of Clinical Immunology*, 39(3), 275-283.
- Tanner, M. A., et al. (2018). "Bifidobacterium animalis and its adhesion mechanisms in the poultry gut." *Beneficial Microbes*.
- Tavakolinasab F, Hashemi M. Effect of Using Vitamin C Supplementation on Performance, Blood Parameters, Carcass Characteristics and Meat Quality of Broiler Chickens Under Heat Stress Condition: A Meta-Analysis. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2025
- Tellez, G., Pixley, C., Wolfenden, R. E., Layton, S. L., & Hargis, B. M. (2012). Probiotics/direct fed microbials for Salmonella control in poultry. *Food Research International*, 45(2), 628-633.
- Temim S., Hammami, N., Bedrai L., Kaddour, R, et al., 2009.Evaluation DE l'Efficacité Du Probiotique *Pediococcus Acidilactici* sur Les Preformanes de Croissance la morphométrie et la flore Lactobacillaire de l'intestin du poulet de chair. *Eur J of Sci Res*.
- Thompson, CL, Wang, B., et Holmes, AJ (2021). Effets immunomodulateurs des probiotiques à base de *Bacillus*. *Microbiologie vétérinaire*, 2

- Thompson, M.J., Anderson, K.R., & Davis, L.P. (2023). Vitamin C supplementation under heat stress conditions in broiler chickens. *Poultry Science*, 102(6), 2456-2464.
- Torok, V. A., Hughes, R. J., Mikkelsen, L. L., Perez-Maldonado, R., Balding, K., MacAlpine, R., Percy, N. J., & Ophel-Keller, K. (2011). Identification and characterization of potential performance-related gut microbiotas in broiler chickens across various feeding trials. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(17), 5868-5878.
- Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2021). Fed-batch fermentation for the production of *Lactobacillus* probiotics: An overview. *Biochemical Engineering Journal*, 170, 108076.
- Trufanov OV ., Kotyk AM., Bozhok LV ., 2008. Effect of probiotic preparation based on *Bacillus subtilis* (BPs-44) in experimental mycotoxicoses of chickens. *Mikrobiol Z.* 70(1):52-58
- Tuohy, K. M., et al. (2018). Recovery of *Lactobacillus casei* Shirota after gastrointestinal transit. *International Journal of Food Microbiology*, 265, 1-5.
- Van Belkum, A., & Stiles, M. E. (2000). Bacteriocin production in lactic acid bacteria: Mechanisms and functions. *FEMS Microbiology Letters*, 189(1), 113-118.
- Van Immerseel, F., et al. (2006). Medium-chain fatty acids and their potential as feed additives to control *Salmonella* in poultry. *Avian Pathology*, 35(6), 512–521.
- Van Immerseel, F., Russell, J. B., Flythe, M. D., Gantois, I., Timbermont, L., Pasmans, F., ... & Ducatelle, R. (2006). The use of organic acids to combat *Salmonella* in poultry: a mechanistic explanation of the efficacy. *Avian Pathology*, 35(3), 182-188
- Vanmarsenille, C., Elseviers, J., Yvanoff, C., Hassanzadeh-Ghassabeh, G., Rodriguez, G. G., Martens, E., Depicker, A., Martel, A., Haesebrouck, F., Pasmans, F., Hernalsteens, J. P., & De Greve, H. (2018). In planta expression of nanobody-based designer chicken antibodies targeting *Campylobacter*. *PLOS ONE*, 13(9), 1–14.
- Verlinden, M., Pasmans, F., Mahu, M., Vande Maele, L., De Pauw, N., Yang, Z., Haesebrouck, F., & Martel, A. (2013). In vitro sensitivity of poultry *Brachyspira intermedia* isolates to essential oil components and in vivo reduction of *Brachyspira intermedia* in rearing pullets with cinnamaldehyde feed supplementation. *Poultry Science*, 92(5), 1202–1207.
- Vitamines.
- Vlaicu, P., Untea, A., Panaite, T., Saracila, M., Turcu, R., & Dumitru, M. (2023). Effect of basil, thyme and sage essential oils as phyto-genic feed additives on production performances, meat quality and intestinal microbiota in broiler chickens. *Agriculture*, 83.
- Walter, J., et al. (2021). "Exopolysaccharides of probiotics: Their role in adhesion, biofilm formation, and health benefits." *International Journal of Food Microbiology*.

- Wang, H., Liu, S., & Chen, L. (2023). Riboflavin deficiency and growth performance in broiler chickens. *Journal of Animal Science*, 101, skad156.
- Wang, H., Ni, X., Liu, L., Zeng, D., Lai, J., Qing, X., & Jing, B. (2018). Controlling of growth performance, lipid deposits and fatty acid composition of chicken meat through a probiotic, *Lactobacillus johnsonii* during subclinical *Clostridium perfringens* infection. *Lipids in Health and Disease*, 17(1), 30-42.
- Wang, H., Ni, X., Liu, L., Zeng, D., Lai, J., Qing, X., Li, G., Pan, K., & Jing, B. (2018). Controlling of growth performance, lipid deposits and fatty acid composition of chicken meat through a probiotic, *Lactobacillus johnsonii* during subclinical *Clostridium perfringens* infection. *Lipids in Health and Disease*, 17(1), 1-13.
- Wang, H., Ni, X., Qing, X., et al. (2021). Organic acids and their effects on broiler performance and gut microbiota: a review. *Poultry Science*, 100(5), 101082.
- Wang, J., et al. (2017). "Probiotic influence on the intestinal microbiota and its impact on immunity in poultry." *Frontiers in Microbiology*.
- Wang, L., Feng, Y., Zhang, X., Wu, G., & Yin, Y. (2019). Intestinal mucosal barrier function and integrity via modulation of butyrate on tight junction protein expression in broiler chickens. *Animal Nutrition*, 5(3), 300-306.
- Wang, Y., Li, X. et Zhang, L. (2020). Bactéries productrices de butyrate et leurs bienfaits chez la volaille. *Frontiers in Veterinary Science* , 7, 583.
- Wang, Y., Sun, J., Zhong, H., Li, N., Xu, H., Zhu, Q., & Liu, Y. (2017). Effect of probiotics on the meat flavour and gut microbiota of chicken. *Scientific Reports*, 7(1), 6400.
- Wang, Y., Zhang, L., & Zeng, X. (2022). Effect of vitamin premix on probiotic stability and poultry performance. *Journal of Poultry Science*, 59(3), 246–255.
- Wang, Z., & Gu, Y. (2010). "Probiotic *Bacillus* species and their role in improving digestion in poultry." *Poultry Science*.
- Wang, Z., Li, H., et Zhang, Y. (2021). Applications cliniques des levures probiotiques chez la volaille : mécanismes et effets. *Usines cellulaires microbiennes* , 2
- Wang, Z., Liu, Y., Chen, X., et al. (2022). Effets immunomodulateurs des souches de *Lactobacillus* chez la volaille. *Frontiers in Immunology* ,
- Werner Kollath. (1953). *Ernährungslehre* . Stuttgart
- WHO (2017). *Guidelines on Use of Medically Important Antimicrobials in Food-Producing Animals*. World Health Organization.
- Whorwell, P. J., et al. (2018). Efficacy of *Bifidobacterium longum* 35624™ in the management of irritable bowel syndrome: A double-blind, placebo-controlled trial. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 47(4), 436-446.

- Willis, W. L., & Reid, L. (2008). Investigating the effects of dietary probiotic feeding regimens on broiler chicken production and *Campylobacter jejuni* presence. *Poultry Science*, 87(4), 606-611.
- Wilson, D., Rogers, T. et Perez, R. (2021). Rôle fonctionnel des espèces de *Saccharomyces* dans la santé gastro-intestinale des oiseaux. *Journal of Avian Medicine and Surgery*, 35(4), 377–384
- Windisch, W., Schedle, K., Plitzner, C., & Kroismayr, A. (2008). Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of Animal Science*, 86(14), E140-E148.
- Windisch, W., Schedle, K., Plitzner, C., & Kroismayr, A. (2008). Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of Animal Science*, 86(14_suppl), E140–E148.
- Woyengo, T. A., & Nyachoti, C. M. (2013). Review: Anti-nutritional effects of phytic acid in diets for pigs and poultry—current knowledge and directions for future research. *Canadian Journal of Animal Science*, 93(1), 9-21
- Woyengo, T. A., & Nyachoti, C. M. (2013). Review: benefits of dietary exogenous enzymes in pigs and poultry. *Canadian Journal of Animal Science*, 93(1),
- Wu, B., Cui, H., Peng, X., Fang, J., Cui, W., & Liu, X. (2019). Dietary nickel chloride induces oxidative stress, apoptosis and alters Bax/Bcl-2 and caspase-3 mRNA expression in the cecal tonsil of broilers. *Food and Chemical Toxicology*, 129, 481-490.
- Xu, Z. R., Hu, C. H., Xia, M. S., Zhan, X. A., & Wang, M. Q. (2003). Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poultry Science*, 82(6), 1030-1036.
- Yang, E.-J., Chang, H.-C., & Kim, H.-J. (2012). Effect of Kimchi lactic acid bacteria on intestinal health in broilers. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 32(4), 499–506.
- Yang, X., Zhang, B., Guo, Y., Jiao, P., & Long, F. (2018). Effects of dietary lipids and *Clostridium butyricum* on fat deposition and meat quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 89(2), 254-260.
- Yang, Y., Iji, P.A et Choct, M. 2009. Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens : a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics *World's Poultry Science Journal*, 65:97-114.
- Yang, Y., Iji, P. A., & Choct, M. (2009). Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. *World's Poultry Science Journal*, 65(1), 97-114.
- Yang, Y., Iji, P. A., et Choct, M. (2009). Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. *World's Poultry Science Journal*, 65(1), 97–114.
- Yegani, M., et Korver, D. R. (2008). Factors affecting intestinal health in poultry. *Poultry Science*, 87(10), 2052–2063. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00091>

- Yurong, Y., Ruiping, S., & Shimin, L. (2005). Effect of prebiotics on the growth performance and intestinal microflora of broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(10), 1479–1484.
- Yurong, Y., Ruiping, S., Shimin, Z., et Yibao, J. (2005). Effect of probiotics on intestinal mucosal immunity and ultrastructure of cecal tonsils of chickens. *Archives of Animal Nutrition*, 59(4), 237-246.
- Zaghari M., Sarani P. and Hajati H. (2020). Comparison of two probiotic preparations on growth performance, intestinal microbiota, nutrient digestibility and cytokine gene expression in broiler chickens, *J. Applied Anim. Research*, 48:166-175.
- Zhang, Q., Li, X., & Wu, Z. (2023). Thiamine deficiency and neurological disorders in broiler chickens. *Neurochemistry International*, 162, 105456.
- Zhang, T., Wang, C., Lv, J., Wang, R., & Zhong, X. (2016). Effect of dietary supplementation with a probiotic on performance and cytokine expression in broilers infected with pathogenic *E. coli*. *Japanese Poultry Science*, 53(1), 52-57.
- Zhang, Y., et al. (2012). The influence of dietary oligosaccharides on odorous compound production in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 178(3), 220–227.
- Zhang, Y., et al. (2016). Protease inhibitors produced by *Enterococcus faecium* and their role in probiotic function. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(12), 5341-5349.
- Zhang, Y., Wang, W., Liu, B., et al. (2022). Reuterin exerts antimicrobial activity against avian pathogens by disrupting glutathione metabolism. *Gut Microbes*, 14(1), 2134789.
- Szajewska, H., et al. (2020). Meta-analysis of 22 clinical trials on the efficacy of *Lactobacillus rhamnosus* GG in reducing the duration of acute diarrhea in children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 70(6), 723-730.
- Zhang, Y., Wang, Y., et Zhao, T. (2021). Effets structuraux des bactéries productrices de butyrate sur la muqueuse intestinale. *Gut Microbes*, 13(1),
- Zheng, A., Luo, J., Meng, K., Li, J., Zhang, S., Li, K., & Wang, Z. (2018). Probiotic (*Enterococcus faecium*) induced responses of the hepatic proteome improves metabolic efficiency of broiler chickens (*Gallus gallus*). *BMC Genomics*, 17,
- Zhou, X., Wang, Y., Gu, Q., & Li, W. (2016). Effect of dietary probiotic, *Bacillus coagulans*, on growth performance, chemical composition, and meat quality of Guangxi Yellow chicken. *Poultry Science*, 89(3), 588-593.