

DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

CHADLI BENDJEDID EL TARF UNIVERSITY

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف

FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES

كلية علوم الطبيعة والحياة

DEPARTMENT OF VETERINARY SCIENCES

قسم العلوم البيطرية



THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de :

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : Sciences Vétérinaires

Spécialité : Sciences Vétérinaires

Par :

HADEF Samira

Thème

Gestion sanitaire par aromathérapie des formes génitales des affections bactériennes chez la poule pondeuse

Soutenue publiquement le 06 Juillet 2026 devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade	Etablissement	Qualité
MERDACI Latifa	Prof.	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Présidente
HADEF Ahmed	Prof.	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Rapporteur
LEZZAR Nawel	MCB	Université Frères Mentouri- Constantine	Co-rapporteur
YEZLI -TOUIKER Samira	Prof.	Université Badji Mokhtar- Annaba	Examinatrice
BEGHOUL Saber	Prof.	Université Frères Mentouri- Constantine	Examineur
ZEGHDOUDI Mourad	Prof.	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examineur

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Louange à Dieu Tout-Puissant, Seigneur des Mondes, qui m'a accordé, la patience, la volonté de mener à bien cette recherche et d'achever cet humble ouvrage.

J'adresse tout d'abord ma plus profonde gratitude à mon directeur de thèse **Pr Hadeb Ahmed** qui a supervisé ce travail avec une rigueur et une patience exemplaires. Ses critiques constructives, ses précieux conseils, et son soutien constant ont été essentiels à la réussite de cette thèse.

Un grand merci à mon co-promoteur **Dr Lezzar Nawel** pour m'avoir guidée avec son expérience, tout au long de l'élaboration de cette thèse. Je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance pour votre aide précieuse, votre disponibilité et votre soutien lors de la rédaction de cette thèse.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à la présidente de jury **Pr Merdaci Latifa** pour avoir acceptée de présider notre jury de thèse et d'évaluer la valeur scientifique de notre travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude aux membres du jury, **Pr Zeghdoudi Mourad ; Pr Beghoul Saber** et **Pr Yezli Samira**, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer ce travail.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui m'ont aidé, qu'ils soient proches ou lointains.

Dédicaces

À mon époux, à mes enfants, à mes parents, à ma grande famille, et à tous ceux qui m'ont soutenue durant ce parcours.

Table des matières

<i>Remerciements</i>	2
<i>Dédicaces</i>	3
Résumé	I
Abstract	II
الملخص	III
Liste des abréviations	IV
Liste des tableaux	V
Liste des figures.....	VI
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : Maladies bactériennes à tropisme génital affectant les performances de production des poules pondeuses	3
1. <i>Ornithobacterium</i> :	3
2. <i>Pasteurella multocida</i> :	3
3. <i>Gallibacterium</i>	4
4. <i>Mycoplasma</i> :	5
<i>Mycoplasma gallisepticum</i>	5
5. <i>Escherichia coli</i> :	6
6. <i>Salmonella Enteritidis</i> :	8
CHAPITRE II : Diagnostic des affections bactériennes chez la poule pondeuse	10
1. Approche générale du diagnostic des maladies infectieuses chez les volailles :	10
2 Importance d'une approche générale :	10
3. Activités de diagnostic au poulailler :	10
4. Méthodes de diagnostic en laboratoire :	11
4.1 Bactériologie :	12
4.2 Diagnostic moléculaire :	12
4.3 Sérologie :	12
4.4 Histologie :	13
4.5 Diagnostic de l'infection bactérienne par la procalcitonine :	13
5. Défis et Perspectives:	14
CHAPITRE III : Lutte contre les maladies bactériennes en aviculture par antibiotiques et Antibiorésistance	16
1. Impact de l'usage des antibiotiques en aviculture (Contexte général et Mondial) :	16
2. La problématique de l'antibiorésistance :	16
3. Résistance aux antibiotiques en Afrique :	17

4. Les stratégies visant à réduire la dépendance aux antibiotiques :	18
5. Principales alternatives aux antibiotiques utilisés comme facteurs de croissance :	18
CHAPITRE IV : Utilisation d'une nouvelle stratégie alimentaire « Les phytogéniques eubiotiques »	23
1. Additifs alimentaires en aviculture.....	23
2. Phytothérapie en aviculture :.....	27
3. Les bienfaits de la phytothérapie en aviculture :	29
4. Les composés actifs des plantes médicinales :	31
5. Mode d'action des plantes médicinales en médecine vétérinaire :	33
6. Les bienfaits de la phytothérapie :.....	34
7. Les différents types de phytobiotiques en Algérie :	35
9. Risques d'utilisation des plantes médicinales en aviculture :	35
10. Précautions et contre-indications de la phytothérapie chez les volailles :	36
11. La réglementation de la phytothérapie vétérinaire :	36
11.1 Réglementation européenne :	36
12. La plante médicinale « Origan » :	37
12.1 Famille des Lamiaceae :	37
12.2 Efficacité variable selon les espèces d'origan :	37
12.3 Principaux avantages pour les volailles :	38
12.4 Futurs besoins en matière de recherche :	38
12.5 Utilisation d'origan chez les volailles :	39
PARTIE PRATIQUE	41
PREMIÈRE ÉTUDE : <i>Usage des antimicrobiens pour lutter contre les troubles de la ponte dans les élevages de poules pondeuses en batterie de la métropole de la filière ponte algérienne dans le contexte de la pandémie COVID-19.</i>	41
1. Introduction	41
2. Matériel et méthodes	42
2.1 Zone d'étude et population cible.....	42
2.2 Protocole d'étude et collecte des données	42
2.3 Variables étudiées	42
2.4 Analyses statistiques	43
3. Résultats	43
3.1 Caractéristiques de la population enquêtée	43
3.2 Prévalence des problèmes de production	44
3.3 Chute de ponte : causes et périodes d'apparition	45
3.4 Pratiques antimicrobiennes lors de la chute de ponte	47
3.5 Hétérogénéité de la qualité des œufs	50
3.6 Tests d'association	51
3.6.1 Association entre la chute de ponte et l'hétérogénéité de qualité des œufs	51

3.6.2 Association entre la chute de ponte et l'usage d'antibiotiques	51
3.6.3 Effet de la race et de l'effectif.....	52
3.7 Analyse des correspondances multiples (ACM)	52
4. Discussion	55
4.1 Prévalence et déterminants de la chute de ponte	55
4.2 Pratiques antimicrobiennes dans le contexte de la pandémie COVID-19 : profil, disponibilité des molécules et risque pour la santé publique	57
4.3 Hétérogénéité de la qualité des œufs et association avec la chute de ponte	61
4.4 Évaluation des associations statistiques et exploration des profils multivariés par ACM.....	62
4.5 Limites de l'étude	64
Conclusion.....	65
 <i>DEUXIÈME ÉTUDE : Effets de l'huile essentielle d'origan sur les marqueurs métaboliques et endocriniens de l'immunité antibactérienne, la fonction reproductive, l'état nutritionnel et les performances de production des poules pondeuses en fin de cycle.</i>	
1. Introduction.....	67
2. Matériels et Méthodes	67
2.1. Les oiseaux, les antécédents médicaux et les conditions d'élevage.....	67
2.2. Administration d'huile essentielle d'origan	70
2.3. Indicateurs de performances de production.....	70
2.4. Profils métaboliques et hormonaux :	73
2.5. Analyse statistique :	74
3. Résultats	75
3.1. Effet de l'huile essentielle d'origan sur les indicateurs de performance de la bande	75
3.1.1. Production et qualité des œufs.....	75
3.1.2. La qualité des œufs.....	76
3.1.3. Rendement de la production d'œufs, croissance et développement.....	79
3.1.4. La survie (la mortalité)	80
3.2. Effet de l'huile essentielle d'origan sur le profil métabolique.....	81
3.2.1. Nutrition protéique	82
3.2.2. Bilan énergétique (glucides et lipides)	82
3.2.3. La fonction hépatique.....	82
3.2.4. Le métabolisme minéral	82
3.3. Effet de l'OEO sur le profil endocrinien.....	83
4. Discussion	84
Conclusion.....	103
Perspectives	106
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	109
ANNEXES	136

Résumé

La présente étude poursuit deux objectifs complémentaires. D'une part, elle vise à identifier essentiellement les pratiques de traitement antimicrobien et les agents thérapeutiques associés aux problèmes de baisse du taux de ponte et de la qualité des œufs dans des élevages commerciaux de poules pondeuses. Une enquête transversale a été conduite auprès de 24 élevages privés de type batterie, dans la métropole de la filière ponte Algérienne (Batna) dans un contexte de crise sanitaire (pandémie de COVID-19). D'autre part, elle cherche à évaluer l'efficacité de l'huile essentielle d'origan (HEO) pour améliorer les performances de production, la santé et le bien-être des poules pondeuses en fin de cycle élevées en conditions commerciales, en analysant son effet sur les indicateurs de performance et les profils métaboliques et endocriniens. Les données de performance journalières d'environ 7 884 poules pondeuses Hy-Line Brown, réparties en deux lots commerciaux (l'un composé de poules de 96 semaines, $n = 3\,849$, et l'autre de poules de 79 semaines, $n = 4\,035$), ont été enregistrées avant (Pré-traitement HEO), pendant (Semaine de traitement HEO) et une semaine (Semaine post-traitement HEO) après une semaine de supplémentation en huile essentielle d'origan commerciale (5 %) d'*Origanum heracleoticum*, contenant du carvacrol (79,75 %) comme composant principal (300 mL de produit pour 1 000 L d'eau). Les résultats de l'enquête montrent l'occurrence de la chute de ponte 58,3 % des élevages enquêtés, principalement attribuée à des causes bactériennes (85,7 %), survenant en priorité au pic de ponte (64,3 %) et au début de ponte (57,1 %). Des antibiotiques ont été utilisés dans 78,6 % des élevages avec chute de ponte, l'oxytétracycline étant la molécule la plus fréquente d'utilisation (45,5 %), devant la colistine (18,2 %). Une hétérogénéité de la qualité des œufs a été observée dans 45,8 % des élevages, touchant principalement le poids (63,6 %), la taille, la couleur et la coquille (54,5 % chacun). Une association statistiquement significative a été mise en évidence entre la chute de ponte et l'hétérogénéité de qualité (test exact de Fisher, $p = 0,047$; OR = 6,57 ; IC95% [0,84-87,92]) et entre la chute de ponte et l'usage d'antibiotiques ($p < 0,001$; OR = infini). L'ACM a révélé que l'Axe 1 (42,4 % de l'inertie) oppose les élevages avec chute de ponte d'origine bactérienne traitée par des antibiotiques, aux élevages sans problème. L'usage des antimicrobiens, notamment de molécules d'importance critique (colistine, tétracyclines, macrolides), apparaît fréquent et peu encadré dans les élevages enquêtés. Les résultats de l'étude de l'immunité antibactérienne via PCT, des profils biochimique et endocrinien montrent une amélioration significative de la production d'œufs par poule et par jour (HDEP) pendant le traitement ($p < 0,05$), une diminution significative de la mortalité quotidienne une semaine après l'arrêt du traitement, principalement chez les poules les plus jeunes ($p < 0,05$), et une réduction de l'indice de conversion alimentaire ($p < 0,05$). L'analyse par modèle linéaire général (GLM) des données issues des prélèvements sanguins effectués avant et après l'ajout d'OEO a révélé une diminution significative des concentrations plasmatiques de procalcitonine (PCT), de calcium, d'albumine ($p < 0,05$) et d'aspartate aminotransférase (AST) ($p < 0,01$). En revanche, une augmentation significative des concentrations d'œstradiol, de globuline totale ($p < 0,01$) et de phosphore ($p < 0,05$) a été observée. Ces modifications des profils endocriniens étaient significativement liées à un rétablissement de l'équilibre phosphocalcique et à une diminution de l'activité hépatique de l'AST et de la gamma-glutamyl transférase (GGT). Ces résultats révèlent l'intérêt de la PCT, associée au profilage métabolique et au dosage des hormones reproductives, pour évaluer l'efficacité des additifs phytogéniques. Des études complémentaires sont suggérées afin de déterminer si les composants des huiles essentielles peuvent améliorer la santé et les performances de production des poules pondeuses.

Mots Clés : Additifs ; antibiotique, infections bactériennes ; production des œufs ; poules pondeuses; profil métabolique; *Origanum*; procalcitonine

Abstract

This study has two complementary objectives. Firstly, it aims primarily to identify the antimicrobial treatment practices and therapeutic agents associated with problems of declining egg production rates and egg quality in commercial laying hen farms. A cross-sectional survey was conducted among 24 private battery farms in the Algerian egg-laying industry's main hub (Batna) against the backdrop of a health crisis (the COVID-19 pandemic). Secondly, it seeks to evaluate the efficacy of oregano essential oil (OEO) in improving production performance, health and welfare in end-of-cycle laying hens reared under commercial conditions, by analysing its effect on performance indicators and metabolic and endocrine profiles. Daily performance data from approximately 7,884 Hy-Line Brown laying hens, divided into two commercial flocks (one comprising 96-week-old hens, $n = 3,849$, and the other comprising 79-week-old hens, $n = 4,035$), were recorded before (Pre-EO treatment), during (HEO treatment week) and one week (HEO post-treatment week) after a week of supplementation with commercial oregano essential oil (5%) from *Origanum heracleoticum*, containing carvacrol (79.75%) as the main component (300 mL of product per 1,000 L of water). The survey results show that a drop in egg production occurred in 58.3% of the farms surveyed, mainly attributed to bacterial causes (85.7%), occurring primarily at peak laying (64.3%) and at the start of laying (57.1%). Antibiotics were used in 78.6% of farms experiencing a drop in egg production, with oxytetracycline being the most commonly used compound (45.5%), ahead of colistin (18.2%). Variability in egg quality was observed in 45.8% of flocks, mainly affecting weight (63.6%), size, colour and shell (54.5% each). A statistically significant association was found between the drop in egg production and quality heterogeneity (Fisher's exact test, $p = 0.047$; OR = 6.57; 95% CI [0.84–87.92]) and between the drop in egg production and the use of antibiotics ($p < 0.001$; OR = infinity). PCA revealed that Axis 1 (42.4% of the variance) contrasts farms with a bacterial-induced drop in egg production treated with antibiotics against farms without such problems. The use of antimicrobials, particularly critically important compounds (colistin, tetracyclines, macrolides), appears to be frequent and poorly regulated in the farms surveyed. The results of the study on antibacterial immunity via PCT, as well as biochemical and endocrine profiles, show a significant improvement in daily egg production per hen (HDEP) during treatment ($p < 0.05$), a significant decrease in daily mortality one week after treatment cessation, mainly among the youngest hens ($p < 0.05$), and a reduction in the feed conversion ratio ($p < 0.05$). Generalised linear model (GLM) analysis of data from blood samples taken before and after the addition of OEO revealed a significant decrease in plasma concentrations of procalcitonin (PCT), calcium, albumin ($p < 0.05$) and aspartate aminotransferase (AST) ($p < 0.01$). Conversely, a significant increase in the concentrations of oestradiol, total globulin ($p < 0.01$) and phosphorus ($p < 0.05$) was observed. These changes in endocrine profiles were significantly associated with a restoration of calcium-phosphorus balance and a reduction in hepatic AST and gamma-glutamyl transferase (GGT) activity. These results highlight the value of TPC, combined with metabolic profiling and the measurement of reproductive hormones, in assessing the efficacy of phytogenic additives. Further studies are suggested to determine whether the components of essential oils can improve the health and production performance of laying hens.

Keywords: Additives; antibiotics, bacterial infections; egg production; laying hens; metabolic profile; *Origanum*; procalcitonin

المخلص

تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق هدفين متكاملين. فمن ناحية، تهدف بشكل أساسي إلى تحديد ممارسات العلاج بالمضادات الحيوية والعوامل العلاجية المرتبطة بمشاكل انخفاض معدل الإنتاج وجودة البيض في مزارع تربية الدجاج البياض التجارية. وقد أجريت دراسة استقصائية شاملة شملت 24 مزرعة خاصة من نوع البطاريات، في المركز الرئيسي لقطاع إنتاج البيض الجزائري (باتنة) في سياق أزمة صحية (جائحة كوفيد-19). من ناحية أخرى، تسعى الدراسة إلى تقييم فعالية زيت الأوريغانو العطري (HEO) في تحسين أداء الإنتاج وصحة ورفاهية الدجاج البياض في نهاية الدورة المربي في ظروف تجارية، من خلال تحليل تأثيره على مؤشرات الأداء والملاحم الأيضية والغدد الصماء. تم تسجيل بيانات الأداء اليومية لحوالي 7884 دجاجة بياضة من سلالة Hy-Line Brown، مقسمة إلى مجموعتين تجاريتين (تتألف إحدهما من دجاجات عمرها 96 أسبوعاً، $n = 3849$ ، والأخرى من دجاجات عمرها 79 أسبوعاً، $n = 4035$ ، قبل (ما قبل العلاج بزيت الأوريغانو العطري)، وأثناء (أسبوع العلاج بـ HEO) وبعد أسبوع (أسبوع ما بعد العلاج بـ HEO) من أسبوع من تناول مكملات زيت الأوريغانو التجاري (5%) من *Origanum heracleoticum*، الذي يحتوي على الكارفكرول (79.75%) كمكون رئيسي (300 مل من المنتج لكل 1000 لتر من الماء). تُظهر نتائج الدراسة حدوث انخفاض في معدل وضع البيض في 58,3% من المزارع التي شملتها الدراسة، ويعزى ذلك بشكل رئيسي إلى أسباب بكتيرية (85,7%)، ويحدث بشكل أساسي في ذروة وضع البيض (64,3%) وفي بداية فترة وضع البيض (57,1%). تم استخدام المضادات الحيوية في 78,6% من المزارع التي شهدت انخفاضاً في إنتاج البيض، حيث كان الأوكسييتتراسيكلين هو المركب الأكثر استخداماً (45,5%)، يليه الكوليستين (18,2%). ولوحظ تباين في جودة البيض في 45,8% من المزارع، حيث شمل ذلك بشكل أساسي الوزن (63,6%)، والحجم، واللون، والقشرة (54,5% لكل منها). وقد تم الكشف عن ارتباط ذي دلالة إحصائية بين انخفاض معدل وضع البيض وتباين الجودة (اختبار فيشر الدقيق، $p = 0,047$ ؛ $OR = 6,57$ ؛ $IC95\% [0,84-87,92]$) وبين انخفاض معدل وضع البيض واستخدام المضادات الحيوية ($p > 0,001$ ؛ $OR = 0$ ؛ ما لا نهاية). كشفت تحليلات التباين (ACM) أن المحور 1 (42,4% من التباين) يقارن بين المزارع التي تعاني من انخفاض في إنتاج البيض لأسباب بكتيرية تم علاجها بالمضادات الحيوية، والمزارع التي لا تعاني من هذه المشكلة. يبدو أن استخدام المضادات الحيوية، ولا سيما الجزيئات ذات الأهمية الحاسمة (الكوليستين، التتراسيكلين، الماكروليدات)، شائع وغير خاضع لرقابة كافية في المزارع التي شملتها الدراسة. أظهرت نتائج الدراسة التي تناولت المناعة المضادة للبكتيريا عبر اختبار PCT، والملاحم البيوكيميائية والغدد الصماء، تحسناً ملحوظاً في إنتاج البيض لكل دجاجة في اليوم (HDEP) خلال فترة العلاج ($p > 0,05$)، وانخفاضاً ملحوظاً في معدل الوفيات اليومي بعد أسبوع من توقف العلاج، خاصةً بين الدجاج الأصغر سناً ($p > 0,05$)، وانخفاضاً في مؤشر تحويل العلف ($p > 0,05$). كشف تحليل النموذج الخطي العام (GLM) للبيانات المستمدة من عينات الدم المأخوذة قبل وبعد إضافة OEO عن انخفاض ملحوظ في تركيزات البروكالسيتونين (PCT) والكالسيوم والألبومين ($p > 0,05$) والأسبارتات أمينوترانزفيراز ($p > 0,01$ AST). في المقابل، لوحظ ارتفاع ملحوظ في تركيزات الإستراديول، والجلوبيولين الكلي ($p > 0,01$) والفوسفور ($p > 0,05$). كانت هذه التغيرات في الملاحم الهرمونية مرتبطة بشكل كبير باستعادة التوازن الفوسفوري والكالسيومي وانخفاض النشاط الكبدي (AST و γ -glutamyl transferase (GGT)). تكشف هذه النتائج عن أهمية اختبار PCT، إلى جانب تحليل الأيض وقياس هرمونات التكاثر، في تقييم فعالية المضافات النباتية. ويُقترح إجراء دراسات إضافية لتحديد ما إذا كانت مكونات الزيوت العطرية قادرة على تحسين صحة الدجاج البياض وأدائه الإنتاجي.

الكلمات المفتاحية

المضافات الغذائية؛ المضادات الحيوية، العدوى البكتيرية؛ إنتاج البيض؛ الدجاج البياض؛ الملاحم الأيضية؛ الأوريغانو؛ البروكالسيتونين

Liste des abréviations

ACM	Analyse des correspondances multiples	TP	Total protein
AEM	Average Egg Weight	VLDL II	Apolipoprotein
Alb	Albumin	VTG II	Vitellogenin
ALP	Alkaline phosphatase	W	Week
ALT	Alanine transaminase	WHO	World Health Organization
AST	Aspartate aminotransferase		
BW	Body Weight		
Ca	Calcium		
CM	Cumulative Mortality		
CREB	Cyclic AMP Responsive Element-Binding protein		
DANMAP	Danish Integrated Antimicrobial Resistance Monitoring and Research Programme		
DM	Daily Mortality		
E ₂	Estradiol		
EFSA	European Food Safety Authority		
ESVAC	European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption		
ESW	Egg shell Weight		
FAO	Food and Agriculture Organization		
FCR	Feed Conversion Ratio		
FGF23	Fibroblast Growth Factor 23		
FI	Feed Intake		
FSH	Follicle-Stimulating Hormone		
GC-MS	Gas Chromatography–Mass Spectrometry		
GGT	Gamma glutamyl transferase		
GH	Growth Hormone		
Glc	Glucose		
Glob	Total globulin		
GLM	General Model Analysis		
GnRH	Gonadotropin-Releasing Hormone		
HDEP	Hen-Day Egg Production		
HPCIA	Highest Priority Critically Important Antimicrobial		
IGF-I	Insulin-like Growth Factor		
LDH	Lactate dehydrogenase		
LH	Luteinizing Hormone		
OEO	Oregano essential oil		
P	Phosphorus		
PCT	Procalcitonin		
PLF	Precision Livestock Farming		
PTH	Parathyroid Hormone		
StAR	Steroidogenic Acute Regulatory		
TC	Total cholesterol		
TG	Triglycerides		

Liste des tableaux

Tableau 1 : Quelques plantes médicinales vétérinaires et leurs métabolites secondaires ciblant essentiellement les coccidies chez les volailles dont le poulet (extrait depuis (Tchetan et al., 2021)).	30
Tableau 2: Principaux composants des huiles essentielles ayant des propriétés antibactériennes in vitro ou dans des modèles alimentaires (Burt, 2004).	33
Tableau 3 : Effets des composés majeurs des huiles essentielles de l'origan et d'autres plantes couramment utilisées chez les volailles (revue par Oni & Oke, 2025).	39
Tableau 4 : Caractéristiques générales des élevages enquêtés.	44
Tableau 5 : Prévalences des problèmes de production et des pratiques thérapeutiques.	45
Tableau 6 : Causes et périodes de la chute de ponte — analyse multi-réponses	47
Tableau 7 : Antimicrobiens utilisés lors de la chute de ponte (n = 11 élevages avec traitement AB) — analyse multi-réponses.	49
Tableau 8: Table de contingence : chute de ponte x hétérogénéité de la qualité des œufs.	51
Tableau 9: Synthèse des tests d'association entre les problèmes de ponte et de qualité	52
Tableau 10: Ingrédients et composition chimique de l'alimentation distribuée aux poules pondeuses dans les deux bandes suivies (Hadeef et al., 2025).	69
Tableau 11: Effet de la supplémentation orale à base d'huile essentielle d'origan sur la qualité des œufs de poules pondeuses Hy-Line Brown dans les deux bandes étudiées (Hadeef et al., 2025).	78
Tableau 12: Analyse GLM des concentrations des paramètres biochimiques (moyenne $\pm$ erreur standard) mesurées dans les deux bandes de poules pondeuses avant (Pré-Tx OEO) et après (Post-Tx OEO) administration d'huile essentielle d'origan (Hadeef et al., 2025).	81
Tableau 13: Effets de l'huile essentielle d'origan sur les biomarqueurs spécifiques de l'infection bactérienne (procalcitonine) et de la fonction ovarienne (œstradiol) et leur relation avec d'autres paramètres biochimiques (Hadeef et al., 2025).	84

Liste des figures

Figure 1 : Évolution de l'utilisation des additifs alimentaires (Hade et al., 2023).	27
Figure 2 : Concept de la phytothérapie (Hade et al., 2023).	29
Figure 3: Objectifs de l'utilisation des plantes médicinales en production avicole (Hade et al., 2023).	31
Figure 4 : Composition des extraits des plantes (Hade et al., 2023, Modifiée d'après Ali et al., 2020).	32
Figure 5 : Mode d'action des plantes médicinales (Hade et al., 2023).	34
Figure 6: Causes de la chute de ponte (réponses multiples).	46
Figure 7 : Antimicrobiens utilisés lors de la chute de ponte.	48
Figure 8 : Diagramme UpSet de la cooccurrence des problèmes de ponte et de qualité	50
Figure 9 : ACM- Carte des modalités ($\cos^2$ = qualité de représentation)	53
Figure 10 : ACM-Profiles des élevages selon la chute de ponte	54
Figure 11 : ACM-Profiles des élevages selon l'hétérogénéité de qualité.	55
Figure 12: Historique comparatif de la production des bandes étudiées : (a) production d'œufs par poule et par jour (HDEP) ; (b) mortalité hebdomadaire (Hade et al., 2025).	69
Figure 13: Composition phytochimique principale de l'huile essentielle d'origan étudiée (<i>Origanum heracleoticum</i>) (Hade et al., 2025).	70
Figure 14: Protocole d'étude appliqué aux deux bandes étudiées au cours de différentes périodes d'addition de l'HEO (Hade et al., 2025).	72
Figure 15: Variation de la production moyenne d'œufs par poule et par jour (HDEP) selon la bande au cours des différentes périodes d'addition de l'HEO (OEO). Pour chaque lot, les barres portant des lettres différentes (a, b) pour les périodes liées au traitement sont significativement différentes ($p < 0,05$) selon le test LSD (Hade et al., 2025).	76
Figure 16: Moyennes de la consommation d'aliment, de l'indice de conversion alimentaire et du poids corporel par bande avant et après l'administration d'OEO (Hade et al., 2025).	79
Figure 17: Évolution de la mortalité cumulée et de la mortalité quotidienne par bande au cours des différentes périodes liées à l'administration de l'HEO (Hade et al., 2025).	80

INTRODUCTION

La production mondiale d'œufs a connu une évolution marquée ces dernières années, enregistrant une hausse de 7 % entre 2019 et 2023, pour atteindre environ 91,13 millions de tonnes selon les données de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO., 2025). Toutefois, cette progression mondiale ne s'est pas traduite de manière uniforme selon les pays. L'Algérie, notamment, a connu une baisse notable de 4 % sur cette même période, avec une production de 0,32 million de tonnes d'œufs en coquille fraîche en 2023 (FAO., 2025; Hadeef et al., 2025), le niveau le plus bas ayant été atteint en 2021 avec seulement 0,30 million de tonnes (FAO., 2025). Le secteur avicole constitue un pilier stratégique de la sécurité alimentaire des pays en développement. La pandémie de COVID-19 a aggravé la situation en perturbant les chaînes d'approvisionnement en médicaments et vaccins importés (Attia et al., 2022). Selon l'Office National des Statistiques algérien, la valeur totale des importations a atteint son niveau le plus bas en 2020 à 4 363,7 milliards de dinars, contre 5 016,8 milliards en 2019, soit une baisse de 13 %, avant de remonter à 6 352,1 milliards de dinars en 2024, représentant une hausse de 31,3 % (ONS, 2024). L'impact de la pandémie sur le secteur des poules pondeuses s'est traduit par une chute marquée de la demande en œufs dans plusieurs pays d'Asie et d'Afrique, notamment au Nigeria (Fafiolu & Alabi, 2020) et en Birmanie (Fang et al., 2021), entraînant des modifications forcées des performances de production. En Algérie, aucune étude publiée n'a encore analysé ce déclin durant la période pandémique. Au-delà de l'impact de la COVID-19, d'autres facteurs complexifient la situation : le secteur est soumis à des contraintes techniques récurrentes, parmi lesquelles les troubles de la ponte et la mauvaise qualité des œufs, en partie liés aux maladies infectieuses, constituent les principales causes de pertes économiques pour les éleveurs (N. Alloui & Bennoune, 2013; Hadeef et al., 2025).

Face à ces problèmes, le recours aux antimicrobiens est devenu l'approche thérapeutique de première intention dans de nombreux élevages, souvent sans diagnostic microbiologique confirmé. Or, l'utilisation non contrôlée des antibiotiques en production animale est aujourd'hui reconnue comme l'un des principaux vecteurs d'émergence et de diffusion de la résistance antimicrobienne (OMS, 2021 ; UNGA, 2024). La déclaration politique adoptée en 2024 par l'Assemblée générale des Nations Unies sur la résistance antimicrobienne fixe un objectif mondial de réduction de 10 % des décès associés à la résistance antimicrobienne bactérienne d'ici 2030, par rapport à un niveau de référence d'environ 4,95 millions de décès annuels en 2019 (UNGA, 2024). L'Organisation mondiale de

la Santé a établi une liste des antimicrobiens d'importance critique pour la médecine humaine, dont plusieurs, notamment la colistine (catégorie A), les tétracyclines et les macrolides (catégorie B), sont couramment utilisés en aviculture (OMS, 2019). À l'échelle mondiale, l'utilisation d'antimicrobiens chez les animaux, dont les poulets, a été estimée à 99 502 tonnes de principe actif en 2020, avec une projection de hausse de 8 % pour atteindre 107 472 tonnes d'ici 2030, exerçant une pression sélective considérable sur les bactéries pathogènes et commensales (Mulchandani et al., 2023).

En Algérie, les données épidémiologiques sur l'utilisation des antimicrobiens dans les élevages de poules pondeuses demeurent très limitées, la majorité des études disponibles portant sur les poulets de chair. Des études récentes ont cependant révélé des taux élevés de résistance antimicrobienne chez les souches aviaires d'*E. coli* isolées dans l'est du pays (Aberkane et al., 2023; Kamel et al., 2024). Une prévalence et une diversité élevées de gènes codant des bêta-lactamases à spectre étendu (BLSE), *blaTEM*, *blaSHV* et *blaCTX-M*, et des carbapénémases (*blaOXA-58*) ont été signalées dans les fèces de volailles (Chabou et al., 2018), ainsi que la présence du gène de résistance à la colistine *mcr-1* dans des isolats d'Entérobactéries d'origine commensale dans de la viande de poulet dans l'ouest du pays (Chaalal et al., 2021). Ces données suggèrent que le secteur avicole algérien constitue un réservoir potentiel de bactéries multirésistantes, justifiant un suivi renforcé des pratiques antimicrobiennes. Le schéma d'utilisation des antibiotiques dans les élevages de pondeuses peut différer significativement de celui observé en élevage de poulets de chair, en raison de la durée du cycle de production (72 à 80 semaines), des contraintes liées à la période de ponte et des interactions entre la santé animale et la qualité du produit final.

Face à l'impératif de concilier amélioration de la production et maîtrise de la résistance antimicrobienne, la recherche s'est orientée vers de nouvelles stratégies basées sur l'utilisation d'additifs alimentaires multifonctionnels, dits « boosters polyvalents », capables d'améliorer simultanément les performances de production, l'état sanitaire et le bien-être animal. Cette exploration s'est engagée entre deux grandes classes d'additifs, des probiotiques (O. Alloui & Hadeif, 2008; Naeem & Bourassa, 2025) aux eubiotiques phytogéniques (M. K. Sharma et al., 2020; Darmawan et al., 2022; Anagnostopoulos et al., 2023; Basiouni et al., 2023; Tran Nguyen Minh et al., 2023). Les bénéfices de l'utilisation des huiles essentielles comme agent phytogénique eubiotique dans l'alimentation des poules pondeuses ont fait l'objet de plusieurs études (Rabelo-Ruiz et al., 2021; Tran Nguyen Minh et al., 2023). L'huile essentielle d'*Origanum* (HEO), issue de plantes de la famille des Lamiacées, est reconnue pour sa haute teneur en composés phénoliques, carvacrol et thymol (Zinno et al., 2023), selon son origine

géographique (Hamlaoui et al., 2021; Laurain-Mattar et al., 2022). Elle représente l'extrait naturel le plus testé chez les poules pondeuses pour améliorer les niveaux de production et l'état sanitaire, grâce à ses propriétés antimicrobiennes, immunostimulantes et antioxydantes (Orzuna-Orzuna & Lara-Bueno, 2023; Darmawan et al., 2024). Des auteurs ont rapporté sa capacité à améliorer les performances de production, notamment le taux de ponte journalier (F. Gao et al., 2022), la qualité de l'œuf et de la coquille (Karadağoglu et al., 2018), ainsi que la digestion via son action sur la flore digestive (F. Gao et al., 2022). Son effet sur la santé et l'immunité des poules a également été mis en évidence, confirmant son efficacité dans la réduction des bactéries pathogènes affectant l'appareil reproducteur, notamment *E. coli* (Feng et al., 2021; F. Gao et al., 2022) et *Salmonella* (Feng et al., 2021; Magtalas & Anapi, 2025). Les composés bioactifs de cette huile exercent également des effets positifs sur la qualité hygiénique des œufs, notamment en réduisant la charge bactérienne à l'intérieur et à l'extérieur de la coquille (Gul et al., 2019; Xian et al., 2024), sur la qualité industrielle telle que la durée de conservation (Johnson et al., 2024), et sur la qualité de la coquille, y compris son poids (Gul et al., 2019; Xian et al., 2024).

L'évaluation de l'efficacité des huiles essentielles nécessite des méthodes diagnostiques fiables, combinant des paramètres cliniques (taux de ponte, mortalité, consommation alimentaire journalière, poids moyen des œufs, indice de consommation, qualité des œufs) et paracliniques (profil biochimique sanguin). Ces outils ont été utilisés conjointement comme indicateurs de l'effet d'additifs anti-stress lors des épisodes de stress thermique chez les poules pondeuses (Gerzilov et al., 2015) et pour évaluer l'effet d'extraits de plantes médicinales sur des infections bactériennes, notamment à *E. coli* O78, chez les poulets de chair (V. Sharma et al., 2015). Bien que ces biomarqueurs aient été utilisés pour évaluer les huiles essentielles chez les poulets de chair et le stress thermique chez les pondeuses, une évaluation intégrant des profils métaboliques avec des marqueurs endocriniens et inflammatoires, notamment la procalcitonine, reste absente pour les poules pondeuses commerciales en fin de cycle recevant une supplémentation en HEO. Ces indicateurs ont également servi à vérifier l'efficacité de l'antibiothérapie ou la substitution d'un antibiotique par un additif alimentaire tel que les probiotiques chez les pondeuses (Ye et al., 2020). Récemment, des biomarqueurs sanguins ont été utilisés pour évaluer, chez des poules Hy-Line Brown élevées en conditions expérimentales durant le pic de production, l'effet d'une huile essentielle d'origan commerciale sur le profil lipidique (cholestérol, triglycérides, lipoprotéines de haute densité), les indices hépatiques (AST, ALT) et le profil antioxydant comme indicateurs de l'état de santé (Johnson et al., 2025). Ainsi, les études antérieures se

sont principalement concentrées sur les phases de pic de production dans des conditions contrôlées, laissant un vide critique concernant l'efficacité de l'HEO durant la période commercialement difficile de fin de production, lorsque les poules sont confrontées à des exigences métaboliques accrues et à une vulnérabilité immunologique plus marquée.

L'exploration de la fonction endocrinienne par des dosages hormonaux, incluant les hormones reproductives (estradiol, FSH, LH et progestérone), a également été adoptée pour expliquer les effets des huiles essentielles sur les performances de production chez des poules en phases précoces et tardives du cycle de production (İpçak et al., 2025).

En médecine humaine, la procalcitonine, une prohormone précurseur de la calcitonine, s'est révélée un outil précieux pour le diagnostic rapide et précoce des infections bactériennes (Simon et al., 2004) et pour guider l'utilisation des antibiotiques (Wolff & Joly-Guillou, 2011a). En médecine vétérinaire, son utilisation reste limitée à des fins de recherche chez certaines espèces (équine, bovine et canine), en raison de l'absence de kits commerciaux validés pour les espèces vétérinaires (Battaglia et al., 2020). Chez la volaille, elle a récemment été utilisée pour suivre la réponse des poulets de chair supplémentés en arginine à une inflammation intestinale provoquée par *S. typhimurium* (Zhang et al., 2020) ou *C. perfringens* (Zhang et al., 2019). Compte tenu de la rareté de son utilisation en recherche avicole, le recours à la procalcitonine pour évaluer l'efficacité des additifs phytogéniques chez les poules pondeuses représente une approche novatrice pour apprécier les propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires des huiles essentielles en production avicole commerciale.

Selon les dernières statistiques publiées par le Ministère algérien de l'Agriculture (Ministry of Agriculture and Rural Development., 2021), la wilaya de Batna se classe au premier rang en termes de production, représentant environ 16,45 % de la production nationale d'œufs en coquille fraîche. Cette province a été considérée comme l'une des plus sévèrement touchées lors des épidémies nationales (Kalla et al., 2022).

La présente étude poursuit deux objectifs complémentaires. D'une part, elle vise à identifier les causes des problèmes de production, le déclin de la ponte et les irrégularités de qualité des œufs, ainsi qu'à décrire les pratiques de traitement antimicrobien et les agents thérapeutiques associés dans des élevages commerciaux de poules pondeuses en batterie dans la région de Batna, durant la pandémie de COVID-19. D'autre part, elle cherche à évaluer l'efficacité d'une supplémentation en huile essentielle d'origan en établissant des profils métaboliques et hormonaux complets, incluant l'application novatrice de la procalcitonine comme biomarqueur d'efficacité antimicrobienne, chez des poules pondeuses commerciales

dans des conditions d'élevage réelles et durant la phase critique de « fin de cycle de production ». Durant cette dernière période, les poules âgées deviennent plus exigeantes et plus sensibles à tout trouble zootechnique (alimentaire), intrinsèque biologique (immunité), extrinsèque (bactéries) et environnemental, influençant ainsi la décision du producteur avicole de mettre fin ou de prolonger leur carrière productive.

Partie Bibliographique

CHAPITRE I : Maladies bactériennes à tropisme génital affectant les performances de production des poules pondeuses

Chez les volailles, toute pathologie peut nuire indirectement sur la production et la qualité des œufs, en affectant la santé des oiseaux. Dans cette partie, les principaux agents bactériens à tropisme génital chez la poule pondeuse seront abordés.

1. *Ornithobacterium* :

Ornithobacterium rhinotracheale est une bactérie Gram négatif, sous forme de bâtonnet, pléomorphe, immobile, non sporulée (Chin et al., 2003). Elle provoque des maladies respiratoires chez les poulets ainsi qu'une large gamme d'oiseaux. La voie de transmission est verticale (Van Empel & Hafez, 1999).

Les signes cliniques présentent des troubles respiratoires qui tendent à s'aggraver lorsque les volailles sont également infectées par d'autres germes respiratoires (Thachil et al., 2009). La maladie peut également évoluer vers une péritonite.

Dans les élevages de poules pondeuses commerciales, *O. rhinotracheale* est responsable d'une baisse de la production, d'une déformation des œufs avec réduction de leur taille, et d'une augmentation de la mortalité. Dans les élevages de reproducteurs de poulets de chair, des symptômes semblables ont été signalés (Roberts et al., 2011a).

2. *Pasteurella multocida* :

Le choléra aviaire, causé par la bactérie *Pasteurella multocida*, est l'une des maladies infectieuses les plus importantes et les plus dévastatrices dans l'industrie avicole, se classant parmi les pathologies majeures à fort impact économique. Bien que *Pasteurella multocida* soit une bactérie zoonotique (transmissible à l'homme), les infections humaines liées à cette bactérie sont rares.

Devant la menace que représente *Pasteurella multocida*, surtout de sérotype A associé aux infections respiratoires et septicémiques, l'utilisation importante d'antibiotiques pour traiter ces infections peut engendrer une antibiorésistance.

Pasteurella multocida est une bactérie Gram-négative, immobile, aéro-anaérobies. Alors qu'elle présente une puissante croissance sur gélose au sang et gélose chocolat, *P. multocida*

ne parvient pas à pousser, sur gélose de Levine (ou gélose Éosine Bleu de Méthylène (EMB)), sur gélose MacConkey ou d'autres milieux de culture sélectifs et différentiels. *P. multocida* est classé en cinq sérogroupes en fonction de son type de capsule, à savoir : A, B, D, E et F ; et en seize sérotypes selon ses antigènes somatiques, allant du sérotype 1 au sérotype 16. Les sérotypes de *P. multocida* avec capsules présentent une virulence plus élevée que les sérotypes sans capsules. Les pathologies résultant de cette infection peuvent être causées par plusieurs sérotypes, tels que le type de capsule A (Harper et al., 2006). Parmi plusieurs sérotypes de *P. multocida*, le sérotype A est le plus fréquemment associé au choléra aviaire (Wilkie et al., 2012). Les infections à *P. multocida* peuvent provoquer des lésions dans plusieurs organes, surtout le cœur, les intestins, les reins et le foie, qui se caractérisent souvent par des pétéchies et des taches blanches (Z, 2008). Le choléra aviaire ne touche pas seulement les volailles (poulets, dindes et canards), mais atteint également les oiseaux de compagnie. Les volailles qui souffrent du choléra présentent deux types de symptômes : aigus et chroniques. Les symptômes aigus du choléra, essentiellement représentés par la fièvre, l'anorexie, la diarrhée, l'écoulement de mucus par le bec, la cyanose et l'accélération du rythme respiratoire, apparaissent peu avant la mort de l'oiseau. Après la phase aiguë, les symptômes chroniques incluant œdèmes, torticolis, boiterie et perte de poids, peuvent apparaître (Blakey et al., 2019). Le choléra aviaire est généralement traité par l'administration des antibiotiques à large spectre mélangées à l'eau de boisson et à l'alimentation des volailles (Gray et al., 2021). La majorité des antibiotiques sont utilisés pour traiter les cas de choléra aviaire. Une mauvaise utilisation d'antibiotiques sur une longue durée peut déclencher une résistance aux antibiotiques. L'antibiorésistance des bactéries pathogènes chez les volailles est un problème sanitaire majeur qui nécessite une attention spéciale (Dashe et al., 2013). Quelques antibiotiques à prendre en compte dans les tests de résistance aux antibiotiques comprennent la pénicilline, les inhibiteurs β -lactamines/ β -lactamases, les tétracyclines, les céphalosporines, les fluoroquinolones, et les macrolides (Kapoor et al., 2017).

3. *Gallibacterium*

Le genre *Gallibacterium* appartient à la famille des *Pasteurellaceae* et comprend des bactéries aviaires anciennement nommées : « *Actinobacillus salpingitidis* » ou « *Pasteurella haemolytica* » ou « *Pasteurella anatis* ». Il contient les espèces *G. anatis* et *G. genomospecies 1* et 2.

Gallibacterium anatis contient deux biovars : un biovar hémolytique (*haemolytica*) et un biovar non hémolytique (*anatis*) (Christensen et al., 2003a; Neubauer et al., 2009)

Gallibacterium anatis, biovar *haemolytica*, a été classé comme étant responsable de péritonites et de salpingites chez les volailles (Christensen et al., 2003b), ainsi que d'autres espèces (Bisgaard, 1995) et a été isolé chez « les oiseaux pondeurs » souffrant de troubles génitaux (Neubauer et al., 2009).

4. *Mycoplasma* :

Les mycoplasmes sont des eubactéries sans paroi cellulaire qui appartiennent à la classe des Mollicutes, ordre I Mycoplasmatales. Le genre I, *Mycoplasma*, contient plus d'une centaine d'espèces, dont 10 infectant les poulets et 25 infectant d'autres espèces aviaires (Kleven & Ferguson-Noel, 2008).

Mycoplasma gallisepticum

Chez les poulets, *Mycoplasma gallisepticum* provoque une maladie respiratoire chronique (MRC) ainsi qu'une sinusite infectieuse. Elle coexiste souvent avec une infection virale respiratoire chez les dindes (Ley & Yoder Jr, 2008). Une infection de l'oviducte peut survenir en raison de la proximité des sacs aériens infectés (Nunoya et al., 1997).

Mycoplasma synoviae est classée parmi les agents pathogènes microbiens les plus importants qui causent de graves pertes économiques dans l'industrie avicole mondiale.

Les transmissions verticale et horizontale (par les œufs) sont possibles. Les infections à *Mycoplasma* se caractérisent par des formes subcliniques et chroniques (Razin et al., 1998).

M. synoviae provoque également des maladies respiratoires (W. J. M. Landman & Feberwee, 2012), mais peut devenir systémique, affectant principalement les articulations et les gaines tendineuses chez les poulets et les dindes (D. Spackman, 1987; Kleven & Ferguson-Noel, 2008).

En 1987, Spackman affirme que « le rôle des mycoplasmes dans la production et la qualité des œufs est quelque peu controversé » (D. Spackman, 1987). À l'époque, on ne savait pas clairement dans quelle mesure, *M. synoviae* ou *M. gallisepticum*, seuls, étaient impliqués dans les anomalies de la coquille des œufs et les pertes de production, ou est-ce qu'ils étaient

causés par des interactions avec d'autres agents infectieux, tels que le virus de la bronchite infectieuse (Giambrone et al., 1977).

Jusqu'aux années 2000, *Mycoplasma gallisepticum* représentait la principale préoccupation sanitaire dans les élevages de poules pondeuses. Elle était ainsi impliquée dans les pertes de production, et dans les élevages des reproducteurs, elle était responsable de la diminution de la capacité d'éclosion (Yoder, 1986; Kleven et al., 1990; Stipkovits & Kempf, 1996; Kleven & Ferguson-Noel, 2008).

Mycoplasma synoviae, était considérée comme un agent touchant principalement les élevages de dindes et de poulets de chair, mais elle a également été détectée chez d'autres espèces de volailles comme les canards (Yamada & Matsuo, 1983; Bencina et al., 1988), les pigeons (Reece et al., 1986) et les oies (Bencina et al., 1988).

Chez des oies infectées par la souche 1220 de *Mycoplasma sp*, la production d'œufs à coquille anormale a été signalée (Dobos-Kovács et al., 2009). Relativement tôt, la transmission verticale de la *Mycoplasma synoviae* a été reconnue (MacOwan et al., 1984; Mohammed et al., 1987) .

En 1987, selon Mohammed et al., *Mycoplasma gallisepticum* était la cause d' une perte estimée à 127 millions d'œufs dans le sud de la Californie (Mohammed et al., 1987). En revanche, la séroprévalence de *M. synoviae* est beaucoup plus élevée, en particulier dans les élevages de poules pondeuses, et dépasse 70 % dans la majorité des continents (W. J. M. Landman, 2014).

5. *Escherichia coli* :

Escherichia coli appartient à la famille des *Enterobacteriaceae*. C'est un genre bactérien ordinairement présent dans les intestins des oiseaux, et se transmet aux œufs généralement par contamination fécale de la surface de la coquille, puis par pénétration dans l'œuf. Les oiseaux les plus sensibles sont les plus jeunes.

Escherichia coli affecte la production ainsi que la qualité des œufs chez les poules pondeuses (Trampel et al., 2007). Les canards peuvent être également touchés (Bisgaard, 1995).

Les *E. coli* commensaux, présents dans les intestins des volailles en bonne santé, peuvent être porteurs d'une série de facteurs de virulence APEC, ce qui suggère qu'ils ont la capacité de provoquer des maladies lorsque l'occasion se présente. C'est pour cette raison que les maladies causées par l'APEC, comme la colibacillose et le syndrome de salpingite-péritonite

(W. J. Landman & Cornelissen, 2006), sont de nature syndromique et que les sérotypes responsables de la maladie sont très diverses.

L'APEC est un pathogène majeur dans l'industrie avicole en raison de la détérioration du bien-être animal, des pertes de productivité considérables, de la mortalité élevée et de l'utilisation accrue de composés antimicrobiens (Collingwood et al., 2014). C'est pourquoi, des mesures préventives efficaces et une bonne compréhension des mécanismes pathologiques et de la pathogenèse de la colibacillose sont essentielles pour garantir une production avicole saine (Kromann & Jensen, 2022).

La salpingite peut être causée par une infection ascendante de l'oviducte à partir du cloaque, ou bien par une infection systémique. En 2009, l'étude d'Ozaki et Murase a enregistré des résultats post mortem montrant la présence d'exsudats caséux dans la partie supérieure de l'oviducte, d'exsudats fibrineux dans le vagin, d'une muqueuse de l'oviducte épaissie et œdémateuse, et d'ovaires dégénérés (Ozaki & Murase, 2009).

Le début de la ponte, qui est associé au stress, peut agir comme un facteur favorisant dans les épidémies de colibacillose (Zanella et al., 2000). Ces dernières ne sont pas obligatoirement associées à d'autres agents pathogènes respiratoires (Roberts et al., 2011a; Song et al., 2023).

La salpingite chez les poules pondeuses est une pathologie génitale fréquemment rencontrée lors des phases de pic et de fin de ponte (Gretarsson et al., 2023). Elle évoque une contrainte intéressante pour la rentabilité des élevages de poules pondeuses puisqu'elle entraîne une réduction du taux de ponte et de la qualité des œufs et une mortalité aiguë consécutive à une propagation de l'inflammation dans la cavité abdominale (Song et al., 2023).

Généralement, les symptômes cliniques comprennent : une congestion de l'oviducte, une inflammation, une obstruction par un exsudat inflammatoire et une péritonite du vitellus (W. J. M. Landman et al., 2013; C. Wang et al., 2020).

La cause de la salpingite chez les poules pondeuses est multifactorielle et implique des traumatismes physiques, des déséquilibres nutritionnels et des infections microbiennes pathogènes. Paradoxalement, l'isolement d' *Escherichia coli* est le plus facile à effectuer parmi tous les cas cliniques (C. Wang et al., 2018).

Les stades avancés de la salpingite sont fréquemment associés à des schémas physiopathologiques complexes. Par conséquent, les programmes thérapeutiques doivent viser à la fois : le renforcement de l'immunité innée et l'élimination des facteurs pathogènes (Xiang et al., 2026).

6. *Salmonella Enteritidis*:

Le genre *Salmonella* appartient à la famille des *Enterobacteriaceae*, comprend plus de 2 500 variantes sérologiquement différentes, et peut être divisé en sérotypes mobiles et non mobiles. Toutes les salmonelles associées à la volaille appartiennent à une seule espèce génétiquement définie, *Salmonella enterica*.

Les sérotypes non mobiles, *Salmonella enterica* sérovar *Pullorum* (maladie de Pullorum) et *Salmonella enterica* sérovar *Gallinarum* (typhoïde aviaire), peuvent provoquer une septicémie chez les volailles. Les sérotypes mobiles sont souvent appelés « salmonelles paratyphoïdes » (PT) et comprennent le sérotype *Typhimurium* et le sérotype *Enteritidis* (généralement abrégés en *S. Typhimurium* et *S. Enteritidis*). Les salmonelles paratyphoïdes sont souvent asymptomatiques chez les volailles, mais peuvent provoquer des maladies d'origine alimentaire chez l'homme (Gast & Porter Jr, 2020).

La souche génétique et l'âge influencent la résistance des oiseaux à la salmonellose entérique aviaire (Beal et al., 2005).

En général, les jeunes oiseaux sont plus sensibles aux infections à *Salmonella* que les oiseaux adultes. *S. Gallinarum* et *S. Pullorum* provoquent une septicémie entraînant une diminution de l'éclosabilité et de la production d'œufs, ainsi qu'une morbidité et une mortalité sévères (Shivaprasad, 2000).

Il y a une possibilité d'infection trans-ovarienne (Berchieri et al., 2001). L'infection expérimentale de volailles par *Salmonella Enteritidis*, entraînant un risque accru de contamination, a augmenté l'incidence des fissures capillaires dans les œufs (Guard-Bouldin & Buhr, 2006; Roberts et al., 2011b).

La principale source de zoonoses reste les denrées alimentaires d'origine animale. Par exemple, la salmonellose humaine, provient des animaux dans environ 90 % des cas (pondeuses, œufs et porcs) dans les pays bas (Mughini-Gras et al., 2014). Dans l'Union Européenne, elle est attribuée à des réservoirs animaux dans environ 42,4 % des cas, principalement les poules pondeuses, et 95,9 % des cas sont causés par *S. Enteritidis* (De Knecht et al., 2015).

Les œufs jouent un rôle mineur dans la distribution de *Campylobacter* ; par contre, ils constituent un vecteur essentiel de transmission des espèces *Salmonella*, spécialement *Salmonella Enteritidis* (Hald et al., 2001).

Concernant la production d'œufs, la contamination par *Salmonella Enteritidis* constitue un danger pour la sécurité alimentaire. Dans une exploitation agricole, il existe plusieurs facteurs de risque d'infection et de propagation de *Salmonella Enteritidis*. Les rongeurs et surtout les souris sont considérés comme les vecteurs les plus importants de cette bactérie (Davies & Breslin, 2001; Liebana et al., 2003), mais d'autres auteurs confirment que les mouches aussi contribuent à la transmission de *Salmonella Enteritidis* (Olsen & Hammack, 2000; Mollenhorst et al., 2005).

CHAPITRE II : Diagnostic des affections bactériennes chez la poule pondeuse

1. Approche générale du diagnostic des maladies infectieuses chez les volailles :

Le diagnostic des maladies infectieuses chez les volailles demande une approche globale, allant « du bâtiment d'élevage au laboratoire et vice-versa », et qui intègre diverses techniques de diagnostic et expertises dans l'optique d'améliorer le profil sanitaire des volailles et leurs performances de production, et de mettre en œuvre des stratégies prophylactiques efficaces.

2 Importance d'une approche générale :

L'adoption d'une approche générale, structurée et systématique du diagnostic des maladies infectieuses chez les volailles est cruciale, car elle permet une détection précoce, essentielle pour contrôler la propagation des maladies et réduire les pertes économiques.

***Menace continue** : Les maladies infectieuses constituent un danger constant pour la santé et la production avicole, avec des conséquences importantes sur le plan économique et le bien-être animal.

***Évolution du contexte** : L'éventail des pathologies aviaires ne cesse de s'élargir en raison de l'identification de nouveaux agents ou germes et d'une meilleure connaissance de la pathogenèse et de l'épidémiologie.

***Nécessité d'une approche interdisciplinaire** : la réalisation quotidienne de diagnostic demande une forte collaboration entre plusieurs technologies et l'expertise humaine dans plusieurs disciplines « la sérologie, la virologie, la bactériologie, la parasitologie et la biologie moléculaire » (Liebhart et al., 2023a).

3. Activités de diagnostic au poulailler :

Les activités de diagnostic au poulailler sont essentielles pour maintenir la santé des volailles, assurer une production d'œufs constante et prévenir la propagation de maladies. Un diagnostic efficace repose sur les points suivants :

***Évaluation primaire** : La démarche de diagnostic commence à la ferme et débute par l'anamnèse et les commémoratifs ou « antécédents de la pathologie », et par les premiers examens de la consultation post-mortem (Whitehead & Roberts, 2014; Ayala et al., 2020).

***Surveillance habituelle :** Les activités comprennent des analyses de routine faisant suite à la réalisation des prélèvements, dans le cadre des programmes de prophylaxie sanitaire, surtout pour ceux portant sur les espèces de *Mycoplasma* et de *Salmonella*. Les échantillons peuvent être analysés directement (par exemple, par la réalisation de tests antigéniques rapides) ou envoyés à des laboratoires.

***Indicateurs cliniques :** Lorsque la santé d'un effectif de volailles est compromise, la morbidité et la mortalité constituent les premiers signes. Les investigations consistent à rassembler les antécédents médicaux, à procéder à des examens cliniques individuels des volailles, et à analyser des échantillons tels que les fientes et les œufs.

***Difficultés :** Le diagnostic des pathologies subcliniques peut s'avérer difficile, car les symptômes cliniques peuvent être non spécifiques ou varier en fonction de l'étiologie pathogène, de l'environnement et de l'hôte (European Commission., 2019).

Les paramètres zootechniques (tels que : la prise de poids, la production d'œufs, l'indice de conversion alimentaire) sont à prendre en considération, mais généralement avec un certain retard, ce qui induit des analyses rétrospectives fréquentes (Jones et al., 2019).

***Élevage de précision (Precision Livestock Farming - PLF):** L'élevage de volailles rationnel recourt beaucoup aux technologies PLF, surtout aux balances à plate-forme et aux capteurs environnementaux, pour assurer le suivi des facteurs de production en temps réel (Berckmans, 2017).

Des technologies de pointe, comme la vidéosurveillance, les capteurs portables et les enregistrements audio, sont actuellement en pleine progression scientifique pour atteindre la détection précoce des maladies et l'identification des épidémies, précisément lors de cas de grippe aviaire (Astill et al., 2018; Neethirajan, 2022).

4. Méthodes de diagnostic en laboratoire :

Les méthodes de diagnostic en laboratoire incluent des techniques sophistiquées pour identifier les maladies.

4.1 Bactériologie :

La protéomique et les nouvelles techniques moléculaires sont de plus en plus utilisées pour identifier et caractériser les agents infectieux, et ce, malgré que la bactériologie classique reste utile pour l'isolement des agents pathogènes (Hrabak et al., 2020).

Les techniques moléculaires, telles que la PCR et le séquençage du génome entier (WGS) ou le séquençage de nouvelle génération (NGS), prennent une grande importance pour l'identification rapide et exacte, en particulier des agents pathogènes difficiles à cultiver (Austin, 2017).

La spectrométrie de masse MALDI-TOF permet également d'identifier, au niveau de l'espèce, une large gamme bactérienne (Biswas & Rolain, 2013).

4.2 Diagnostic moléculaire :

Cette branche porte sur l'analyse des acides nucléiques et des protéines présents dans des échantillons environnementaux et biologiques (Wannaratana et al., 2021).

En raison de leur spécificité et de leur rapidité, les techniques qui se basent sur la PCR sont largement utilisées pour les agents pathogènes viraux (OIE, 2008).

Pour la détection simultanée de plusieurs agents pathogènes ou le typage de ces derniers ; les tests PCR multiplex sont hautement utilisables (Yang et al., 2022).

Le séquençage de troisième génération (TGS) revêt une importance capitale pour la détection de tous les virus et microbes, et spécialement des nouveaux agents pathogènes ou inattendus, ainsi que pour l'étude des virus à ARN hautement mutables (Butt et al., 2018).

4.3 Sérologie :

L'objectif de cette technique est la détection des anticorps dirigés contre des agents infectieux. Elle constitue une technique simple et rapide qui ne nécessite pas beaucoup de matériels de laboratoire. Les tests ELISA sont souvent utilisés pour le diagnostic au sein des bandes et la surveillance sanitaire. Pour la majorité des agents pathogènes, il existe des kits commerciaux. Dans les programmes de lutte contre des infections causées par la *salmonelle* et le *mycoplasme*, la sérologie est également utilisée. Dans certains pays, le contrôle sanitaire de certaines infections ou maladies aviaires dues aux *Mycoplasma gallisepticum*, *Mycoplasma meleagridis*, *Salmonella Gallinarum/Pullorum* et Influenza aviaire, repose sur l'utilisation de la sérosurveillance pour mettre en évidence la circulation des infections au sein des populations de volailles, basée sur des tests standard : Rapid Serum Agglutination (RSA) et ELISA (EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) et al., 2017; Liebhart et al., 2023a).

Parmi les récentes découvertes, on peut citer « les tests immunologiques multiplex » permettant la détection simultanée d'anticorps dirigés contre plusieurs agents pathogènes (Godoy et al., 2013; Bortolami et al., 2021).

4.4 Histologie :

Dans les organes et les tissus, les modifications microscopiques observées sont importantes au diagnostic. Des méthodes de détection spécifiques, comme l'hybridation in situ et l'immunohistochimie, sont obligatoires pour identifier les agents pathogènes qui ne peuvent être détectés par leurs caractéristiques morphologiques (Neumann & Witter, 1979; Randall & Reece, 1996; Alturkistani et al., 2015).

A l'avenir, le recours à l'intelligence artificielle et la numérisation des préparations histologiques est très important et représentera une avancée majeure pour l'amélioration du diagnostic des pathologies aviaires (Jansen et al., 2018).

4.5 Diagnostic de l'infection bactérienne par la procalcitonine :

Depuis les années 90, le milieu de l'infectiologie est intéressé par la procalcitonine (PCT) pour ses qualités discriminatives à l'égard du diagnostic des infections bactériennes, parasitaires et fongiques. Ce marqueur est évalué depuis bientôt 20 ans et la première étude réalisée, dans le cadre du diagnostic de la méningite bactérienne en 1993, a ouvert une nouvelle voie pour la démarche diagnostique en infectiologie. Au cours des dernières années, les méthodes de dosage se sont affinées permettant une excellente appréciation des variations de son taux dans diverses pathologies. De ce fait, il est devenu un marqueur spécifique et sensible des infections bactériennes et de la décision d'une prescription ou non d'antibiotique. En réanimation, différentes études réalisées ont permis de montrer que son élévation pendant le sepsis était proportionnelle à l'intensité de la réaction inflammatoire de l'hôte à l'agression microbienne. Il est utilisé comme « un marqueur pronostique » pour l'identification précoce des patients à plus haut risque de développer un état septique. Plus récemment, la cinétique du taux de PCT est démontrée aussi dans la gestion d'une antibiothérapie. En infectiologie, l'ensemble des indications de la PCT en font un marqueur potentiel intéressant de la bonne utilisation des antibiotiques (Wolff & Joly-Guillou, 2011a).

La procalcitonine est une pro hormone constituée de 116 acides aminés, de 12.6 kD. Son rôle physiologique reste inconnu ; Hormis celui de précurseur de la calcitonine, c'est une protéine de la phase aiguë de l'inflammation. Elle est susceptible d'être clivée en trois éléments principaux : l'aminoprocitonine, qui constituerait sa partie bioactive, constituée des 57

premiers résidus du précurseur ; la calcitonine ; et la katalcalcitonine qui correspond aux 21 derniers résidus. Chez les sujets sains et en réponse à un stimulus hormonal, sa production physiologique se fait au niveau des cellules thyroïdiennes. Il est encore difficile de connaître exactement quel type de cellule est majoritairement responsable de la synthèse de PCT. La valeur normale de la procalcitonine sérique est inférieure à 0,05 ng/ML (Gaillard, 2002) .

Pendant toutes les premières heures de l'infection, la procalcitonine n'est pas détectable. Elle le devient vers la quatrième heure, ce qui en fait le marqueur le plus précoce de la phase aiguë. Elle montre ensuite un pic entre 6 et 8 heures, suivi d'un plateau à la 24^{ème} heure. Sa demi-vie est de 24 heures environ. Après l'éradication du foyer infectieux, le taux de procalcitonine sérique décroît rapidement (Nhan et al., 2009).

Selon les seuls critères cliniques , la distinction entre infection bactérienne et infection virale est difficile, et ni le dosage de la CRP, ni la numération sanguine ne sont suffisamment discriminants pour permettre cette différenciation (De Talancé et al., 2001).

En 1993, la découverte de la PCT comme marqueur sérique d'infection bactérienne sévère en pédiatrie a ouvert la voie à un marqueur spécifique (Assicot et al., 1993) .

Des études internationales ont ciblé l'intérêt de la procalcitonine dans le suivi de l'antibiothérapie ces dernières années (Christ-Crain et al., 2004).

La procalcitonine est un test immunologique avancé en une seule étape qui offre une méthode précise, rapide, et hautement sensible pour diagnostiquer les infections bactériennes par la mesure de la PCT, palliant ainsi les limites majeures des outils diagnostiques existants grâce des stratégies d'optimisation et à une conception innovante. Cette approche s'avère prometteuse en tant que plateforme diagnostique générale pour diverses maladies liées aux infections bactériennes (W. J. M. Landman et al., 2013).

5. Défis et Perspectives :

Les défis contemporains s'articulent autour de la transition numérique (IA) tandis que les perspectives se concentrent sur l'innovation technologique et la régulation éthique pour créer de nouvelles opportunités.

*** Spécialisation et intégration :** La demande croissante en infrastructures, en expertise et en compétences rend obligatoire le savoir-faire humain et la mise en relation des technologies. Les futures techniques de diagnostic feront appel à des méthodes moléculaires plus avancées et à des outils bioinformatiques, même si les techniques conventionnelles conserveront toute leur importance (Liebhart et al., 2023a).

***Gestion des données :** Pour relier les examens diagnostiques aux environnements agricoles, le recours aux technologies de l'information sera accru, ce qui nécessitera une étroite collaboration entre les parties prenantes et des bases de données accessibles. Pour atteindre l'objet d'une attention particulière, les questions éthiques liées aux systèmes de surveillance automatisés et la sécurité des données doivent être gérées (Schillings et al., 2021).

***Normalisation :** La normalisation des systèmes d'assurance qualité et des techniques de laboratoire est importante, notamment la collaboration à des essais inter-laboratoires afin de garantir la précision des résultats (Hess et al., 2007; Nam et al., 2020). Le diagnostic des pathologies infectieuses des volailles est une filière complexe et en constante évolution qui exige une approche intégrée et globale. Cela implique de combiner les observations réalisées dans les exploitations et les technologies émergentes avec des méthodes de laboratoire de pointe issues de différentes disciplines, tout en relevant les défis liés à la normalisation, à la gestion des données et au besoin permanent d'expertise et d'infrastructures (Liebhart et al., 2023b).

CHAPITRE III : Lutte contre les maladies bactériennes en aviculture par antibiotiques et Antibiorésistance

1. Impact de l'usage des antibiotiques en aviculture (Contexte général et Mondial) :

Chez les animaux destinés à l'alimentation, les antibiotiques ont toujours été utilisés afin d'améliorer leur santé, de stimuler leur croissance, de diminuer l'incidence des maladies et de réduire leur mortalité, ce qui permet d'augmenter la productivité. Cependant, l'utilisation généralisée des antibiotiques a conduit au développement et à la propagation de mécanismes de résistance aux antibiotiques chez les bactéries pathogènes, qui peuvent facilement se transmettre au sein des populations microbiennes. De nombreux pays ont mis en place des restrictions sévères ou des interdictions concernant l'utilisation non thérapeutique des antibiotiques, soulignant la nécessité urgente de trouver des alternatives (World Health Organization, 2004).

A l'échelle mondiale, la résistance aux antibiotiques est un problème qui touche les écosystèmes humains et animaux, compromettant le potentiel économique et nutritionnel des volailles et d'autres animaux destinés à l'alimentation (World Health Organization, 2017; Abd El-Hack et al., 2022).

Près de 10 millions de personnes pourraient mourir d'ici 2050 à cause de bactéries résistantes aux antibiotiques, selon les projections (O'Neill, 2016).

2. La problématique de l'antibiorésistance :

L'antibiorésistance en aviculture est une problématique de santé mondiale majeure, exacerbée par l'intensification des élevages et la mondialisation des échanges. L'utilisation abusive et inappropriée d'antibiotiques (mésusage) dans le secteur avicole pour stimuler la croissance ou prévenir les maladies a favorisé l'émergence de bactéries multirésistantes, posant des risques directs pour la santé humaine et animale

***Le Mésusage et l'utilisation abusive des antibiotiques :** l'utilisation généralisée et souvent sous-thérapeutique des antibiotiques dans l'élevage avicole a entraîné la propagation et l'émergence de bactéries multirésistantes (Liebhart et al., 2023b).

Chez les animaux et les humains, cette pratique contribue à la résistance aux antibiotiques (Talebi Bezmin Abadi et al., 2019; Yang et al., 2021).

***Impact économique et sanitaire :** les infections causées par des bactéries résistantes aux antibiotiques entraînent plus de 0,7 million de décès par an dans le monde. D'ici 2050, si la crise n'est pas contrôlée, les recherches estiment que ce chiffre pourrait dépasser les 10 millions (Church & McKillip, 2021).

La Banque mondiale estime qu'après 2030, la résistance aux antimicrobiens pourrait coûter 1 000 milliards de dollars américains par an à l'économie mondiale (Tang et al., 2017).

Afin de lutter contre cette menace, de nombreux pays ont interdit ou restreint les AGP. Par exemple, l'Union européenne en 2006 a interdit les AGP, et la Chine en 2020 est officiellement entrée dans une période dite : « sans antibiotiques dans l'alimentation animale » (Tian et al., 2021).

3. Résistance aux antibiotiques en Afrique :

L'Afrique est confrontée à un fardeau majeur de pathologies d'origine alimentaire, représentant une menace sérieuse pour la santé publique et un frein au développement économique. Le continent supporte l'un des taux de morbidité et de mortalité les plus élevés au monde liés à la consommation d'aliments avec environ 91 millions de cas et 137 000 décès par an (World Health Organization, 2004).

Par rapport aux autres continents et malgré la faible production d'antibiotiques en Afrique, la disponibilité en vente libre d'antibiotiques dans de nombreux pays africains contribue à aggraver la résistance aux antibiotiques. La présence de médicaments contrefaits complique encore d'avantage la lutte contre la résistance aux antimicrobiens (Alonso et al., 2017).

Des études menées dans divers pays africains, notamment au Nigeria, à l'île Maurice, au Ghana et en Afrique du Sud, ont mis en évidence une résistance importante aux antibiotiques les plus courants tels que : la tétracycline, l'ampicilline et l'oxacilline chez '*Salmonella*' et d'autres bactéries présentes chez les volailles (Agada, 2014).

L'environnement joue un rôle crucial dans la propagation des bactéries résistantes aux antibiotiques ; c'est ainsi que les rivières, les sols et les stations d'épuration des eaux usées, contaminés sont identifiés comme des réservoirs (Bougnom et al., 2019).

D'après Rahman et al. (2022), bien qu'aucune alternative ne puisse remplacer complètement les antibiotiques comme facteurs de croissance, une combinaison d'approches semble être la plus prometteuse pour une production animale durable. Il est essentiel de poursuivre les recherches afin, d'évaluer leurs effets synergiques, de comprendre leurs

impacts physiologiques et d'obtenir l'approbation des autorités réglementaires, dans le but d'adopter une approche « One Health » pour gérer efficacement la résistance aux antibiotiques (Rahman et al., 2022).

4. Les stratégies visant à réduire la dépendance aux antibiotiques :

Ces stratégies reposent sur une approche multidisciplinaire, souvent résumée par le concept « Une seule santé » (One Health), qui englobe la santé humaine, animale et environnementale et qui vise à limiter la pression de sélection responsable de l'émergence de l'antibiorésistance.

***Additifs alimentaires** : les chercheurs s'efforcent d'identifier des additifs alimentaires susceptibles, d'améliorer les performances de croissance, de stimuler le système immunitaire, de réduire la morbidité et la mortalité, et de préserver la santé des consommateurs, réduisant ainsi le besoin d'antibiotiques (Rahman et al., 2022).

***Améliorations biosécuritaires et environnementales** : La réduction du risque de bactéries résistantes aux antibiotiques implique également la prévention de la contamination environnementale et l'amélioration de la santé des volailles, de la biosécurité et des procédures de nettoyage à toutes les étapes de la production avicole (Abreu et al., 2023; Azizi et al., 2024).

5. Principales alternatives aux antibiotiques utilisés comme facteurs de croissance :

D'après Azizi (2024), l'utilisation d'antibiotiques dans la production avicole a entraîné une grande résistance antimicrobienne, ce qui constitue une grave menace pour la santé publique. L'interdiction des antibiotiques à usage non thérapeutique nécessite l'exploration et la mise en œuvre de composés bioactifs alternatifs, tels que : les huiles essentielles, les peptides antimicrobiens, les bactériophages, les prébiotiques, les probiotiques, les enzymes et les acides organiques (Azizi et al., 2024).

Selon (Andrew Selaledi et al., 2020), l'importance est d'améliorer les conditions sanitaires et la biosécurité dans les exploitations agricoles, comme principales alternatives aux antibiotiques, pour la prévention et le contrôle des pathologies. Les probiotiques, les prébiotiques, les acides organiques, les extraits de plantes et les enzymes offrent des perspectives prometteuses pour réduire la dépendance aux substances antimicrobiennes, contribuant ainsi à une production animale plus prolifique et plus saine tout en atténuant les risques de résistance aux antibiotiques. Un suivi et une surveillance coordonnés, associés à

l'adoption de ces alternatives, sont importants pour maîtriser la résistance aux antimicrobiens, en particulier en Afrique (Andrew Selaledi et al., 2020) .

***Huiles essentielles** : ces composés naturels et leurs nano-émulsions constituent des alternatives prometteuses en raison de leur capacité : à améliorer la santé intestinale, à réduire les infections bactériennes, et à renforcer l'activité des enzymes digestives chez les poulets (Abd El-Hack et al., 2022).

Ils contribuent également aux performances de croissance, à la capacité antioxydante et à l'immunité (Süntar & Yakıncı, 2020; Linh et al., 2022).

***Extraits végétaux et Composés phytochimiques** : ces composés d'origine végétale, également appelés « plantes médicinales » ou « phytobiotiques », agissent grâce à leurs propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes (Süntar & Yakıncı, 2020) et antimicrobiennes. Ils sont disponibles, naturellement moins chers, et améliorent la production et la santé des volailles sans laisser de résidus, ni développer de résistance (Karangiya et al., 2016).

Cependant, ils peuvent nécessiter des doses importantes, avoir des propriétés lipophiles limitant leur administration, et certains peuvent affecter les qualités organoleptiques des produits d'origine animale ou entraîner une toxicité (Alves-Santos et al., 2020).

On peut citer comme exemples, les extraits de cannelle, de poivre, de clou de girofle, d'ail, de romarin, de gingembre, de menthe et de thym, qui peuvent améliorer l'efficacité alimentaire, le microbiote intestinal et le poids corporel, en inhibant les bactéries pathogènes et en favorisant les bactéries bénéfiques (Azizi et al., 2023; Cross et al., 2007; Valenzuela-Grijalva et al., 2017; Hadeef et al., 2025).

***Acidifiants** : les acides organiques, tels que : l'acide benzoïque, formique et citrique, réduisent les bactéries pathogènes et coliformes, modulent la morphologie muqueuse et les sécrétions pancréatiques, et inhibent les processus inflammatoires (Alves-Santos et al., 2020).

Les acides organiques à chaîne courte (C1-C7) possèdent des effets antibactériens et sont utilisés comme compléments alimentaires ou additifs alimentaires (J. P. Wang et al., 2009; Scicutella et al., 2021).

Les acides organiques améliorent l'utilisation des nutriments et réduisent le pH dans l'intestin (Khan & Iqbal, 2016), et inhibent les bactéries pathogènes, telles que : « *E. coli* et *Salmonella* » (Karangiya et al., 2016).

Ils diminuent la production de métabolites microbiens qui freinent la croissance et réduisent aussi les infections subcliniques (Khan & Iqbal, 2016).

Les acides organiques courants ont démontré aussi leur capacité à améliorer la santé intestinale et les performances de croissance (Qaisrani et al., 2015).

Ils peuvent être produits à grande échelle et ils sont rentables (Alves-Santos et al., 2020; Pearlin et al., 2020) .

***Enzymes :** Les enzymes sont des additifs alimentaires qui améliorent la digestibilité, l'absorption des nutriments et la conversion alimentaire, ce qui provoque une augmentation du gain de poids chez les volailles (Khattak et al., 2006).

Les protéases, en particulier, facilitent la digestion des protéines et des acides aminés chez les jeunes poulets (Pirgozliev et al., 2015).

Les enzymes décomposent certaines liaisons chimiques des nutriments. Elles sont efficaces pour dégrader les facteurs antinutritionnels, tel que les phytases microbiennes et les polysaccharides non amylacés, optimiser l'utilisation des nutriments (Song et al., 2023) et réduire les coûts alimentaires (Zaghari et al., 2015; Torres-Pitarch et al., 2017).

***Probiotiques (micro-organismes alimentaires directs) :** les probiotiques sont des micro-organismes vivants bénéfiques pour la santé : 1° renforcent la flore intestinale (microbiote) qui confère des avantages pour la santé de l'hôte (Tzortzis et al., 2005; Indikova et al., 2015); 2° modulent les réponses immunitaires ; 3° inhibent les bactéries nocives lorsqu'ils sont administrés en quantités adéquates (Angelin & Kavitha, 2020) ; 4° améliorent les performances productives et la croissance ; et 5° améliorent l'absorption des nutriments (Alagawany et al., 2016; Rahman et al., 2022).

Les probiotiques renforcent l'immunité et augmentent la hauteur des villosités (Ślizewska & Chlebicz, 2019; Scott et al., 2020; Hadeef et al., 2025)

Ils peuvent améliorer la digestion des aliments et réduire la diarrhée. Parmi leurs inconvénients, on peut citer : les faibles taux de survie, les variations de qualité, et le risque de transfert de gènes de résistance aux antibiotiques (Angelin & Kavitha, 2020; Sinurat et al., 2020; Imperial & Ibana, 2016).

***Prébiotiques :** Les prébiotiques sont des glucides non digestibles qui stimulent de manière sélective les bactéries bénéfiques dans le côlon. Ils sont considérés comme des alternatives efficaces (Kolida & Gibson, 2011; Gahamanyi et al., 2021), améliorant ainsi la

santé gastro-intestinale et empêchant la colonisation par des agents pathogènes (Gibson & Fuller, 2000).

Les prébiotiques contribuent à la santé intestinale, améliorent l'absorption des minéraux et réduisent le risque de cancer (Karakan et al., 2021).

***Synbiotiques** : combinaisons de prébiotiques et de probiotiques qui ont des effets bénéfiques sur : la croissance, le microbiote et la réduction du développement de la résistance aux antibiotiques (D. Joshi et al., 2018).

Ils présentent des faiblesses et des forces similaires à celles des prébiotiques et des probiotiques, mais peuvent surmonter les défis liés à la survie des probiotiques (Cobb et al., 2019).

***Bactériophages** : les bactériophages sont des virus qui infectent et détruisent spécifiquement les cellules bactériennes par lyse (Niu et al., 2009; Żbikowska et al., 2020) .

En aviculture, ils sont classés comme alternatives aux antibiotiques pour leur capacité à améliorer la santé intestinale et les performances de croissance, à renforcer le système immunitaire et à contrôler les bactéries pathogènes (Lin et al., 2012; Upadhaya et al., 2021).

Ils ne laissent pas de composés résiduels dans l'environnement et ils sont hautement spécifiques (Callaway et al., 2011; Silveira et al., 2021).

Les préoccupations portent notamment sur les problèmes liés à la fabrication commerciale et à la stabilisation et sur le risque de transfert de gènes de résistance aux antibiotique (D. Joshi et al., 2018; C. Wang et al., 2020).

***Peptides antimicrobiens (PAM)** : Les PAM sont des protéines amphipathiques courtes qui modulent les réponses immunitaires et agissent comme inhibiteurs à large spectre contre les bactéries (Xu et al., 2003).

Les PAM, y compris les bactériocines, sont des alternatives prometteuses qui améliorent la morphologie intestinale, l'équilibre du microbiote intestinal, les taux de croissance et la digestibilité des nutriments, et réduisent l'inflammation (S. Wang et al., 2016; Kurt et al., 2019).

Ils agissent par le biais de mécanismes différents, tels que l'inhibition de la synthèse des protéines des acides nucléiques et de la synthèse des membranes cellulaires et des activités enzymatiques (Brogden, 2005).

Le risque de résistance est minimalisé suite à leur dégradation rapide dans les intestins qui empêche la libération dans l'environnement des PAM actives. Cependant, la synthèse chimique peut être coûteuse et les rendements de production sont souvent faibles ; elles sont susceptibles d'être dégradées par les enzymes digestives (Ioannou et al., 2018; Assoni et al., 2020).

*** Antibiotiques promoteurs de croissance (APC) :** Ce sont des antimicrobiens administrés à faibles doses dans l'alimentation animale pour améliorer la productivité et la conversion alimentaire.

A usage sous-thérapeutique, ils favorisent la croissance des animaux, en diminuant la morbidité et la mortalité, en réduisant les maladies subcliniques, en réduisant les coûts d'alimentation, en améliorant la conversion alimentaire et la qualité de la viande et en augmentant les taux de croissance quotidiens (Zuidhof et al., 2014).

Leurs modes d'action comprennent : la réduction des métabolites microbiens inhibiteurs de croissance, l'inhibition des infections subcliniques, l'augmentation de la disponibilité des nutriments par la réduction de la compétition microbienne et l'amélioration de l'absorption des nutriments par un épithélium polarisé plus fin (Niewold, 2007; Broom, 2017).

CHAPITRE IV : Utilisation d'une nouvelle stratégie alimentaire « Les phytogéniques eubiotiques »

1. Additifs alimentaires en aviculture

Si l'amélioration de la production est une préoccupation majeure pour les pays en développement, le contrôle de la résistance aux antibiotiques est une préoccupation primordiale pour les pays développés. La nécessité d'agir sur les questions de production et de santé (animale et humaine), tout en garantissant le bien-être animal, a orienté la recherche vers de nouvelles stratégies (intelligentes, économiques et sûres). Celles-ci impliquent, entre autres, l'utilisation de boosters polyvalents comme additifs alimentaires multifonctionnels capables d'améliorer simultanément les performances de production, l'état de santé et le bien-être des animaux, faisant passer l'exploration de deux grandes classes d'additifs, des probiotiques (O. Alloui & Hadeif, 2008; Naeem & Bourassa, 2025) aux eubiotiques phytogéniques (Darmawan et al., 2022).

Au premier janvier 2006, les autorités européennes ont interdit les antibiotiques comme facteurs de croissance en alimentation animale (article 11-2 du règlement (CE) n°2003/1831) suite à l'apparition récurrente de problèmes de santé publique liés aux bactéries résistantes aux antibiotiques.

Les industriels de l'alimentation animale se sont alors efforcés de rechercher des alternatives à ces molécules, désormais bannies de la liste des additifs pour les animaux d'élevage.

Les compléments alimentaires sont « les denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal, et qui constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet physiologique ou nutritionnel, seuls ou combinés, commercialisés sous forme de doses, à savoir les formes de présentation telles que, les comprimés, les pilules, les gélules, les pastilles et autres formes similaires, ainsi que, les ampoules de liquide, les sachets de poudre, les flacons munis d'un compte-gouttes et autres formes analogues de préparations en poudre ou liquides, destinées à être prises en unités mesurées de faible quantité ». Ils peuvent être à base de plantes, de minéraux et vitamines, ou d'autres concentrés de substances à but physiologique et nutritionnel (Commission européenne, 2002; Alleman et al., 2013).

Par rapport aux médicaments, la commercialisation du complément alimentaire ne nécessite pas d'autorisation de mise sur le marché (AMM), et il ne peut, revendiquer aucun effet thérapeutique. La conformité des compléments alimentaires mis sur le marché, en matière de sécurité que d'information du consommateur avec la réglementation, relève de la responsabilité de l'industriel (Anses, 2019).

Les additifs destinés à l'alimentation des animaux ont été définis par la Commission Européenne (CE) en 2003, comme étant « des substances, préparations ou micro-organismes, autres que les matières premières pour aliments des animaux et les prémélanges, délibérément ajoutés à l'eau pour animaux ou aux aliments pour remplir notamment plusieurs ou l'une des fonctions ». Ces fonctions peuvent être classés dans une ou plusieurs des catégories suivantes :

- a) **Additifs technologiques** : toutes les substances ajoutées aux aliments pour animaux à des fins technologiques (liant, conservateur, additif pour l'ensilage, etc).
- b) **Additifs nutritionnels** (vitamine, acide aminé, oligo-élément) ;
- c) **Additifs zootechniques** : tous les additifs utilisés pour influencer favorablement les performances des animaux en bonne santé ou l'environnement ;
- d) **Additifs sensoriels** : toutes les substances qui sont ajoutées à l'alimentation animale, modifient ou améliorent les propriétés organoleptiques des aliments pour animaux ou les caractéristiques visuelles des denrées alimentaires issues d'animaux ;
- e) **Coccidiostatiques et histomonostatiques** : La réglementation établie par la CE (2003), appliquée aux additifs alimentaires, ne concerne pas les médicaments vétérinaires tels que définis à la directive 2001/82/CE (1), à l'exclusion des histomonostatiques et des coccidiostatiques utilisés comme additifs pour l'alimentation animale (Alleman et al., 2013).

Une huile essentielle est définie, selon la norme ISO 9235 (2021), comme un « produit obtenu à partir d'une matière première naturelle d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe de fruits de citrus (agrumes), soit par distillation sèche, après séparation de l'éventuelle phase aqueuse par des procédés physiques».

Selon la Commission de la Pharmacopée Européenne (2008), une définition plus précise de l'huile essentielle a été adoptée. Elle la qualifie comme un « produit odorant, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, généralement de composition complexe soit par distillation sèche, soit par entraînement par la vapeur d'eau, ou par un

procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition ». La Commission européenne de Pharmacopée a accordé une révision de la monographie générale Huiles essentielles (2098) lors de sa 169^e session (mars 2021) et qui l'a publié dans le Supplément 10.7 de la Pharmacopée Européenne (Ph. Eur.). Elle adopte la définition suivante : « Produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. En présence d'une phase aqueuse, les huiles essentielles en sont séparées par un procédé physique qui n'altère pas significativement leur composition ».

Les huiles essentielles en alimentation animale sont souvent utilisées et commercialisées en tant que compléments alimentaires. Néanmoins, elles peuvent être classées réglementairement en tant qu'additif alimentaire dans la catégorie des additifs sensoriels et dans le groupe fonctionnel des composés ou substances aromatiques. C'est le cas de l'huile essentielle tirée des graines d'*Elettaria cardamomum* (L.) Maton (Commission européenne, 2020) ou de l'huile essentielle d'ylang-ylang extraite des fleurs de *Cananga odorata* (Commission européenne, 2022).

En médecine humaine, l'usage des huiles essentielles à des fins thérapeutiques est déterminé par les textes réglementaires régissant les spécialités pharmaceutiques contenant des HE et répondant à la définition des médicaments à base de plantes ayant les caractéristiques de la directive 2004/24/CE. Cette dernière considère, qu'en absence d'une AMM obtenu auprès de The Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC), la vente d'une plante en tant que médicinale ayant des indications thérapeutiques est interdite. Les huiles essentielles peuvent être utilisées dans un cadre thérapeutique sous forme de préparations dites magistrales contenant des HE.

Les médicaments vétérinaires à base de drogue végétale « à base de plantes » ou des préparations de plantes et huiles essentielles fréquemment utilisées, ne peuvent pas être utilisés à des fins thérapeutiques sur des animaux producteurs de denrées alimentaires car ils n'ont pas fait l'objet de l'évaluation prévue par la réglementation sur les médicaments vétérinaires et/ou ils n'ont pas encore attribué leur limite maximale de résidus (LMR) dans les denrées alimentaires d'origine animale. Les seuls médicaments vétérinaires contenant des huiles essentielles autorisés sur le marché français sont des produits destinés aux animaux de compagnies (chien et chat) ou aux abeilles, hormis un gel pour application topique contenant

la Lévométhol destiné au cheval et un autre produit à usage externe, cicatrisant et antiseptique, pour toutes espèces (ANSES, 2024). Cette dernière condition, dans la réglementation européenne, est nécessaire pour l'obtention de l'autorisation de la mise sur le marché (AMM) des médicaments vétérinaires destinés aux animaux producteurs de denrées alimentaires (ANSES, 2022).

Les additifs alimentaires utilisés en aviculture comprennent les prébiotiques, les probiotiques, les nanoparticules, les additifs alimentaires enzymatiques et les plantes (Pandey et al., 2019; Kapitonova & Czerwinski, 2022; Momot et al., 2023) .

Ces additifs sont utilisés pour améliorer le taux de croissance, augmenter la productivité, renforcer l'immunité et améliorer la qualité de la viande des poulets de chair. Les prébiotiques, les probiotiques et les nanoparticules, sont utilisés comme stimulateurs de croissance pour augmenter les performances, le taux de croissance, et la résistance aux agents pathogènes.

Dans l'ensemble, ces additifs alimentaires sont utilisés pour optimiser la santé, la croissance et la qualité de la volaille dans l'industrie (**figure 1**).

Il a été démontré que les additifs alimentaires probiotiques, tels que le «*Pediococcus acidilactici*» qui a montré un effet éventuel et limitant sur les facteurs stressants, et un effet bénéfique sur le plan sanitaire chez les poulets de chair (O. Alloui & Hadeef, 2008).

De plus, les herbes et leurs extraits (plantes médicinales) ont été utilisés comme alternatives aux additifs alimentaires conventionnels, car il a été démontré qu'ils stimulent la prise alimentaire et ont une activité antimicrobienne ; telles que l'activité antibactérienne des huiles essentielles (HE) algériennes de Thym (*Thymus vulgaris* L.) à Carvacrol et celle de Coriandre (*Coriandrum sativum* L.) à Linalool contre les souches aviaires d'*Escherichia coli* multirésistantes qui ont été enregistrée in vitro (Mansouri et al., 2018).

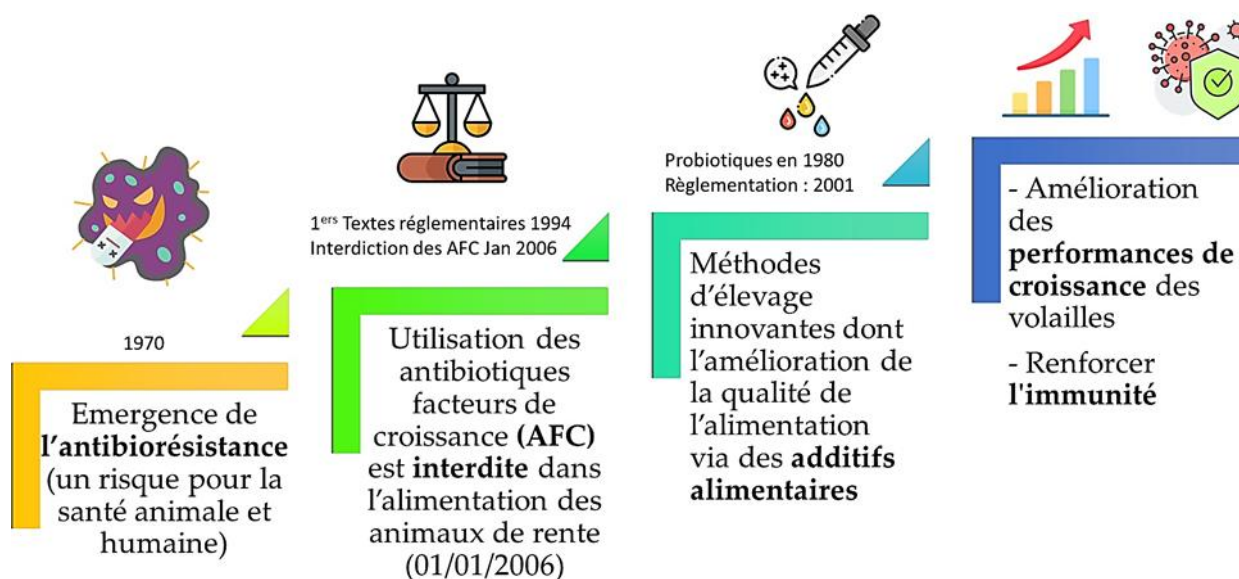


Figure 1 : Évolution de l'utilisation des additifs alimentaires (Hadeef et al., 2023).

2. Phytothérapie en aviculture :

La phytothérapie (du grec « phytos » = plante, et « therapiea » = thérapie) est l'art de soigner par les plantes. C'est l'utilisation thérapeutique des plantes médicinales ou de leurs extraits solubles dans l'eau ou dans l'alcool. Dans la mesure où les plantes sont utilisées pour produire l'effet contraire aux symptômes, la phytothérapie relèverait de l'allopathie au sens strict.

La phytothérapie fait référence à l'utilisation de plantes médicinales, définies dans la Pharmacopée française de la façon suivante : « Les plantes médicinales sont des drogues végétales au sens de la Pharmacopée Européenne (1433) dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses ». Il est peu fréquent que la plante soit utilisée entière ; le plus souvent il s'agit d'une ou de plusieurs parties « de racines, de graines, et d'autres ressources naturelles (herbes) » qui peuvent avoir chacune des utilisations différentes.

Par extension, la pharmacognosie est l'étude des matières premières d'origine naturelle : animale ou végétale ayant un intérêt médical. Elle permet la connaissance des produits qui dérivent des plantes (indications, contre-indications, interactions médicamenteuses, effets secondaires, ...) et permet de mettre en place des méthodes objectives de contrôle de la qualité des drogues végétales (Dor, 2017).

Il s'agit d'un type de traitement alternatif et complémentaire pratiqué depuis des siècles. Les plantes médicinales ont été utilisées pour traiter diverses maladies et maintenir la santé (Barkat et al., 2021; Anju Balkrishna Bhandole & Harish N. Kakrani, 2022; Ferreira De Oliveira et al., 2022).

La pratique de la phytothérapie remonte à l'Antiquité, avec des preuves de son utilisation remontant à des milliers d'années. La médecine traditionnelle à base de plantes est encore largement pratiquée aujourd'hui et de nombreux médicaments pharmaceutiques modernes sont dérivés de composés végétaux. La découverte et le développement de nouveaux médicaments à base de plantes présentent des défis en termes d'identification des constituants actifs, de caractérisation de ceux-ci, d'évaluation de leur activité pharmacologique et de compréhension de leurs interactions médicamenteuses potentielles et de leur toxicité. Les exigences réglementaires jouent également un rôle crucial dans le développement et la standardisation des médicaments à base de plantes (Barkat et al., 2021; Matole et al., 2021; G. Usha Kiran et al., 2023).

Les composés actifs présents dans les plantes ont une efficacité thérapeutique et peuvent être utilisés comme médicaments vétérinaires, principalement pour leurs effets antibactériens, antiparasitaires, antimycotiques, immunostimulants et désinfectants (Chitra K et al., 2022).

La phytothérapie a démontré plusieurs propriétés : antibactériennes et antiparasitaires (Antonia Nostro & Teresa Papalia, 2012; Arzanlou, 2016; Ferreira De Oliveira et al., 2022), anti-inflammatoire et analgésique (Yu et al., 2015; Barker, 2023), antioxydantes (Singh et al., 2020; Jaworska et al., 2021) ; des effets immunomodulateurs (Khan & Iqbal, 2016; Abbas et al., 2017); des effets positifs sur les facteurs de croissance (Chowdhury et al., 2018; Olanrewaju et al., 2019); un rôle important sur l'indice de consommation et la conversion alimentaire (Lin et al., 2012) ; et la production des œufs et la qualité (Emami et al., 2021) .

La médecine ethnovétérinaire est une pratique courante dans les régions où les médicaments vétérinaires modernes ne sont pas facilement disponibles (Herdiana et al., 2021).

Concernant la gestion des exploitations d'élevage, la médecine ethnovétérinaire a joué un rôle majeur depuis la domestication jusqu'à maintenant. Les auteurs retracent l'évolution des pratiques ethnovétérinaires puis examinent l'évolution de la recherche scientifique dans l'amélioration et la connaissance de la médecine vétérinaire traditionnelle (Tchetan et al., 2021).

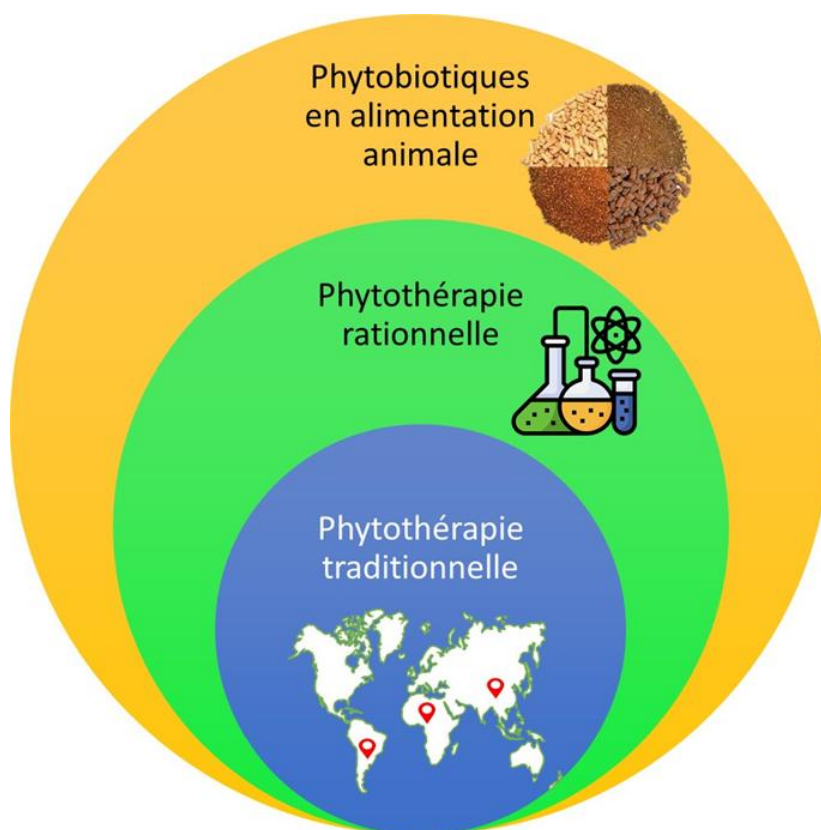


Figure 2 : Concept de la phytothérapie (Hadeef et al., 2023).

3. Les bienfaits de la phytothérapie en aviculture :

En aviculture, la phytothérapie, ou l'utilisation de plantes médicinales comme remèdes, présente plusieurs avantages. Il est économique, facilement accessible et a une longue histoire d'efficacité. La thérapie à base de plantes, en tant que médecine complémentaire et alternative (CAM), est largement utilisée en aviculture, en particulier dans le tiers monde où elle reste le principal soin de santé (Leonida & Caballero, 2022).

Les composés phytochimiques des plantes peuvent favoriser diverses activités biologiques, notamment la croissance, l'activité antioxydante et l'immunomodulation, qui sont bénéfiques pour la santé aviaire (Mir & Bhat, 2021).

De plus, les phytothérapeutiques peuvent être utilisées pour traiter les symptômes du stress chez les oiseaux, tels que l'anxiété et l'irritabilité et les troubles du sommeil (Kolb & Aziz-Kalbhen, 2022).

Il a été démontré aussi, que certains composés d'origine végétale favorisent la régénération des follicules pileux et la croissance des cheveux dans des modèles animaux, ce qui suggère

leur utilisation potentielle pour la santé des plumes aviaires (P. S. Joshi et al., 2021). Dans l'ensemble, la phytothérapie propose une approche holistique et naturelle de la santé aviaire, offrant une gamme d'avantages pour l'aviculture.

Tableau 1 : Quelques plantes médicinales vétérinaires et leurs métabolites secondaires ciblant essentiellement les coccidies chez les volailles dont le poulet (extrait depuis (Tchetan et al., 2021)).

Plante	Partie utilisée	Métabolite secondaire	Agent pathogène	Espèce animale
<i>Curcuma longa</i> L.	Rhizome	Curcuma	<i>Eimeria tenella</i>	Volaille
<i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench	Fleur	Acide chlorogénique, Echinolone	Coccidies	Poulet
<i>Pinus radiata</i> D. Don	Ecorce	Tanin	<i>E. tenella</i> , <i>Eimeria maxima</i> , <i>Eimeria acervulina</i>	Volaille
<i>Camellia sinensis</i> (L.) Kuntze	Feuille	Composés polyphénoliques	Coccidies	Volaille
<i>Berberis lycium</i> Royle	Ecorce de la racine	Alcaloïdes (berbérine)	<i>E. tenella</i>	Poulet
<i>Cyamopsis tetragonoloba</i> (L.) Taub.	Graine	Saponine	Coccidies	Poulet
<i>Olea europaea</i> L.	Arbre	Acide maslinique	Coccidies	Volaille
<i>Vitis vinifera</i> L.	Graine	Proanthocyanidine	Coccidies	Volaille
<i>Momordica charantia</i> L.	Feuille, fruit et tige	—	<i>Ascaridia galli</i> (Schrunk, 1788)	Poulet
<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	Rhizome	Gingérol et shogaol	—	Poulet

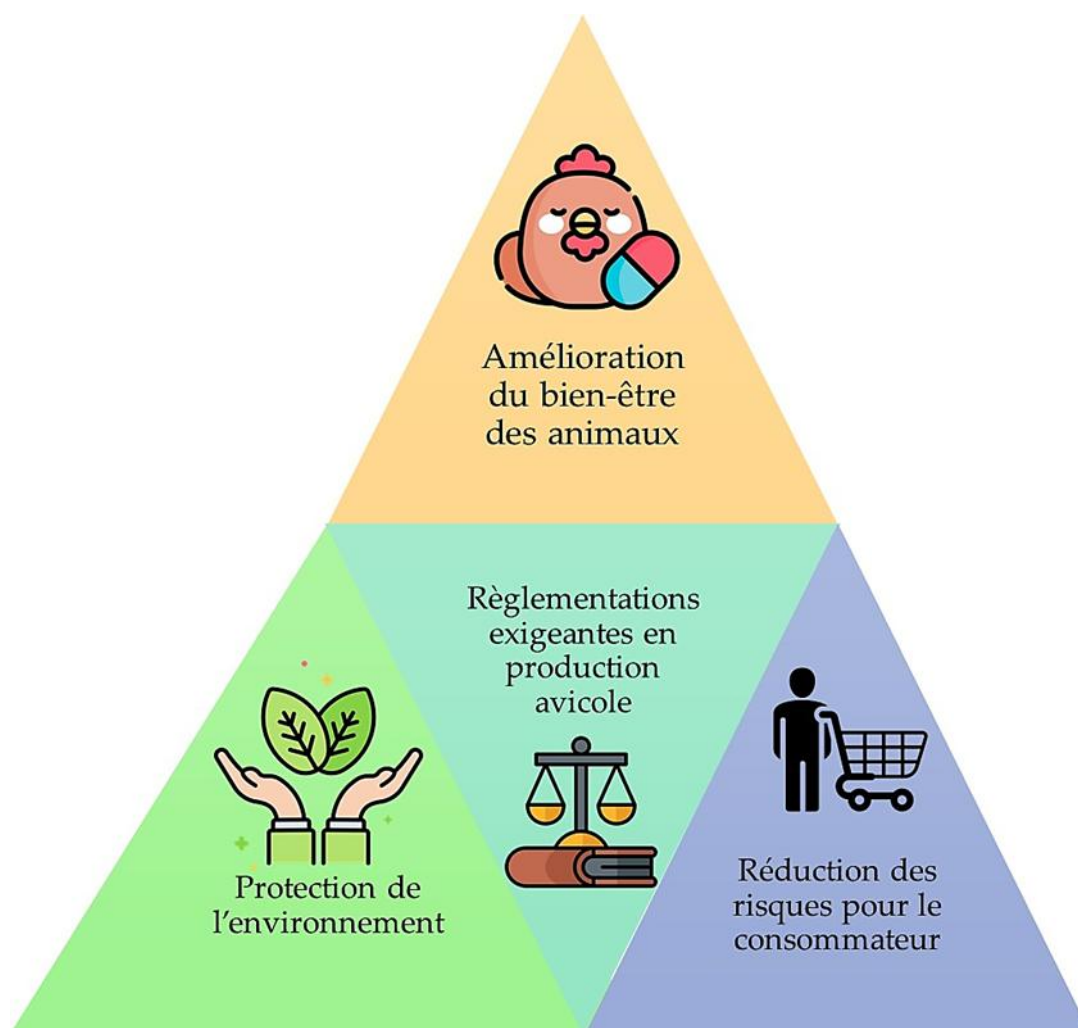


Figure 3: Objectifs de l'utilisation des plantes médicinales en production avicole (Hadeef et al., 2023).

4. Les composés actifs des plantes médicinales :

Les phytobiotiques utilisés en médecine vétérinaire contiennent des composés bioactifs tels que des terpènes, des composés azotés, des stéroïdes, des composés phénoliques, des glucides, des alcaloïdes, des lignanes, des glycosides, des tanins, et des terpènes. Ces composés possèdent diverses propriétés bénéfiques, notamment des effets antimicrobiens, antiparasitaires, antioxydants, anti-inflammatoires, immunostimulants, anticancéreux et anthelminthiques. Ils ont été étudiés pour leur potentiel en tant qu'améliorateurs de performance et alternatives aux médicaments vétérinaires chez les animaux de ferme (Skoufos et al., 2020).

D'autres études *in vivo* sont nécessaires pour confirmer la bioactivité des extraits de plantes médicinales et des composés destinés à la mise au point de nouveaux remèdes (Abdalla & McGaw, 2020).

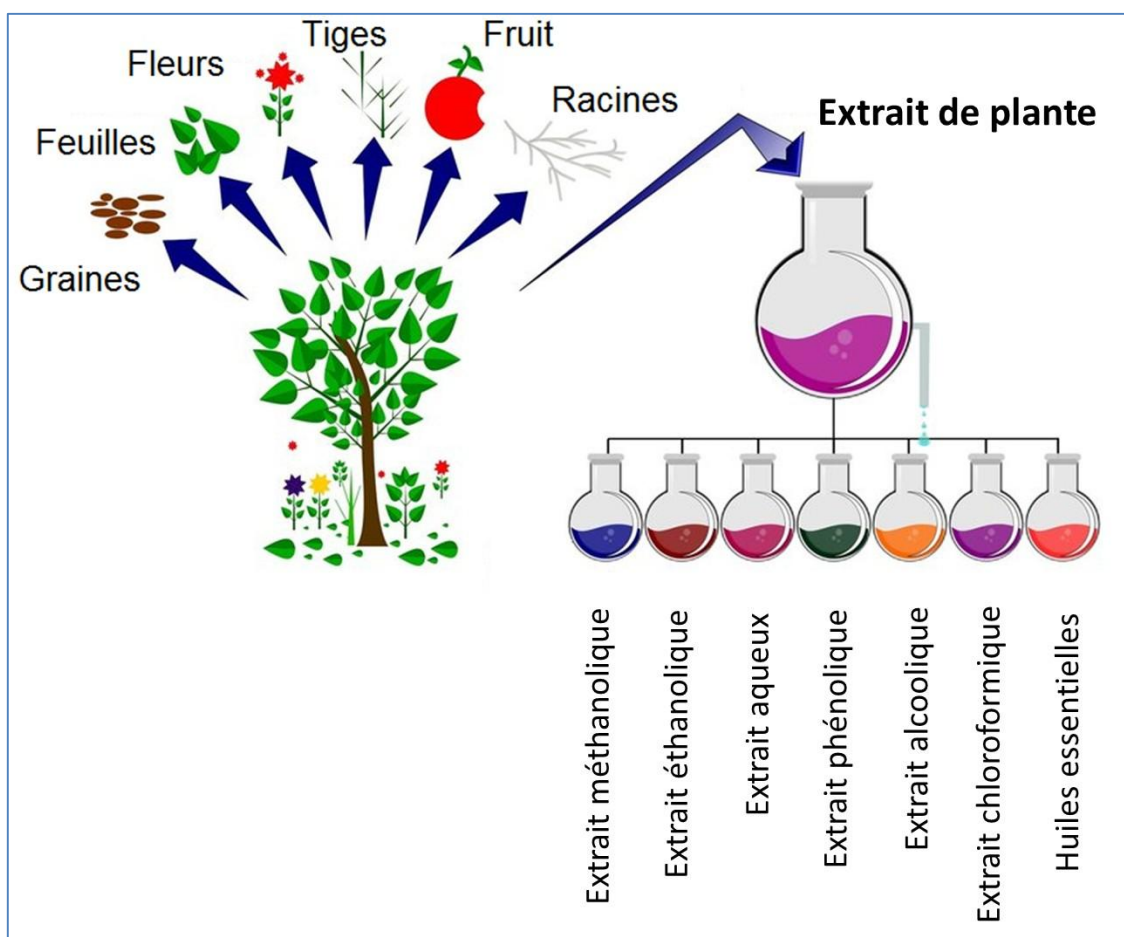


Figure 4 : Composition des extraits des plantes (Hadeef et al., 2023, Modifiée d'après Ali et al., 2020).

Tableau 2: Principaux composants des huiles essentielles ayant des propriétés antibactériennes in vitro ou dans des modèles alimentaires (Burt, 2004).

Nom commun de l'huile essentielle en anglais	Nom Latin des plantes	Composés majeurs	Composition Approximative (%)
Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i>	Linalool	26%
	(immature leaves)	E-2-decanal	20%
Coriander	<i>Coriandrum sativum</i> (seeds)	Linalool	70%
		E-2-decanal	—
Cinnamon	<i>Cinnamomum zeylandicum</i>	Trans-cinnamaldehyde	65%
Oregano	<i>Origanum vulgare</i>	Carvacrol	Trace-80%
		Thymol	Trace-64%
		g-Terpinene	2 – 52%
		p-Cymene	Trace-52%
Rosemary	<i>Rosmarinus officinalis</i>	a-pinene	2 – 25%
		Bornyl acetate	0 – 17%
		Camphor	2 – 14%
		1,8-cineole	3 – 89%
Sage	<i>Salvia officinalis</i> L.	Camphor	6 – 15%
		a-Pinene	4 – 5%
		h-pinene	2 – 10%
		1,8-cineole	6 – 14%
		a-tujone	20 – 42%
Clove (bud)	<i>Syzygium aromaticum</i>	Eugenol	75 – 85%
		Eugenyl acetate	8 – 15%
Thyme	<i>Thymus vulgaris</i>	Thymol	10 – 64%
		Carvacrol	2 – 11%
		g-Terpinene	2 – 31%
		p-Cymene	10 – 56%

5. Mode d'action des plantes médicinales en médecine vétérinaire :

Les traitements à base de plantes visent non seulement à guérir la cause sous-jacente de la pathologie, mais également à inverser les signes aberrants et à rétablir la santé et la vigueur

des animaux (Salamon & Hrytsyna, 2019). Les phytopréparations, dérivées de plantes, sont utilisées pour améliorer la digestion, favoriser la croissance, renforcer l'immunité et réduire la morbidité chez les animaux (Rocha & Granato, 2021). Ces préparations ont des effets immunostimulants et antimicrobiens sur l'organisme des animaux (Herdiana et al., 2021). En médecine vétérinaire les composés actifs extraits de plantes médicinales sont utilisés principalement comme agents antiparasitaires, antibactériens, désinfectants, antimycotiques et immunostimulants. L'analyse phytochimique a permis d'identifier différentes plantes présentant des capacités prometteuses pour la guérison et la prévention des pathologies en médecine vétérinaire.

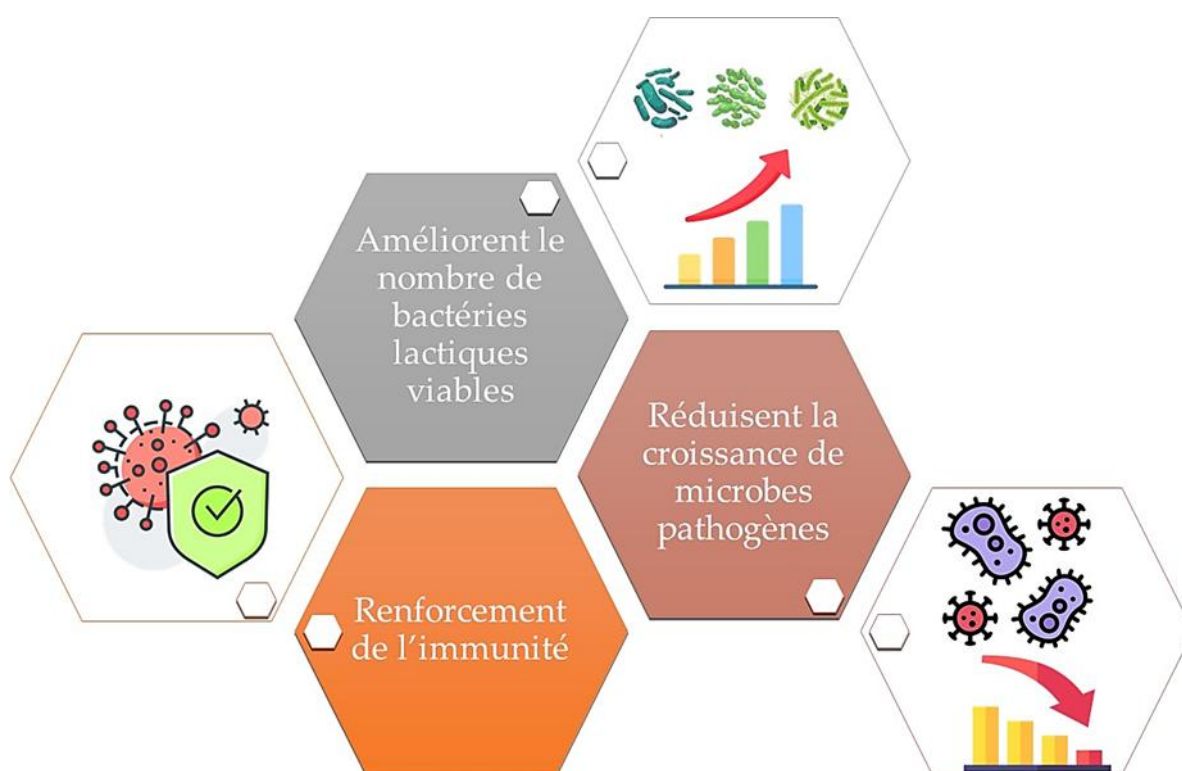


Figure 5 : Mode d'action des plantes médicinales (Hadeef et al., 2023).

6. Les bienfaits de la phytothérapie :

En aviculture, la phytothérapie, ou l'utilisation de plantes médicinales comme remèdes, présente plusieurs avantages. Il s'agit d'une forme de médecine complémentaire et alternative (CAM) abordable et accessible qui peut être utilisée comme soins de santé primaires dans les pays du tiers monde (Mir & Bhat, 2021). Il a été démontré que les phytothérapies traitent les

symptômes du stress tels que l'anxiété, l'irritabilité et les troubles du sommeil (Kolb & Aziz-Kalbhenn, 2022). De plus, les composés phytochimiques des plantes peuvent être utilisés pour favoriser la modulation et le contrôle de la reproduction en pisciculture et aquaculture. L'utilisation de la thérapie à base de plantes en aviculture peut également aider la régénération des follicules pileux (Leonida & Caballero, 2022). Cependant, malgré sa popularité, il existe un manque de connaissances et d'informations concernant les avantages de la phytothérapie et l'utilisation de plantes et d'herbes (P. S. Joshi et al., 2021).

La mise en œuvre d'outils tels qu'une application Android pour l'identification des feuilles peut aider à fournir des informations sur l'administration, les avantages thérapeutiques, la préparation, la posologie et la fréquence d'utilisation des plantes médicinales .

7. Les différents types de phytobiotiques en Algérie :

En Algérie, la phytothérapie comprend des espèces de la famille des *Lamiacées* telles que, *Ocimum basilicum*, *Thymus algeriensis* et *Mentha spicata*, qui sont riches en flavonoïdes et composés phénoliques et ont une activité antioxydante (Rezzoug et al., 2020). La population de phytoplancton des zones côtières peu profondes de l'Algérie est diversifiée, les dinoflagellés et les diatomées étant les groupes dominants (Mokrane et al., 2019). Le genre *Centaurea*, présent en Algérie, contient des composés bioactifs précieux tels que les lactones sesquiterpéniques et les flavonoïdes (Ayad & Akkal, 2019) . Les caractères polliniques des oléastres algériens issus de différents écotypes sont analysés afin d'évaluer l'effet géo-climatique de leur environnement (Khouatmiani et al., 2021) .

Chez les volailles, les plantes médicinales les plus utilisées en Algérie sont le *thymus vulgaris*, le *Thymus capitatus*, et l'*Artemisia herba-alba*. Ces plantes sont couramment utilisées par les agriculteurs de la région de Sidi Bel Abbes pour traiter les maladies de leurs animaux (Belhouala & Benarba, 2021). La décoction est la principale méthode de préparation de ces plantes, et les feuilles sont la partie la plus couramment utilisée (Latifah et al., 2021). Les connaissances traditionnelles des éleveurs en Algérie ont conduit à l'utilisation de ces plantes pour le traitement des animaux de ferme, avec un pourcentage important de femmes connaissant ces plantes médicinales (Yahya et al., 2016) .

9. Risques d'utilisation des plantes médicinales en aviculture :

Des doses standardisées et des essais cliniques sont également nécessaires pour établir l'efficacité des médicaments à base de plantes (Eftekhar Hasan Abad & Ghaniei, 2023). De plus, le contrôle de la qualité des produits à base de plantes comporte des risques, tels que des

tests inadéquats, l'étiquetage inapproprié, et une contamination par des agents pathogènes, des métaux lourds et des pesticides (Jamil et al., 2022). Il est important de résoudre ces problèmes grâce aux progrès de la biotechnologie végétale et de garantir la formulation et la qualité appropriée des préparations à base de plantes (Ekawasti & Martindah, 2019).

10. Précautions et contre-indications de la phytothérapie chez les volailles :

La phytothérapie chez la volaille a été étudiée comme alternative aux activateurs de croissance antibiotiques (AGP) (Reece et al., 1986). Cependant, les procédures d'évaluation des effets thérapeutiques bénéfiques, de la toxicité et des interactions avec les médicaments sur ordonnance doivent être améliorées (Farinacci et al., 2022).

Les plantes médicinales ont été identifiées comme une prévention et un traitement potentiels des protozoaires et des maladies bactériennes chez les volailles (Eftekhar Hasan Abad & Ghaniei, 2023)

Les médicaments à base de plantes ont été explorés en tant que traitements potentiels de la coccidiose des volailles, mais des défis subsistent quant à l'établissement de doses standardisées et à la conduite d'essais cliniques. L'utilisation de médicaments chinois à base de plantes a démontré des avantages pour l'élevage avicole, notamment en ce qui concerne la détoxification, l'élimination de la chaleur, et la prévention de la grippe aviaire et des virus.

11. La réglementation de la phytothérapie vétérinaire :

11.1 Réglementation européenne :

Le règlement (CE) n°1831/2003 régit les conditions d'autorisation et d'utilisation des additifs en alimentation animale dans toute l'Union européenne. Tout additif doit faire l'objet d'une autorisation de la Commission européenne avant sa commercialisation. L'autorisation repose sur une évaluation préalable par l'EFSA.

Le dossier de demande d'autorisation doit contenir, entre autres : Identification de l'additif ; Efficacité dans la ou les fonctions qu'il revendique ; Risques pour l'animal qui le consomme, le consommateur de denrées produites par l'animal, l'utilisateur qui le manipule et l'environnement.

La liste des additifs autorisés est disponible sur le registre des additifs autorisés de la Commission européenne. L'annexe I recense les autorisations en vigueur et l'annexe II les autorisations sur le point d'être retirées.

Ce règlement couvre l'ensemble des additifs, dont les extraits de plantes.

Ce règlement prévoyait le dépôt de dossiers d'autorisation pour tous les additifs présents sur le marché. Ce processus a commencé en 2010 et devrait être finalisé en 2026. Actuellement, 160 dossiers d'extraits de plantes et plus de 600 dossiers d'additifs « chimiquement définis » sont en cours de ré-autorisation.

L'Anses propose, en Avril 2022 (Anses, 2022), une méthodologie révisée pour évaluer les risques des phytothérapies/aromathérapies chez les animaux, sous ses deux grandes thématiques :

- Phytothérapie et aromathérapie chez les animaux producteurs de denrées alimentaires
- Proposition d'une méthodologie d'évaluation du risque pour le consommateur

(Avis révisé de l'Anses / Rapport révisé d'expertise collective, Avril 2022).

En Suisse, la phytothérapie vétérinaire a été relancée en tant que sous-unité de la Société médicale suisse de phytothérapie, et un certificat de qualification en phytothérapie vétérinaire a été approuvé par l'Association vétérinaire suisse (Giangaspero, 2013).

12. La plante médicinale « Origan » :

12.1 Famille des Lamiaceae :

Les huiles essentielles d'origan (OEO) sont reconnues pour leurs différents avantages lorsqu'elles sont utilisées comme additifs nutraceutiques dans l'alimentation des volailles. L'efficacité des OEO peut varier en fonction de facteurs tels que le dosage et les méthodes d'administration (Betancourt López, 2024).

La famille des Lamiacées, également appelée famille de la menthe, se caractérise par des espèces de plantes aromatiques d'importance économique, comprenant 250 genres et 7 825 espèces (Prakash et al., 2016). Leurs huiles essentielles sont obtenues à partir de différentes parties aériennes (graines, fleurs, feuilles, fruits et pousses) ou des racines. Ces huiles contiennent des groupes fonctionnels caractéristiques tels que : des esters, des aldéhydes, des phénols, des alcools, des cétones, des hydrocarbures, des acides organiques, et des terpénoïdes. Les huiles essentielles peuvent être privilégiées dans le secteur économique industriel en raison de la production réduite de sous-produits toxiques et de leur viabilité économique (Nazar et al., 2022).

12.2 Efficacité variable selon les espèces d'origan :

*** Origan européen vs origan tropical :** les espèces européennes du genre « *Origanum* » sont souvent privilégiées en raison de leur teneur plus élevée en carvacrol. Cependant, dans les

régions tropicales, telles que l'Amérique et l'Afrique, l'espèce « *Lippia origanoides* », qui présente un taux élevé en thymol, a également démontré des effets bénéfiques sur la production et la santé avicoles.

* ***Lippia origanoides*** « une alternative prometteuse » : Des études ont montré que « *Lippia origanoides* » Kunth, caractérisée par sa teneur élevée en thymol (environ 80 %), une faible variation des composés actifs et une quantité minimale de précurseurs, est une espèce prometteuse. Elle présente une forte activité antimicrobienne contre les bactéries pathogènes tout en ayant un impact moindre sur les bactéries bénéfiques. Cette espèce a également amélioré les performances de production de poulets de chair exposés à des *coccidies*, ce qui indique son potentiel en tant qu'alternative naturelle aux antibiotiques pour la production de viande de poulet.

12.3 Principaux avantages pour les volailles :

- 1. Renforcement du système immunitaire :** les OEO contribuent à renforcer le système immunitaire des volailles.
- 2. Inhibition des agents pathogènes :** ils sont efficaces pour freiner la croissance des bactéries pathogènes.
- 3. Amélioration des performances de croissance et de la qualité des œufs :** l'utilisation des OEO peut entraîner une amélioration de la qualité des œufs et des performances de croissance chez les volailles.
- 4. Amélioration de l'intégrité intestinale :** les OEO contribuent à améliorer l'intégrité intestinale, ce qui est essentiel pour la santé intestinale générale.

12.4 Futurs besoins en matière de recherche :

-Applications en santé humaine : En santé humaine, il est également nécessaire d'étudier d'autres applications potentielles de l'OEO, en particulier pour ses propriétés antidiabétiques, anticancéreuses et anti-inflammatoires.

- Posologie et durée optimales : malgré les bienfaits observés, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre pleinement les mécanismes sous-jacents à ces effets et pour confirmer la posologie et la durée optimales de la supplémentation en huile essentielle d'*origan* chez les volailles.

Les huiles essentielles d'origan offrent une alternative efficace et naturelle aux antibiotiques dans l'élevage avicole, améliorant divers aspects de la productivité et de la santé des volailles.

Cependant, la poursuite des recherches est essentielle explorer leur plein potentiel et pour optimiser leur utilisation (Betancourt López, 2024).

12.5 Utilisation d'origan chez les volailles :

Plusieurs chercheurs ont confirmés les effets bénéfiques de cette plante médicinale, notamment sur la santé de tube digestif des volailles (Tableau 3).

Tableau 3 : Effets des composés majeurs des huiles essentielles de l'origan et d'autres plantes couramment utilisées chez les volailles (revue par Oni & Oke, 2025).

Phytogénique (en anglais)	Composés actifs	Dosage	Effets sur la santé intestinale
Oregano	Thymol, Carvacrol, Eugenol	20 mg/kg	Augmentation de la hauteur des villosités ; réduction de la profondeur des cryptes dans le jéjunum ; stimulation du microbiote bénéfique (<i>Lactobacillus</i> , <i>Bifidobacterium</i>)
Cinnamon	Cinnamaldehyde, Eugenol	–	Réduit les bactéries pathogènes (<i>E. coli</i> , <i>Campylobacter</i>); favorise la croissance de <i>Lactobacillus</i> et de <i>Bifidobacterium</i>
Thyme	Thymol, Linalool, Carvacrol	–	Stimule la production d'enzymes digestives ; favorise la microflore bénéfique
Rosemary	Huiles essentielles, acides phénoliques, flavonoïdes	10 g	Améliore la composition du microbiote intestinal bénéfique ; réduit les agents pathogènes

PARTIE PRATIQUE

PARTIE PRATIQUE

PREMIÈRE ÉTUDE : *Usage des antimicrobiens pour lutter contre les troubles de la ponte dans les élevages de poules pondeuses en batterie de la métropole de la filière ponte algérienne dans le contexte de la pandémie COVID-19*

1. Introduction

En Algérie, les données épidémiologiques relatives aux pratiques antimicrobiennes en élevage de poules pondeuses demeurent très limitées. La plupart des études disponibles portent sur les poulets de chair, laissant un vide important dans la connaissance des pratiques de traitement spécifique aux pondeuses. Des travaux récents ont cependant mis en évidence des taux élevés de résistance antimicrobienne pour les souches d'*E. coli* pathogène aviaire (APEC) isolées dans les régions de Biskra et de Souk Ahras (Aberkane et al., 2023; Kamel et al., 2024), ainsi que la présence du gène de résistance à la colistine *mcr-1* dans les élevages avicoles algériens (Chaalal et al., 2021; Chabou et al., 2018). Ces données suggèrent que le secteur avicole algérien constitue un réservoir potentiel de bactéries multirésistantes, justifiant une surveillance accrue des pratiques antimicrobiennes. Le profil d'usage des antibiotiques dans les élevages de pondeuses peut différer significativement de celui des élevages de chair, en raison de la durée d'exploitation (72 à 80 semaines), des contraintes liées à la période de ponte et des interactions entre santé animale et qualité du produit final.

La présente étude a été conduite dans le but : (i) d'identifier et de quantifier les problèmes de production d'œufs (chute de ponte et hétérogénéité de la qualité des œufs) et décrire les pratiques de traitement antimicrobien et les agents thérapeutiques associés dans les élevages de poules pondeuses en batterie de la région de Batna, la métropolitaine de la production nationale algérienne à l'issue de la pandémie COVID-19. Cette région est, selon la dernière statistique publiée par le ministère algérien d'agriculture (Ministry of Agriculture and Rural Development., 2021), connue par sa première place avec une production qui couvre environ 16,45 % de la production algérienne des œufs frais en coquille. ; (ii) d'évaluer les associations statistiques entre ces différents paramètres ; et (iii) d'explorer les profils multivariés des élevages par analyse des correspondances multiples.

2. Matériel et méthodes

La collecte des données de cette enquête a été réalisée durant les mois de février et mars 2021 dans un contexte exceptionnel marqué par les restrictions liées à la pandémie de COVID-19. Les mesures sanitaires en vigueur à cette période, dont les limitations de déplacement, la réduction des activités économiques et la disponibilité restreinte des vétérinaires et éleveurs de poules pondeuses, ont considérablement contraint à limiter l'accès au terrain et la participation des enquêtés. Ces conditions ont eu pour conséquence directe de limiter la taille de l'échantillon à 24 élevages, malgré une population cible plus large. À titre de comparaison, une enquête plus récente menée dans la même région dans un contexte post-pandémique a pu atteindre 144 élevages commerciaux de poules pondeuse (Kasmi et al., 2026), illustrant clairement l'effet des contraintes conjoncturelles sur le processus de collecte. Par conséquent, les résultats obtenus doivent être interprétés dans une perspective exploratoire, tout en conservant leur intérêt pour la compréhension des tendances observées durant cette période spécifique.

2.1 Zone d'étude et population cible

L'étude a été conduite dans la région de Batna (Nord-Est et Est de l'Algérie), à forte concentration d'élevage avicole avec une concentration dans la commune de Ain Touta et ses localités avoisinantes (Ain Djasser, Merouana, Seriana). La population cible était constituée de vétérinaires praticiens intervenant pour des suivis sanitaires de bandes de poules pondeuses en batterie.

2.2 Protocole d'étude et collecte des données

Une enquête transversale (cross-sectional survey) a été réalisée selon un échantillonnage de convenance. Un questionnaire structuré a été soumis qu'aux vétérinaires praticiens intervenants dans les élevages de pondeuses, couvrant deux grandes problématiques : (i) la chute de ponte (période d'apparition, causes, traitements antibiotiques, antiparasitaires, additifs, vaccins et agents antistress utilisés) ; et (ii) l'hétérogénéité de la qualité des œufs (types de défauts, périodes d'apparition, causes et modalités de correction). Au total, 24 élevages ont été inclus dans l'analyse.

2.3 Variables étudiées

Les variables étudiées incluaient : les caractéristiques de l'élevage (wilaya, commune, race, effectif), la présence ou l'absence de chute de ponte (variable binaire), les causes identifiées et

périodes d'apparition (variables multi-réponses), les traitements mis en œuvre (antibiotiques, antiparasitaires, additifs, vaccins, antistress), la présence ou l'absence d'hétérogénéité de la qualité des œufs et ses caractéristiques, ainsi que les mesures correctives appliquées. Les antibiotiques identifiés ont été classés par famille pharmacologique selon la classification de l'OMS/AMEG (2019).

2.4 Analyses statistiques

Les analyses ont été réalisées sous R en version 4.5.2.

Les variables multi réponses (causes, périodes, molécules) ont été décomposées en variables binaires individuelles. Les prévalences sont exprimées avec leur numérateur et dénominateur. La normalité de la distribution de l'effectif a été évaluée par le test de Shapiro-Wilk. Les associations entre variables catégorielles ont été évaluées par le test exact de Fisher, avec calcul de l'Odds Ratio (OR) et de son intervalle de confiance à 95 % par la méthode de Fisher. La force de l'association a été mesurée par le V de Cramer. La comparaison de l'effectif entre groupes a été réalisée par le test de Wilcoxon-Mann-Whitney (distribution non normale confirmée). Une Analyse des Correspondances multiples (ACM) a été conduite pour explorer simultanément les profils multivariés des élevages. Le seuil de signification retenu était $\alpha = 0,05$.

3. Résultats

3.1 Caractéristiques de la population enquêtée

Les 24 élevages enquêtés étaient tous de type batterie privé. Quatre races ont été représentées : HYLINE ($n = 10$, 41,7 %), H&N ($n = 7$, 29,2 %), LOHMANN ($n = 4$, 16,7 %) et ISA ($n = 3$, 12,5 %) avec une forte dominance de la race HYLINE, suivie de la race H&N (Tableau 4).

Devant un contexte avicole algérien où les élevages traditionnels côtoient des unités semi-industrielles, la distribution de l'effectif (nombre de poules par élevage) s'est avérée non normale (test de Shapiro-Wilk : $W = 0,781$; $p < 0,0001$), avec une médiane de 6 750 poules (moyenne : 7730 ± 3796 ; extrêmes : 4 600-19 700).

Tableau 4 : Caractéristiques générales des élevages enquêtés.

Variable	Modalité / Valeur	n ou statistique	Pourcentage ou IC
Race	HYLINE	10	41,7 %
	H&N	7	29,2 %
	LOHMANN	4	16,7 %
	ISA	3	12,5 %
Effectif (poules)	Médiane [IQR]	6 750	[5 000-12 500]
	Moyenne +/- ET	7 730 +/- 3 796	Min : 4 600 / Max : 19 700
Système d'élevage	Batterie privé	24	100 %

3.2 Prévalence des problèmes de production

Les prévalences des principaux problèmes de production et des pratiques thérapeutiques sont présentées dans le tableau 5. Une chute de ponte a été signalée dans 14 des 24 élevages enquêtés (58,3 %). Une hétérogénéité de la qualité des œufs a été rapportée dans 11/24 élevages (45,8 %). Huit élevages (33,3 %) n'ont signalé aucun problème de production (ni chute de ponte, ni hétérogénéité de qualité) au cours de la période concernée.

Tableau 5 : Prévalences des problèmes de production et des pratiques thérapeutiques.

Indicateur	n	N de référence	Prévalence (%)
Chute de ponte	14	24	58,3
Usage d'antibiotiques pour la chute de ponte	11	24 (dont 11/14 = 78,6 % des elev. avec chute)	45,8
Usage d'anti-stress pour la chute de ponte	7	24 (dont 7/14 = 50 % des elev. avec chute)	29,2
Usage d'antiparasitaires pour la chute de ponte	1	24	4,2
Usage de vaccin pour la chute de ponte	1	24	4,2
Hétérogénéité de la qualité des œufs	11	24	45,8
Usage d'antibiotiques pour la qualité des œufs	8	11 (72,7 % des elev. avec hétérogénéité)	33,3
Reformulation alimentaire (qualité)	1	24	4,2
Aucun problème signalé	8	24	33,3

3.3 Chute de ponte : causes et périodes d'apparition

Parmi les 14 élevages ayant signalé une chute de ponte, les causes étaient multiples et concomitantes dans la majorité des cas. La cause bactérienne a été la plus fréquemment citée (n = 12/14, 85,7 %), suivie des causes alimentaires (n = 6/14, 42,9%), virales (n = 5/14, 35,7 %), de stress (n = 4/14, 28,6 %) et parasitaires (n = 1/14, 7,1 %). Ces prévalences étant calculées sur des réponses multiples, leur somme dépasse 100 % traduisant la pluri causalité des épisodes observés. La quasi-omniprésence de la cause bactérienne mérite une interprétation prudente, dans la mesure où elle repose sur un diagnostic clinique présomptif non confirmé microbiologiquement.

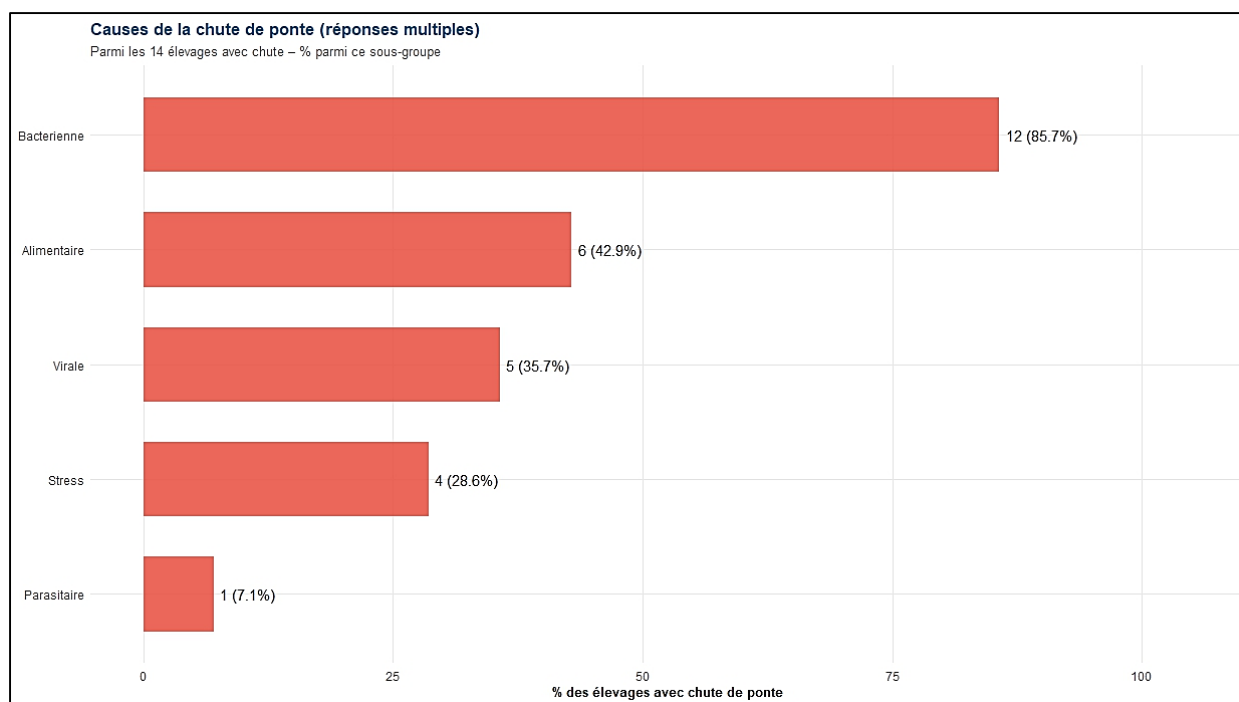


Figure 6: Causes de la chute de ponte (réponses multiples)

La chute de ponte a été signalée à différentes phases du cycle de ponte et affecte simultanément plusieurs élevages (Tableau 6). Le pic de ponte a été la période la plus fréquemment concernée ($n = 9/14$, 64,3 %), suivi du début de ponte ($n = 8/14$, 57,1 %) puis de la phase descendante ($n = 7/14$, 50,0 %). L'analyse de co-occurrence « cause x périodes » a montré que la cause bactérienne était associée à toutes les périodes de ponte, avec une concentration notable au début et au pic de ponte, périodes où les poules sont physiologiquement les plus vulnérables aux perturbations.

Tableau 6 : Causes et périodes de la chute de ponte — analyse multi-réponses

	n élevages	% parmi les elev. avec chute (n=14)	% sur l'ensemble (n=24)
CAUSES :			
Bactérienne	12	85,7	50,0
Alimentaire	6	42,9	25,0
Virale	5	35,7	20,8
Stress	4	28,6	16,7
Parasitaire	1	7,1	4,2
PERIODES :			
Pic de ponte	9	64,3	37,5
Début de ponte	8	57,1	33,3
Phase descendante	7	50,0	29,2

3.4 Pratiques antimicrobiennes lors de la chute de ponte

Sur les 14 élevages présentant une chute de ponte, 11 élevages (78,6 %) ont reçu un traitement antibiotique. Parmi les 3 élevages n'ayant pas reçu d'antibiotique, les causes rapportées étaient le stress (n = 1) ou des problèmes alimentaires (n = 1) pour lesquels une correction diététique ou une supplémentation en antistress a été envisagée. L'oxytétracycline fut l'antibiotique le plus fréquemment utilisé (n = 5 utilisations, 45,5 % des utilisations totales) devant l'amoxicilline (n = 2, 18,2 %) et la colistine (n = 2, 18, 2 %). Les macrolides (érythromycine, spiramycine, tylosine) ont été utilisés dans 3 élevages au total (27,3 %).

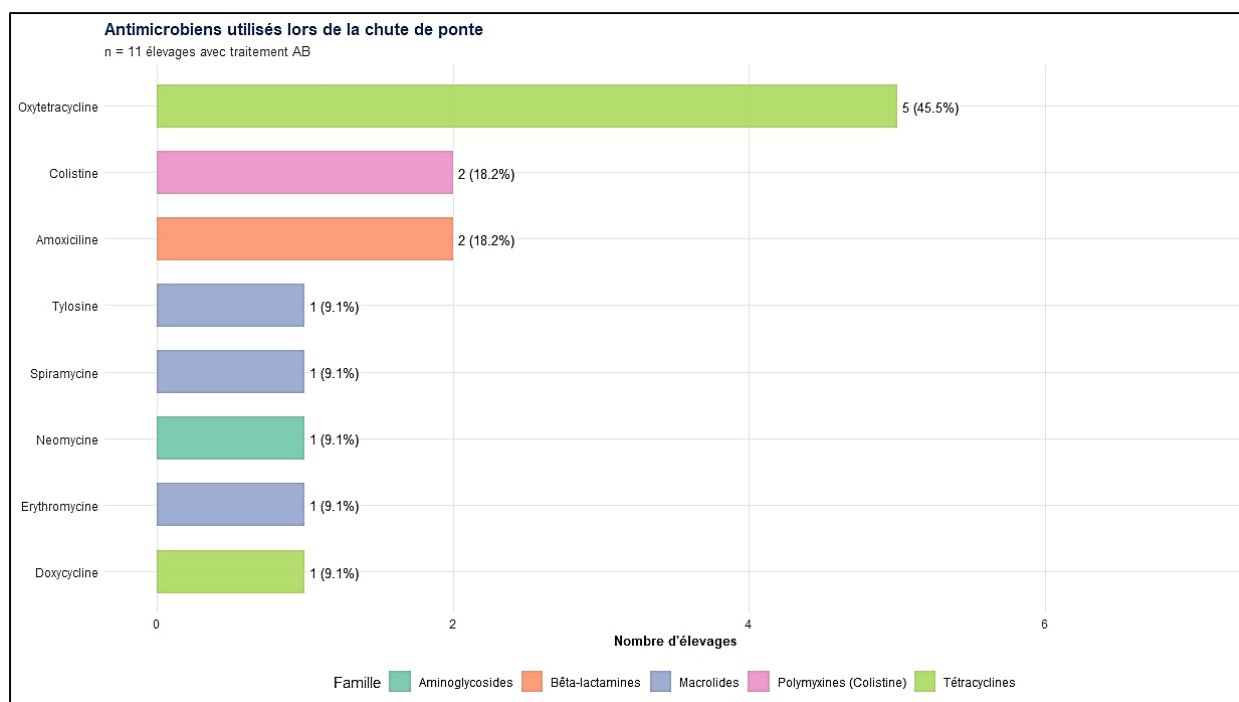


Figure 7 : Antimicrobiens utilisés lors de la chute de ponte.

Du point de vue de la classification par famille pharmacologique (Tableau 7), les tétracyclines (oxytétracycline + doxycycline) représentaient la famille la plus utilisée (n = 6 utilisations). Les bêta-lactamines (amoxicilline) et les polymyxines (colistine) constituaient chacune 2 utilisations (18,2 %).

Tableau 7 : Antimicrobiens utilisés lors de la chute de ponte (n = 11 élevages avec traitement AB) — analyse multi-réponses.

Molécule	n utilisations	% des utilisations	Famille pharmacologique	Classification OMS-CIA
Oxytetracycline	5	45,5 %	Tétracyclines	Cat. B (Highly Important)
Amoxicilline	2	18,2 %	Bêta-lactamines	Cat. C (Important)
Colistine	2	18,2 %	Polymyxines	Cat. A (Highest Priority) (!)
Erythromycine	1	9,1 %	Macrolides	Cat. B (Highly Important)
Spiramycine	1	9,1 %	Macrolides	Cat. B (Highly Important)
Tylosine	1	9,1 %	Macrolides	Cat. B (Highly Important)
Néomycine	1	9,1 %	Aminoglycosides	Cat. B (Highly Important)
Doxycycline	1	9,1 %	Tétracyclines	Cat. B (Highly Important)

(!) La colistine est classée par l'OMS comme antimicrobien d'importance critique de Catégorie A (Highest Priority Critically Important Antimicrobial—HPCIA). Elle est actuellement soumise à des restrictions d'usage vétérinaire dans l'Union Européenne (Règlement UE 2022/1255) en raison du risque de transfert de résistance (gène Mcr) à des pathogènes humains.

Concernant les autres traitements, 7 élevages (50 % des élevages avec chute) ont eu recours à des agents antistress. Les molécules utilisées comprenaient l'AD3E (n=2), le sorbitol (n=1), la vitamine E (n=1), le MULTIVIT (n=1), un mélange acides aminés + sorbitol (n=1) et l'AD3E+E (n=1). Cette pratique, souvent associée aux périodes de stress thermique ou de transition alimentaire, reflète une approche complémentaire qui mérite d'être encouragée dans la mesure où elle peut réduire le recours aux antibiotiques. Un seul élevage a utilisé un antiparasitaire (anticoccidien) et un autre élevage a recouru à un vaccin (anti-bronchite infectieuse).

3.5 Hétérogénéité de la qualité des œufs

Un problème d'hétérogénéité de la qualité des œufs a été signalé dans 11/24 élevages (45,8 %). Parmi ces 11 élevages concernés, l'analyse des paramètres (à réponses multiples) a montré que l'hétérogénéité du poids était le défaut le plus fréquemment rapporté (7/11, 63,6 %), suivi de l'hétérogénéité de la taille, de la couleur et de l'intégrité de la coquille (6/11, 54,5 %). La forte proportion d'élevages présentant une atteinte simultanée de plusieurs paramètres de qualité (visualisée par le diagramme UpSet) suggère que l'hétérogénéité de la qualité des œufs est rarement monotypique et résulte le plus souvent de perturbations systémiques de la physiologie de la ponte.

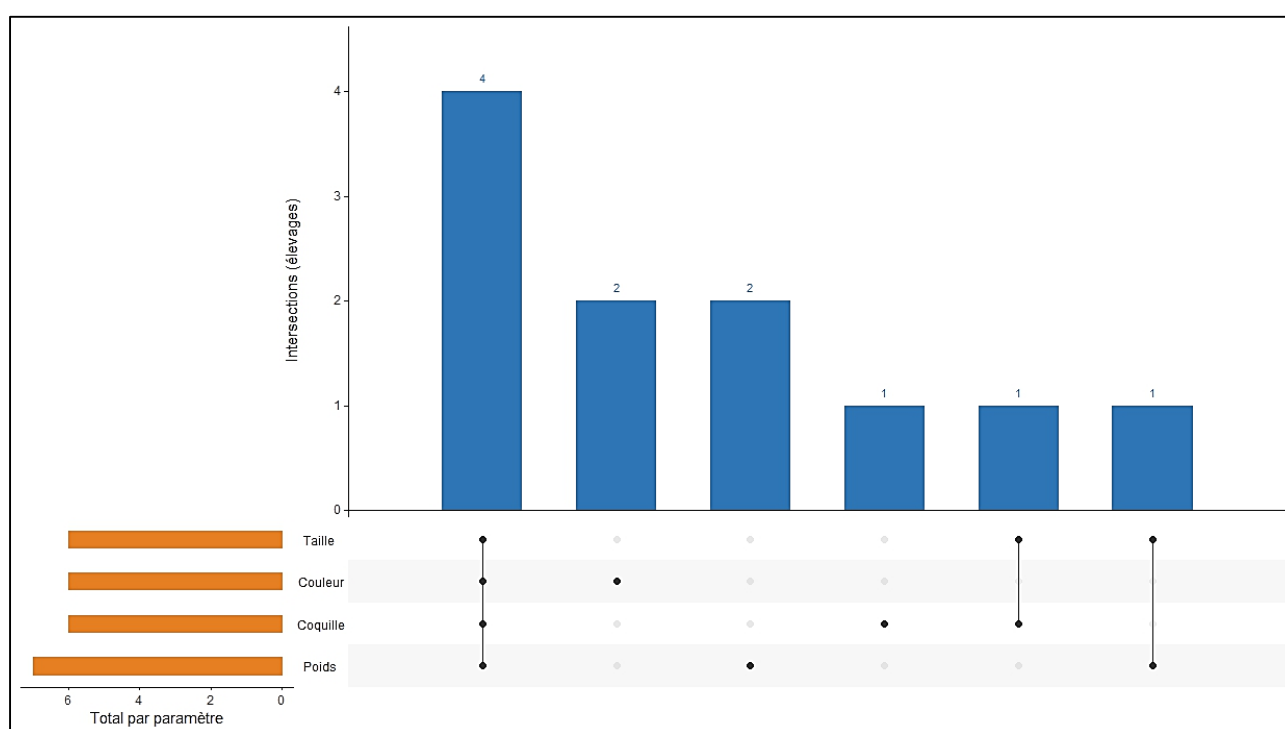


Figure 8 : Diagramme UpSet de la cooccurrence des problèmes de ponte et de qualité

Les causes attribuées à l'hétérogénéité de qualité étaient principalement d'ordre alimentaire (7/11, 63,6 %) et bactérien (7/11, 63,6 %), devant les causes virales (5/11, 45,5 %). Des antibiotiques ont été utilisés dans 8/11 élevages (72,7 %) présentant un problème de qualité, avec une prédominance de l'oxytétracycline (3 utilisations) et de la colistine (2 utilisations).

3.6 Tests d'association

3.6.1 Association entre la chute de ponte et l'hétérogénéité de qualité des œufs

La distribution des 24 élevages selon la combinaison « chute de ponte / hétérogénéité de qualité des œufs » était la suivante : 8 élevages (33,3 %) sans aucun problème, 5 élevages (20,8 %) avec problème de chute de ponte, 2 élevages (8,3 %) avec problème de qualité des œufs, et 9 élevages (37,5 %) avec les deux problèmes simultanés.

Le test exact de Fisher a révélé une association statistiquement significative entre la présence d'une chute de ponte et la survenue d'une hétérogénéité de qualité des œufs ($p = 0,047$; OR = 6,57 ; IC95% [0,84-87,92] ; V de Cramer = 0,438). Les élevages présentant une chute de ponte avaient ainsi un risque environ 6,6 fois plus élevé de présenter également une hétérogénéité de la qualité des œufs que les élevages sans chute (Tableau 8). L'intervalle de confiance large — bien que statistiquement significatif — reflète la faible taille d'échantillon et doit inciter à la prudence dans l'interprétation de la magnitude de cet effet.

Tableau 8: Table de contingence : chute de ponte x hétérogénéité de la qualité des œufs

	Qualité normale (n)	Pb hétérogénéité (n)	Total
Pas de chute de ponte	8	2	10
Chute de ponte	5	9	14
Total	13	11	24
Test exact de Fisher	$p = 0,047$	OR = 6,57	IC95% [0,84 - 87,92] ; V de Cramer = 0,438

3.6.2 Association entre la chute de ponte et l'usage d'antibiotiques

L'association entre la chute de ponte et le recours aux antibiotiques était hautement significative (test exact de Fisher, $p < 0,001$; IC95% de l'OR : [4,33 - +inf]). Tous les élevages sans chute de ponte ($n = 10$) n'ont reçu aucun antibiotique, tandis que 11 des 14 élevages avec chute de ponte (78,6 %) ont été traités. Cette association quasi-parfaite (OR infini par la méthode de Fisher du fait de l'absence de traitement dans le groupe sans chute de

ponte) traduit une antibiothérapie strictement réactive : les éleveurs ne traitent pratiquement qu'en cas de problème déclaré de ponte, ce qui pourrait refléter une certaine maîtrise des prescriptions ou, au contraire, une sous-estimation des problèmes subcliniques.

3.6.3 Effet de la race et de l'effectif

Aucune association statistiquement significative n'a été mise en évidence entre la race (HYLINE vs autres) et la prévalence de la chute de ponte (test exact de Fisher, $p = 1,000$). De même, l'effectif de la bande n'était pas significativement différent entre les élevages avec et sans chute de ponte (médiane : 6500 vs 7160 poules respectivement ; test de Wilcoxon-Mann-Whitney, $W = 81$; $p = 0,538$). Ces résultats suggèrent que la taille de l'élevage et la race n'étaient pas des facteurs déterminants de la survenue de chute de ponte dans cette population, du moins dans la plage d'effectifs représentée (Tableau 9).

Tableau 9: Synthèse des tests d'association entre les problèmes de ponte et de qualité

Association testée	Test	Statistique	p-value	Significatif
Chute de ponte x Hétérogénéité qualité	Fisher	OR = 6,57	0,047	Oui (*)
Chute de ponte x Usage AB	Fisher	OR = Inf	< 0,001	Oui (***)
Race (HYLINE) x Chute de ponte	Fisher	—	1,000	Non
Effectif ~ Chute de ponte	Wilcoxon	W = 81	0,538	Non

3.7 Analyse des correspondances multiples (ACM)

L'ACM a été réalisée sur 12 variables catégorielles (24 modalités actives). L'Axe 1 présentait 42,4 % de l'inertie totale et l'Axe 2 en présentait 12,7 %, soit une variance cumulée de 55,1 % sur les deux premiers axes. Cette valeur, classique pour une ACM sur données dichotomiques, est suffisante pour une interprétation exploratoire.

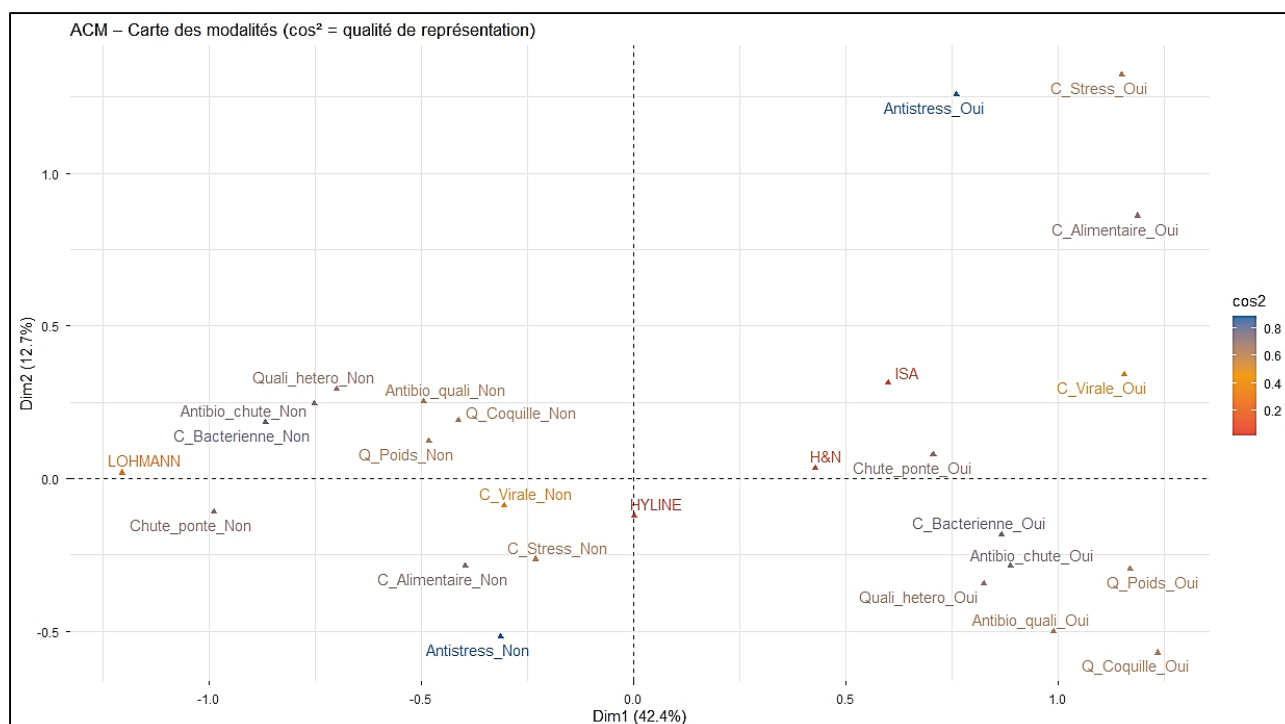


Figure 9 : ACM- Carte des modalités ($\cos^2$ = qualité de représentation)

L'Axe 1 (42,4 % de l'inertie) est principalement structure par l'opposition entre, d'un côté, les modalités Chute_ponte_Non (contribution : 6,88 %), C_Bacterienne_Non (6,35 %), Antibio_chute_Non (6,11 %) — caractérisant les élevages sans problème — et, de l'autre cote, les modalités Q_Poids_Oui (6,74 %), Q_Coquille_Oui (6,44 %), Antibio_chute_Oui (6,11 %), Quali_hetero_Oui (5,28 %) et C_Alimentaire_Oui (5,95 %), caractérisant les élevages avec problèmes combinant chute de ponte, antibiothérapie et hétérogénéité de la qualité des œufs. Cet axe peut être interprété comme un gradient de "santé globale de la pondeuse", opposant les élevages sains aux élevages avec perturbations multiples de la production.

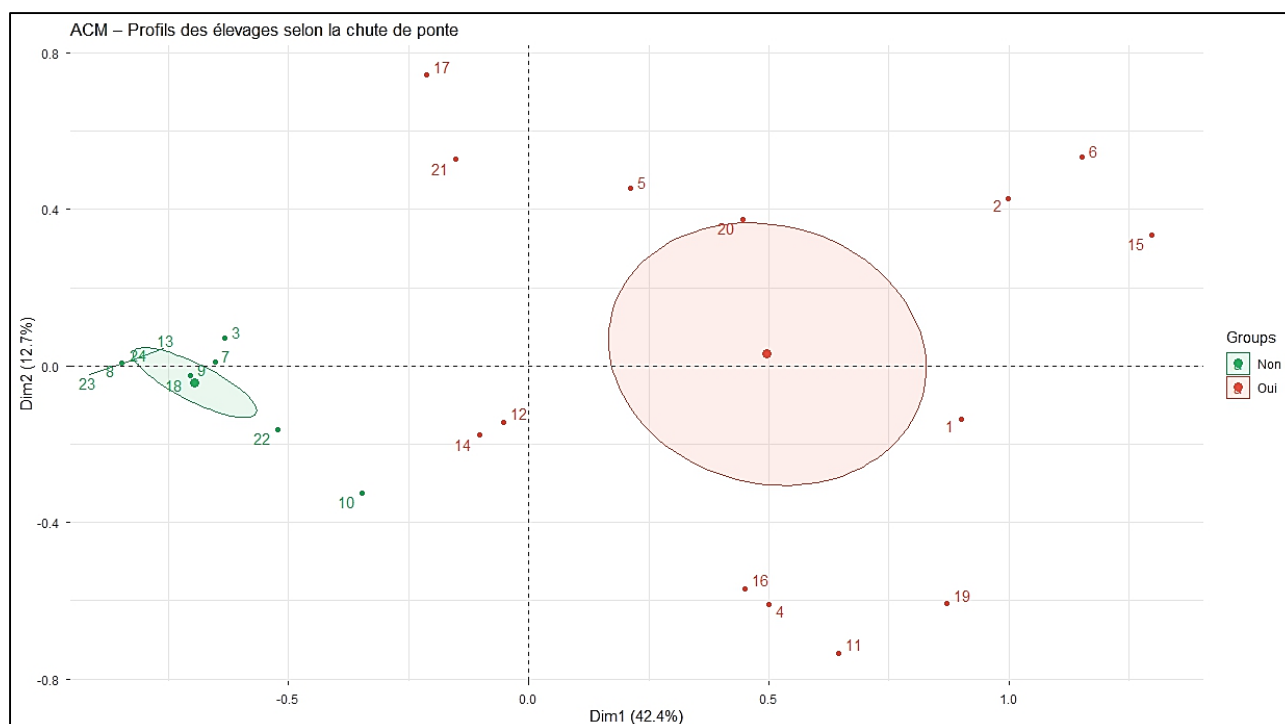


Figure 10 : ACM-Profils des élevages selon la chute de ponte

L'Axe 2 (12,7 %) est dominé par la contribution des modalités Antistress_Oui (25,92 %) et C_Stress_Oui (16,35 %), suivis de C_Alimentaire_Oui (10,38 %). Il discrimine, au sein des élevages avec chute de ponte, ceux dont l'origine est principalement de nature alimentaire ou liée au stress de ceux dont la cause est bactérienne. Cet axe peut être interprété comme un gradient 'stress/alimentaire vs bactérien', soulignant la diversité des profils étiologiques au sein des élevages avec chute de ponte.

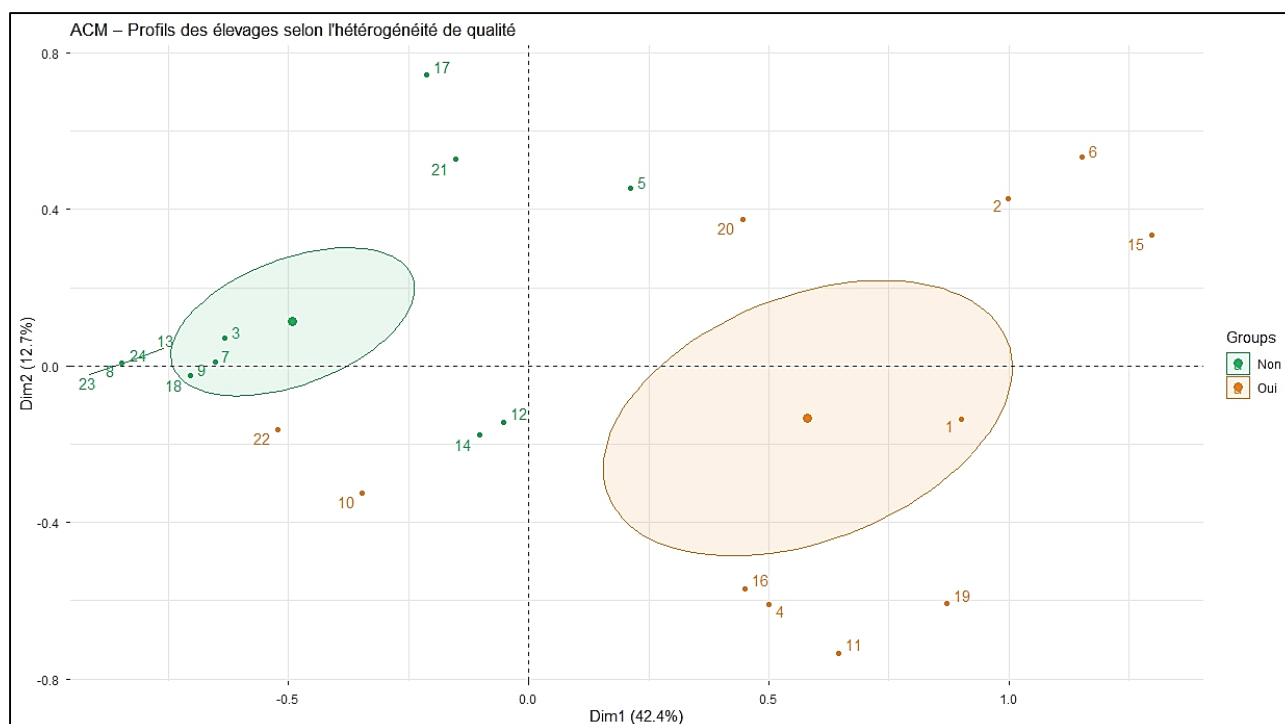


Figure 11 : ACM-Profiles des élevages selon l'hétérogénéité de qualité.

La carte des individus (biplot) a mis en évidence la formation de deux groupes distincts : un cluster d'élevages sains ($chute_yn = 0$, $quali_yn = 0$) en coordonnées négatives sur l'Axe 1, et une dispersion des élevages avec problèmes en coordonnées positive, avec chevauchement partiel des ellipses de confiance, reflétant l'hétérogénéité des profils au sein des élevages affectés.

4. Discussion

4.1 Prévalence et déterminants de la chute de ponte

La prévalence de la chute de ponte de 58,3 % observée dans notre étude est notable et comparable aux données rapportées dans des études similaires conduites dans des pays à ressources limitées (Aguidissou et al., 2020). D'autres études en Algérie ont montré une fréquence élevée des troubles de la ponte en élevage intensif, imputés pour une large part aux infections bactériennes et aux carences alimentaires (Belaid-Gater et al., 2023; Mebkhout et al., 2022). Ces troubles de ponte ont également été documentées en Afrique subsaharienne, soulignant la vulnérabilité des systèmes avicoles intensifs dans les régions tropicales et subtropicales (Aguidissou et al., 2020). Dans le contexte spécifique de la présente étude, la pandémie de COVID-19 a constitué un facteur aggravant supplémentaire : les restrictions à l'importation de médicaments vétérinaires, notamment les vaccins et les antimicrobiens, ont

réduit la capacité des éleveurs à prévenir et traiter efficacement les infections, créant ainsi des conditions favorables à l'émergence et à la persistance des troubles de la ponte durant la période enquêtée (février–mars 2021).

La prédominance de la cause bactérienne (85,7 % des élevages avec chute de ponte) est cohérente avec les études épidémiologiques conduites en aviculture intensive, où les infections à *Mycoplasma gallisepticum*, *Escherichia coli* pathogène, *Salmonella spp.* et *Ornithobacterium rhinotracheale* sont fréquemment associées aux baisses de production (Khairullah et al., 2024; Nhung et al., 2017; Watts & Wigley, 2024). Toutefois, l'absence de confirmation microbiologique dans notre étude, les causes étant déclaratives, implique que ces proportions reflètent des diagnostics cliniques présomptifs et non des diagnostics étiologiques certifiés. Ce biais de diagnostic est inhérent aux études transversales par questionnaire et devra être surpassé dans les études futures par l'intégration de données de laboratoire. Il a été démontré que l'APEC peut causer chez la pondeuse une salpingite-péritonite responsable de chutes de production significatives, notamment lors des périodes de stress immunologique coïncidant avec la mise en ponte (Aberkane et al., 2023; Khairullah et al., 2024; McMullin, 2020).

La survenue de la chute de ponte principalement au pic de ponte (64,3 %) et au début de ponte (57,1 %) est physiologiquement cohérente. Ces phases correspondent aux périodes de stress métabolique maximal pour la pondeuse, avec une demande accrue en nutriments (calcium, protéines) et une plus grande sensibilité aux infections, notamment en raison de l'immuno-modulation liée à la production d'œufs. La phase descendante (50 %) peut, quant à elle, refléter des infections persistantes ou des effets cumulatifs de la pression de production.

Ces résultats s'inscrivent dans un contexte plus large de sous-performance chronique des élevages algériens de poules pondeuses, bien documentée dans la littérature nationale récente. Kasmi et al., (2026) ont ainsi rapporté dans la province de Batna, que le taux moyen de production d'œufs n'atteignait que 69,48 %, bien en deçà des recommandations génétiques des souches ISA Brown et ISA White (94-97 % au pic) et du seuil minimal de viabilité commerciale de 70 %. Les auteurs soulignent également que les périodes de ponte observées (moyenne de 71,31 semaines, contre 73 à 82 semaines recommandées) sont significativement raccourcies, ce qui amplifie les pertes de production cumulatives. Belaid-Gater et al., (2023) dans une analyse de 15 années de données d'un complexe industriel spécialisé dans la région de Bouira, ont confirmé des durées de ponte variables (42 à 64 semaines) et un taux de mortalité moyen extrêmement élevé (environ 26 %), très supérieur aux normes des souches (5

à 7 %). Ces performances dégradées sont attribuées par les auteurs à l'irrégularité de l'approvisionnement alimentaire, à la mauvaise présentation des aliments et à des problèmes pathologiques récurrents, dont la maladie de Marek. Cette convergence entre les données de notre étude et celles de la littérature régionale confirme que la chute de ponte n'est pas un phénomène isolé mais un indicateur systémique des déficiences structurelles de l'aviculture algérienne des poules pondeuses.

La dimension biosécuritaire constitue un facteur aggravant de ces déficiences productives. Kasmi et al., (2025) dans une étude portant sur 144 élevages de poules pondeuses en zone subaride de Batna, ont mis en évidence des lacunes biosécuritaires systématiques. Ainsi, 97,22 % des fermes ne disposaient pas de rotulaves (pour les véhicules), 86,11 % avaient des pédilaves non fonctionnels à l'entrée des bâtiments, et 97,92 % n'assuraient aucun changement de chaussures. De même, 77,78 % des exploitations éliminaient les cadavres par simple jetage, pratique favorable à la transmission des agents pathogènes entre élevages. La durée de vide sanitaire était inférieure aux 15 jours recommandés dans 72,92 % des fermes. Ces résultats confirment que l'antibiothérapie réactive observée dans notre étude s'inscrit dans un contexte structurel de défaillance biosécuritaire, où la prévention est insuffisante et le recours aux antibiotiques devient une réponse par défaut aux infections récurrentes.

La présence récurrente de *Salmonella* spp. dans les élevages avicoles algériens constitue un facteur étiologique de premier plan dans la chute de ponte. Djemaïoune et al., (2025) dans une étude menée dans la province de Sétif sur 340 échantillons issus de 145 élevages de poulets de chair, 107 d'élevages de pondeuses, 32 d'élevages reproducteurs et 5 abattoirs, ont isolé 80 souches de *Salmonella* dont 51,25 % de *S. Enteritidis* et 25 % de *S. Gallinarum* biotype *gallinarum*, ce dernier directement responsable de la typhoïde aviaire. *S. Enteritidis* a été détectée dans 12 élevages de poules pondeuses, confirmant la large circulation de ce sérovar dans les filières avicoles de la région. Ces données justifient une surveillance microbiologique systématique que l'étude n'a pas pu mettre en œuvre.

4.2 Pratiques antimicrobiennes dans le contexte de la pandémie COVID-19 : profil, disponibilité des molécules et risque pour la santé publique

L'usage d'antibiotiques dans 78,6 % des élevages avec chute de ponte représente une utilisation significative, bien que strictement réactive (aucun élevage sans chute de ponte n'a reçu d'antibiotique dans notre échantillon). Ce caractère strictement réactif s'inscrit par ailleurs dans un contexte de disponibilité réduite des molécules thérapeutiques : la pandémie

de COVID-19 a entraîné des ruptures d'approvisionnement en médicaments vétérinaires importés, limitant la diversité des molécules disponibles et susceptibles de pousser les praticiens vers un répertoire thérapeutique plus étroit, dominé par les molécules les plus accessibles localement telles que les tétracyclines. Ce pattern différencie favorablement la situation observée d'un usage préventif ou de croissance, plus fréquemment rapporté dans d'autres contextes (Nhung et al., 2017; Shabbir et al., 2024; Van Boeckel et al., 2017). En Afrique subsaharienne, on estime que près de 60 % des producteurs avicoles ont recours aux antibiotiques, souvent à des fins préventives et sans encadrement vétérinaire adéquat (Aguidissou et al., 2020). Toutefois, la nature présomptive des diagnostics bactériens qui motivent ces traitements reste un facteur de risque important pour le développement de résistances. À titre de comparaison, Aguidissou et al., (2020), dans une enquête conduite auprès de 200 élevages de poules pondeuses au Bénin, ont rapporté que seulement 7 % des éleveurs confirmaient leur diagnostic par une analyse de laboratoire avant la mise en place d'un traitement antibiotique, les autres se fiant exclusivement aux signes cliniques ou à l'autopsie. La même étude a identifié les salmonelloses, la colibacillose et les maladies respiratoires chroniques comme les pathologies bactériennes dominantes, une liste qui recoupe largement les causes présumées de chute de ponte dans notre étude.

La première étude quantitative publiée sur l'usage des antimicrobiens en aviculture algérienne, conduite par Mohamed et al., (2021) dans la province d'Aïn Defla auprès de 65 bandes de poulets de chair, révèle une intensité d'exposition aux antibiotiques particulièrement élevée : 100 % des bandes ont reçu au moins un traitement antibiotique, avec une moyenne de 4,68 traitements par bande. La quantité totale d'antibiotiques administrée était de 160 mg/kg de viande produite, soit environ trois fois la valeur française (38,9 mg/kg) et plus du double de la moyenne marocaine (63,4 mg/kg). Les quinolones représentaient la classe la plus utilisée (24,4 % des traitements), suivies des tétracyclines (22,5 %), des sulfonamides (20,1 %) et des polymyxines incluant la colistine (12,1 %), une hiérarchie comparable à celle observée dans notre étude sur les pondeuses. Par ailleurs, 33,9 % des bandes avaient reçu un traitement dont le délai d'attente n'était pas respecté au moment de l'abattage. L'absence de système national de surveillance de l'usage des antimicrobiens, soulignée par les auteurs en comparaison avec les programmes DANMAP et ESVAC (, constitue le verrou systémique majeur à la régulation de ces pratiques.

La prédominance des tétracyclines (oxytétracycline + doxycycline utilisés au niveau de 6 élevages) est cohérente avec la littérature mondiale sur les poules pondeuses. Ces molécules,

bien tolérées, peu coûteuses et efficaces sur un large spectre, constituent « la backbone de l'antibiothérapie avicole » dans de nombreux pays en développement (Di Francesco et al., 2021). Leur utilisation répandue est cependant préoccupante au regard de l'émergence de gènes de résistance (tetA, tetB, tetM) largement disséminés dans les flores commensales aviaires. Ainsi, (Di Francesco et al., 2021) ont documenté dans les élevages de volailles tunisiens que 99 % des poulets étaient porteurs d'au moins un gène tet, avec une diversité remarquable (plus de 11 gènes tet différents par lot en moyenne). En Algérie, la présence de gènes de résistance aux tétracyclines (tetA, tetB) a été signalée dans des souches d'*E. coli* isolées de poulets de la région de Biskra (Aberkane et al., 2023), suggérant que la pression de sélection exercée par l'usage des tétracyclines contribue à la dissémination de ces déterminants de résistance dans la région. Les données de résistance phénotypique confirment ce tableau de manière préoccupante ; Boutaïba Benklaouz et al., (2020) ont isolé dans l'ouest algérien des souches d'*E. coli* aviaire résistantes à la tétracycline à un taux de 86,89 % parmi 145 isolats ; de même, Kamel et al., (2024) ont enregistré dans la région de Souk Ahras une résistance à la doxycycline atteignant 96,68 % parmi 241 isolats d'Entérobactéries provenant de poulets sains. Cette multirésistance phénotypique généralisée est le reflet direct d'une pression de sélection antibiotique prolongée, et souligne que les tétracyclines ont en grande partie perdu leur efficacité clinique dans les élevages algériens. La quasi-totalité (95,86 %) des isolats de Boutaïba Benklaouz et al., (2020) présentaient une multirésistance (MDR), un constat partagé par Kamel et al., (2024) qui ont identifié 100 % de leurs isolats comme MDR, avec 40 profils de résistance différents combinant 3 à 10 antibiotiques distincts. Ces résultats plaident pour une réévaluation urgente des protocoles thérapeutiques actuels et l'instauration d'un antibiogramme obligatoire avant toute prescription antibiotique dans les élevages algériens.

La détection de la colistine dans 2 élevages pour la chute de ponte et 2 autres élevages pour les problèmes de qualité d'oeufs (soit 2 usages distincts) est le signal le plus alarmant de cette étude. La colistine est classée par l'OMS comme antimicrobien d'importance critique de Catégorie A (Highest Priority Critically Important Antimicrobial, HPCIA), réservée théoriquement au traitement en dernier recours des infections à bactéries multirésistantes chez l'homme. La découverte en 2015 du gène mcr-1 de résistance transférable à la colistine, initialement dans des élevages avicoles en Chine puis dans de nombreux pays, dont l'Algérie (Bastidas-Caldes et al., 2022; Chaalal et al., 2021; Chabou et al., 2018), confère à cet usage une dimension de santé publique majeure. En Algérie, la présence du gène mcr-1 porté sur des

plasmides conjugatifs (IncFV, IncFIIK, ISAp11) a été démontrée dans les filières avicoles de plusieurs régions du pays, avec des taux de résistance à la colistine atteignant 12,2 % dans les échantillons de viande de poulet (Chaalal et al., 2021). Ce gène est également retrouvé en association avec des gènes BLSE (blaCTX-M), amplifiant considérablement le potentiel de multirésistance des souches concernées (Akkari et al., 2024; Boulbair et al., 2025). En Algérie, en l'absence d'un cadre réglementaire clair interdisant l'usage de la colistine en prophylaxie ou métaphylaxie vétérinaire, cette molécule reste accessible et utilisée, ce que confirme notre étude.

La résistance aux fluoroquinolones constitue une menace supplémentaire d'une particulière gravité. Djemaïoune et al., (2025), dans leur étude sur les *Salmonella* isolées dans la province de Sétif, ont mis en évidence que 93,75 % des 80 isolats étaient résistants à l'acide nalidixique et à la péfloxacin, témoignant d'une sensibilité réduite à la ciprofloxacine. Plus alarmant encore, 9 isolats exprimaient un haut niveau de résistance à la ciprofloxacine, attribué à des mutations chromosomiques dans les gènes *gyrA* et *parC*. Parmi ces isolats hautement résistants figuraient des souches de *S. Gallinarum* biotype *gallinarum* provenant d'élevages de pondeuses, directement impliqué dans la typhoïde aviaire et les chutes de production. Les auteurs attribuent cette situation à l'usage excessif de l'enrofloxacin en aviculture algérienne. Mohamed et al., (2021) ont confirmé que l'enrofloxacin était la molécule la plus fréquemment prescrite (19,6 % des traitements) dans les élevages de poulets de chair de la province d'Aïn Defla, avec une dose prescrite quotidienne moyenne de 27,6 mg/kg/jour, nettement supérieure à la dose recommandée de 10 mg/kg/jour. Cette surexposition aux fluoroquinolones exerce une pression sélective intense sur les souches de *Salmonella*, d'*Escherichia coli* et d'autres Entérobactéries, favorisant l'émergence de mutants chromosomiques résistants susceptibles de se dissiper entre élevages de chair et de pondeuses via des vecteurs environnementaux communs.

Les macrolides (érythromycine, spiramycine, tylosine utilisés au niveau de 3 élevages) et les aminoglycosides (néomycine utilisé au niveau d'1 élevage) complètent un tableau d'usage diversifié, avec une prédominance de molécules appartenant aux catégories B et A de la CIA listées. Leur utilisation sans antibiogramme, vraisemblablement présomptive dans notre étude, ne permet pas de garantir leur pertinence thérapeutique et contribue à la pression de sélection sur les bactéries pathogènes et commensales. Ces observations corroborent les données de Kamel et al., (2024) qui ont rapporté dans l'est de l'Algérie une résistance à l'érythromycine atteignant 100 % parmi les Entérobactéries isolées de poulets sains, ainsi qu'une résistance à

la ciprofloxacine (fluoroquinolone) de 94,19 %, à l'ampicilline de 90,04 % et à la kanamycine de 78,01 %. De même, Boutaiba Benklaouz et al., (2020) ont mis en évidence dans la région de Mostaganem que 80,68 % des souches d'*E. coli* aviaire étaient résistantes à l'enrofloxacin et 80,68 % à la néomycine. Ces taux de résistance très élevés aux molécules de dernière réserve thérapeutique illustrent le défi auquel font face les vétérinaires praticiens dans la région : la majorité des agents antibiotiques couramment prescrits sont devenus cliniquement inefficaces, ce qui risque d'entretenir un cycle d'échecs thérapeutiques et d'escalade vers des molécules d'importance critique croissante.

4.3 Hétérogénéité de la qualité des œufs et association avec la chute de ponte

La prévalence de l'hétérogénéité de la qualité des œufs (45,8 %) est conforme aux observations rapportées en élevage intensif. L'hétérogénéité du poids (63,6 %) constitue le défaut le plus prévalent, ce qui est en accord avec les données de la littérature indiquant que les perturbations nutritionnelles et les infections systémiques affectent en premier lieu l'homogénéité pondérale de la production (McMullin, 2020; E. Spackman, 2020). Les défauts de coquille (54,5 %) méritent une attention particulière, car ils sont fréquemment associés à des infections virales (bronchite infectieuse, maladie de Newcastle) ou à des carences (en calcium et en vitamine D3), paramètres directement corrélés à la qualité de l'alimentation et à la santé du tissu osseux chez la pondeuse. La revue de McMullin, (2020) souligne notamment que *Mycoplasma synoviae* peut causer des anomalies de la pointe de l'œuf (Egg shell Apex Abnormalities), conduisant à une augmentation du taux de cassures et à une réduction indirecte de la production, ce qui est cohérent avec les observations cliniques rapportées dans notre étude. Par ailleurs, la dimension microbiologique de la qualité de la coquille ne doit pas être négligée dans ce contexte. Mebkhout et al., (2022), dans la première étude publiée en Algérie sur la contamination bactérienne de la surface de la coquille des œufs de poules pondeuses ISA Brown en batterie, ont démontré que 100 % des coquilles étaient contaminées par des bactéries aérobies mésophiles, avec une charge moyenne de $2,85 \pm 0,99$ Log UFC/cm², jugée acceptable selon les normes hygiéniques en vigueur (seuil de 5 Log UFC/cm²). Cependant, les auteurs ont également détecté une prévalence de coliformes totaux de 56 %, de streptocoques fécaux de 72 % et de *Staphylococcus aureus* de 19 % selon la méthode classique. Si *Salmonella spp.* était absente, la présence d'*Escherichia coli* (2 %) et de *Raoultella planticola* (2 %) a été confirmée, signalant un risque de contamination croisée susceptible d'altérer la qualité interne des œufs et la sécurité sanitaire du produit final. Ces données suggèrent que les défauts de coquille observés dans notre étude pourraient faciliter la

pénétration bactérienne vers le contenu de l'œuf, amplifiant ainsi les risques pour la santé publique au-delà de la simple perte économique liée aux cassures.

L'association statistiquement significative mise en évidence entre la chute de ponte et l'hétérogénéité de qualité (OR = 6,57 ; $p = 0,047$; V de Cramer = 0,438) suggère que ces deux manifestations partagent des causes communes, ce qui est biologiquement plausible. Des infections aviaires comme la bronchite infectieuse (IBV) ou la maladie de Newcastle peuvent en effet provoquer simultanément une chute de ponte et des altérations de la qualité de la coquille et du contenu de l'œuf. L'intervalle de confiance très large de l'OR ([0,84 – 87,92]), bien que statistiquement significatif en raison de la frontière de la p -value (0,047), impose une interprétation prudente : cette association devra être confirmée sur un échantillon de plus grande taille. La valeur du V de Cramer de 0,438 indique néanmoins une association de force modérée à élevée. Du point de vue nutritionnel, les travaux de Belaid-Gater et al., (2023) ont montré que des problèmes d'approvisionnement alimentaire irrégulier et de mauvaise présentation des aliments étaient associés à une réduction de la consommation alimentaire de 4 g/jour chez les pondeuses, ce qui se traduit directement par une réduction de la masse d'œuf produit. De même, Kasmi et al., (2026) ont mis en évidence que 92,4 % des élevages de la région de Batna n'utilisaient pas d'aliment pré-ponte (pre-lay diet), et que seulement 44,4 % des grands élevages (> 40 000 poules) avaient recours à des suppléments en sels minéraux, pourtant essentiels pour la calcification de la coquille. Ces lacunes alimentaires, probablement exacerbées durant la pandémie de COVID-19 par les perturbations des chaînes d'approvisionnement et la hausse des coûts des intrants, créent des conditions de stress métabolique qui fragilisent la pondeuse et la rendent plus vulnérable aux infections bactériennes et virales susceptibles de compromettre simultanément le taux et la qualité de la ponte.

4.4 Évaluation des associations statistiques et exploration des profils multivariés par ACM

L'ACM a constitué un outil particulièrement informatif pour identifier les profils d'élevages au-delà des associations bivariées. La structuration de l'Axe 1 autour d'un gradient 'Santé Globale', opposant les élevages sains (aucun problème, aucun traitement) aux élevages avec problèmes multiples (chute de ponte, hétérogénéité de la qualité d'œufs, antibiothérapie, cause bactérienne), illustre la cohérence interne de la matrice et valide la qualité des données collectées. Ce résultat suggère également que les élevages présentant des problèmes tendent à les cumuler, plaidant pour une approche globale du suivi sanitaire plutôt qu'une prise en

charge isolée des symptômes. Cette logique de cumul des défaillances s'accorde parfaitement avec les résultats de Kasmi et al., (2026), qui ont montré que les élevages de moins de 40 000 poules dans la province de Batna présentaient simultanément des périodes de ponte plus courtes, des taux de production plus faibles, une consommation alimentaire plus élevée et des taux de mortalité nettement supérieurs aux normes des souches (13,67 % et 11,93 % pour les groupes I et II respectivement, contre 5 à 7 % recommandés pour l'ISA Brown). À l'inverse, les grands élevages (> 40 000 poules) obtenaient un taux de ponte moyen de 82,89 % et un taux de mortalité de 6,11 %, proches des références des souches, suggérant que l'économie d'échelle et une meilleure maîtrise technique constituent des facteurs protecteurs. Le clivage entre petites et grandes structures identifié par ces auteurs recoupe le gradient observé sur l'Axe 1 de notre ACM et confirme que les défaillances multiples, alimentaires, sanitaires et de gestion, sont le lot des structures de petite et moyenne taille, qui représentent pourtant la majorité du secteur productif algérien. Il convient de noter que la pandémie de COVID-19 a pu renforcer ce gradient en amplifiant les difficultés d'accès aux médicaments et aux ressources alimentaires pour les petites structures, qui ont moins de capacité de stockage et de négociation que les grandes unités industrielles, élargissant ainsi l'écart de performance entre ces deux types d'élevages.

L'Axe 2, structuré par les causes alimentaires, le stress et l'usage d'antistress, identifie un sous-groupe d'élevages pour lesquels les perturbations sont d'origine non infectieuse. Ce profil appelle à des interventions de nature nutritionnelle et de bien-être animal, bien distinct des antibiothérapies, renforçant l'idée que la différenciation étiologique est un préalable indispensable à la prescription raisonnée. Les données de Kasmi et al., (2026) apportent un éclairage concret à cette observation : dans leur échantillon de 144 élevages à Batna, 92,4 % des éleveurs n'avaient pas recours à l'alimentation pré-ponte et seulement 7,6 % pratiquaient l'alimentation nocturne, pourtant reconnue comme bénéfique pour la qualité de la coquille par amélioration de la rétention calcique. Belaid-Gater et al., (2023) ont également souligné que des ruptures d'approvisionnement alimentaire répétées dans leur complexe étudié sur 15 ans ont entraîné des baisses de consommation mesurables et une dégradation de la qualité de la coquille, accentuant le taux de cassure. Ces éléments confirment que les interventions alimentaires ciblées, fourniture d'aliment pré-ponte, alimentation nocturne, supplémentation en sels minéraux et en acides organiques, constituent des leviers d'amélioration des performances indépendants de l'antibiothérapie, et que leur mise en œuvre devrait être priorisée dans les élevages du sous-groupe « alimentaire-stress » identifié par l'Axe 2.

Les données de Kasmi et al., (2025) sur la gestion environnementale des élevages de Batna renforcent cette lecture. Les auteurs ont montré que 70,83 % des élevages ne contrôlaient pas l'intensité lumineuse de leurs bâtiments, et que 97,92 % n'exerçaient aucune régulation de l'hygrométrie. Ceci illustre un retard technologique aux répercussions directes sur les performances reproductrices des poudeuses dans les petites exploitations par rapport aux grands élevages (> 40 000 poules), qui présentent une meilleure persistance de la ponte, soulignant une fois de plus la fracture technologique entre petites et grandes structures. Selon les mêmes auteurs (Kasmi et al., 2025), le fait que 97,92 % des éleveurs n'avaient pas bénéficié d'une formation formelle en aviculture explique en partie le faible niveau d'adoption des bonnes pratiques environnementales et biosécuritaires, et appuie la nécessité d'intégrer des programmes de formation technique dans toute stratégie d'amélioration de la filière.

4.5 Limites de l'étude

Plusieurs limites méthodologiques méritent d'être soulignées, la première étant d'ordre conjoncturel : l'étude a été menée en pleine pandémie de COVID-19 (février–mars 2021), dans un contexte de restrictions de déplacement, de réduction des activités économiques et de disponibilité limitée des éleveurs et des vétérinaires praticiens. Ces contraintes ont directement limité la taille d'échantillon à un nombre égal de 24 élevages, bien en deçà de la population cible initialement envisagée, réduisant la puissance statistique des tests et la généralisabilité des résultats. Les intervalles de confiance larges observés (notamment pour l'OR de l'association chute de ponte x qualités d'œufs) en sont la conséquence directe. Deuxièmement, le recrutement par échantillonnage de convenance auprès de vétérinaires praticiens introduit un biais de sélection potentiel, les élevages suivis par un vétérinaire étant probablement de meilleure qualité sanitaire que la moyenne. Troisièmement, les données sont déclaratives (biais de mémorisation, désirabilité sociale), sans confirmation microbiologique des causes, des données sur les dosages, durées de traitement ou intervalles avant ponte. Quatrièmement, la concentration géographique dans la wilaya de Batna limite la représentativité nationale des résultats. Cinquièmement, les données relatives aux pratiques antimicrobiennes ont été collectées dans un contexte de restriction des approvisionnements en médicaments induite par la pandémie, ce qui peut avoir biaisé le profil des molécules utilisées vers les stocks disponibles plutôt que vers les choix thérapeutiques optimaux ; cet élément doit être pris en compte dans l'interprétation du profil antimicrobien observé. Ces limites positionnent cette étude comme une étude pilote exploratoire réalisée dans un contexte

sanitaire exceptionnel, dont les résultats devront être confirmés par une enquête à plus large échelle intégrant un diagnostic microbiologique et menée en contexte post-pandémique stabilisé.

En dépit de ces limites, notre étude s'inscrit dans une dynamique de recherche régionale croissante. Plusieurs travaux récents contribuent à mieux documenter les différentes dimensions de la santé et de la gestion des élevages de poules pondeuses en Algérie : la contamination bactérienne des coquilles (Mebkhout et al., 2022), les performances zootechniques (Belaid-Gater et al., 2023; Kasmi et al., 2026), les pratiques d'alimentation (Kasmi et al., 2026), la gestion environnementale et la biosécurité (Kasmi et al., 2025), et la résistance antimicrobienne des *Enterobactéries* et des *Salmonella* (Boutaiba Benklaouz et al., 2020; Djemaïoune et al., 2025; Kamel et al., 2024). Ces études constituent collectivement un socle de connaissances précieux pour orienter les décisions de politique sanitaire vétérinaire, et justifient la mise en place d'un réseau de surveillance intégré couplant données d'usage des antimicrobiens, données de résistance et indicateurs de performance des élevages, à l'image des programmes DANMAP (Danemark) ou ESVAC (Europe) dont l'absence en Algérie a été soulignée par Mohamed et al., (2021).

Conclusion

Les résultats de la présente enquête ont été obtenus dans un contexte de crise sanitaire ayant impacté à la fois la disponibilité des médicaments vétérinaires et les conditions de collecte des données, s'inscrivent dans les préoccupations mondiales relatives à la résistance aux antimicrobiens et au bon usage des antibiotiques en production animale. Ils plaident pour l'élaboration de protocoles de gestion des stocks d'antimicrobiens et de continuité thérapeutique en contexte de crise sanitaire ou de rupture d'approvisionnement, afin de préserver la disponibilité des molécules essentielles pour les filières avicoles. Les observations enregistrées justifient la nécessité de la mise en place d'un système national de surveillance de l'usage des antimicrobiens en aviculture des poules pondeuses, couplé à des données de résistance microbiologique et à des indicateurs de performance zootechnique, à l'image des programmes DANMAP (Danemark) ou ESVAC (Europe). Cette enquête démontre l'intérêt de l'élaboration et la diffusion de protocoles thérapeutiques fondés sur l'antibiogramme obligatoire avant toute prescription, auprès des vétérinaires praticiens. Aussi, elle plaide pour une régulation renforcée de la distribution et de l'usage de la colistine en

médecine vétérinaire, alignée sur les restrictions internationales, compte tenu du risque de transfert de résistance documenté en Algérie. Ces résultats font appel, également, au renforcement des pratiques biosécuritaires et de la formation technique des éleveurs, dont les lacunes structurelles constituent le substrat du recours antibiotique réactif. Enfin, une conduite d'études multicentriques à plus large échelle, intégrant un diagnostic microbiologique systématique, pour confirmer et généraliser les résultats de cette enquête pilote exploratoire à l'ensemble de la filière ponte nationale est vivement recommandée.

DEUXIÈME ÉTUDE : *Effets de l'huile essentielle d'origan sur les marqueurs métaboliques et endocriniens de l'immunité antibactérienne, la fonction reproductive, l'état nutritionnel et les performances de production des poules pondeuses en fin de cycle.***1. Introduction**

Cette étude vise à évaluer l'efficacité d'un additif phytogénique à base d'huile essentielle d'origan en établissant des profils métaboliques et hormonaux complets, y compris l'utilisation novatrice de la procalcitonine comme biomarqueur de l'efficacité antimicrobienne, chez des poules pondeuses commerciales dans des conditions d'élevage réelles et au moment critique de la « phase finale du cycle de production ». Au cours de cette période finale, les poules plus âgées deviennent plus exigeantes et plus sensibles à tout trouble zootechnique (lié à l'alimentation), biologique intrinsèque (immunité), extrinsèque (par exemple, bactérien) et environnemental, ce qui influence la décision de l'éleveur de mettre fin ou de prolonger leur carrière productive.

2. Matériels et Méthodes**2.1. Les oiseaux, les antécédents médicaux et les conditions d'élevage**

Cette étude, menée dans des conditions réelles, a été réalisée selon un protocole avant-après, sans groupe témoin, pour des raisons éthiques, notamment le fait de priver certaines cages de l'additif sans le consentement du propriétaire, et en raison de contraintes pratiques liées aux conditions sur place, notamment la difficulté d'empêcher l'eau contenant de l'huile essentielle de pénétrer dans certaines cages. Deux populations distinctes (bandes) élevées dans les mêmes conditions ont été observées et suivies avant et après l'administration d'un OEO commercialisé, afin d'évaluer les principaux paramètres de production, en prenant en compte l'ensemble de la population (poules) présente dans chaque bande, tandis que des échantillons sanguins ont été prélevés sur des sous-échantillons sélectionnés au hasard en vue d'analyses biochimiques. La période de prétraitement a été considérée comme une base de référence ou un point de départ pour mesurer les changements observés après la supplémentation en OEO. Elle a été menée pendant trois semaines, à partir du début du mois d'avril 2024 (printemps), sur deux bandes appartenant à deux poulaillers distincts d'un élevage avicole commercial situé dans la province de Constantine (Algérie), appartenant au même éleveur et soumis aux mêmes

conditions de gestion. Cette étude a été menée sur 7 884 poules pondeuses Hy-Line Brown en phase de production avancée, d'âges différents selon la bande. Les bandes ont été sélectionnées en fonction de leurs performances de production et de leur dossier sanitaire. La première bande (bande1), qui comprenait les poules les plus âgées ($n = 3\,849$ poules âgées de 96 semaines), présentait une courbe de production normale avec un taux de ponte maximal de 93,60 % à l'âge de 32 semaines (Figure 12). En comparaison, la bande 2, composé des poules les plus jeunes ($n = 4\,035$ poules âgées de 79 semaines), présentait une courbe de production anormale : la production a atteint son taux maximal de 69,32 % à 37 semaines, puis a connu une période de déclin pour s'établir à 46,53 % à 44 semaines (Figure 12). Les deux bandes ont également connu certaines périodes de forte mortalité, avec un taux hebdomadaire maximal de 0,40 % et 0,47 % respectivement pour la bande 1 et la bande 2. Cependant, la fréquence et l'ampleur de la mortalité différaient entre les deux bandes. Elles étaient plus marquées, avec des pics plus élevés, dans la bande 2 (Figure 12). Ces problèmes ont conduit l'éleveur à recourir fréquemment à des antibiotiques (érythromycine et tétracycline) ainsi qu'à des vitamines (AD3E) pendant les phases de ponte. Aucune substance thérapeutique n'a été administrée aux poules pendant au moins dix semaines avant le début de l'expérience. Les poules ont été accueillies à la ferme à l'état de poulettes, après avoir suivi une période d'élevage différente (de 1 à 16 semaines) pour chaque lot, et ont commencé leur période de ponte à l'âge de 18 semaines. Toutes les poules ont été élevées selon le même système de production en cage conventionnel ($43\text{ cm} \times 42\text{ cm} \times 41\text{ cm}$; quatre poules par cage) et dans les mêmes conditions d'élevage, à savoir l'éclairage, la température et l'alimentation. Les poulaillers étaient équipés d'un système de ventilation contrôlée, avec une température maintenue à environ $24 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ et une photopériode de 15 heures par jour (« LED 5 W ») pendant toute la durée de l'expérience. Les volailles disposaient d'eau à volonté et avaient libre accès à la nourriture, distribuée manuellement à 8 h (tableau 10), conformément au guide d'élevage Hy-Line Brown (Hy-Line International, 2024). L'éleveur de volaille a décidé de mettre fin au cycle de production des deux bandes au cours de la quatrième semaine suivant le début de l'administration de l'OEO (à l'âge de 99 et 82 semaines pour les bandes1 et 2, respectivement) pour des raisons économiques (prix du marché) et zootechniques, afin de respecter une période de vide sanitaire avant l'installation de nouveaux bandes.

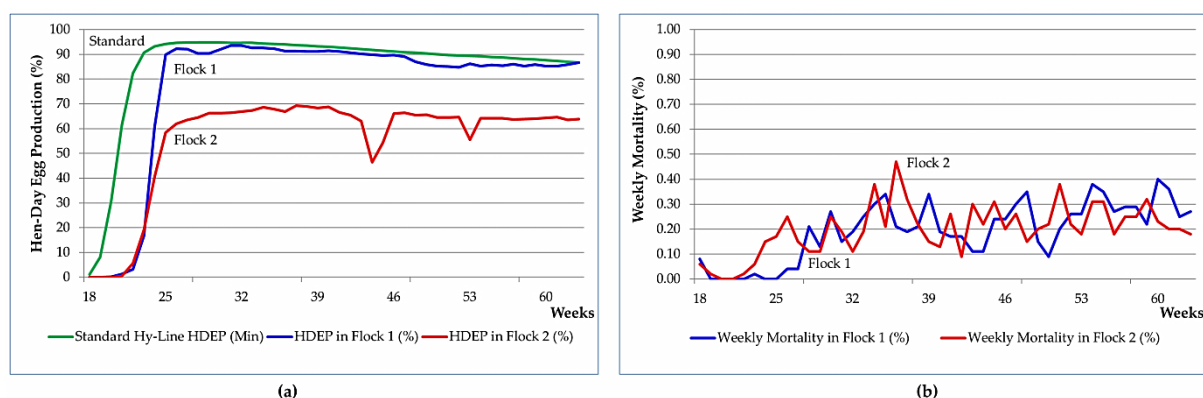


Figure 12: Historique comparatif de la production des bandes étudiées : (a) production d'œufs par poule et par jour (HDEP) ; (b) mortalité hebdomadaire (Hadeef et al., 2025).

Tableau 10: Ingrédients et composition chimique de l'alimentation distribuée aux poules pondeuses dans les deux bandes suivies (Hadeef et al., 2025).

Ingredients	Proportion (%)
Corn	62
Soybean	19
Wheat bran	8
Grit	8
Monocalcium phosphate *	1.5
Vitamin and mineral premix **	1
Total	100
Analytical nutrient composition (per kg of diet)	
Dry matter (DM)	91.4
Crude protein (CP)	19
Ether extract (Fat)	2.8
Sugar	50.2
Crude fiber (CF)	4.5
Ash	13.7
Calcium	5.4
Phosphorus	0.65
Metabolizable energy (kcal/kg)	2734

*: Monocalcium phosphate content: total phosphorus 22.7%, calcium 15%. **: Premix provided per kg of diet: Vitamins = Vitamin A 10,000 IU, Vitamin D3 3000 IU, Vitamin E 20 mg, Vitamin B1 2 mg, Vitamin K3 2 mg, Vitamin B2 6 mg, Vitamin B6 4 mg, Vitamin B12 0.02 mg, Niacin 30 mg, Pantothenic acid 10 mg, Biotin 0.1 mg, and Folic acid 1 mg. Oligo-elements = Iron 50 mg, Copper 6.25 mg, Zinc 50 mg, Manganese 87.50 mg, Iodine 1.25 mg, Cobalt 0.50 mg, and Selenium 0.25 mg. Additives = DL-Methionine 1200 mg, Choline chloride 400 mg, Antioxidant 100 mg, Salt 3000 mg, calcium 11.40%, Sodium 13%, and Chlorine 19%.

2.2. Administration d'huile essentielle d'origan

L'huile essentielle d'origan (OEO) utilisée était un produit naturel commercial eubiotique d'origine végétale contenant 5 % d'huile essentielle d'*Origanum heracleoticum*. Son composant principal était constitué de 5 % de composés actifs, principalement du carvacrol (79,75 %), comme le montre la figure 13, et de 95 % d'un excipient inactif. L'analyse de la composition phytochimique de l'OEO a été réalisée au Centre de recherche scientifique et technique en analyses physico-chimiques (CRAPC, Bou Ismaïl, Tipaza, Algérie) par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse Agilent GC 6890 plus couplé à un spectromètre de masse à quadripôle Agilent 5973 (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, États-Unis), équipé d'une colonne capillaire apolaire HP-5MS (5 % de phényle, 95 % de diméthylpolysiloxane, 30 m × 0,25 mm × 0,25 µm d'épaisseur de film). Conformément à la posologie prescrite par le fabricant, l'éleveur a administré l'OEO commercial le même jour aux deux bandes pendant 7 jours, à partir de la semaine 96 pour la bande 1 et à partir de la semaine 79 pour la bande 2, par l'intermédiaire de l'eau de boisson à un taux d'incorporation maximal de 300 ml de produit pour 1 000 L d'eau de boisson, ce qui correspond à 14 mg d'OEO pure par litre d'eau, pour une densité de 0,93 g/ml d'huile essentielle, sans aucun délai d'attente.

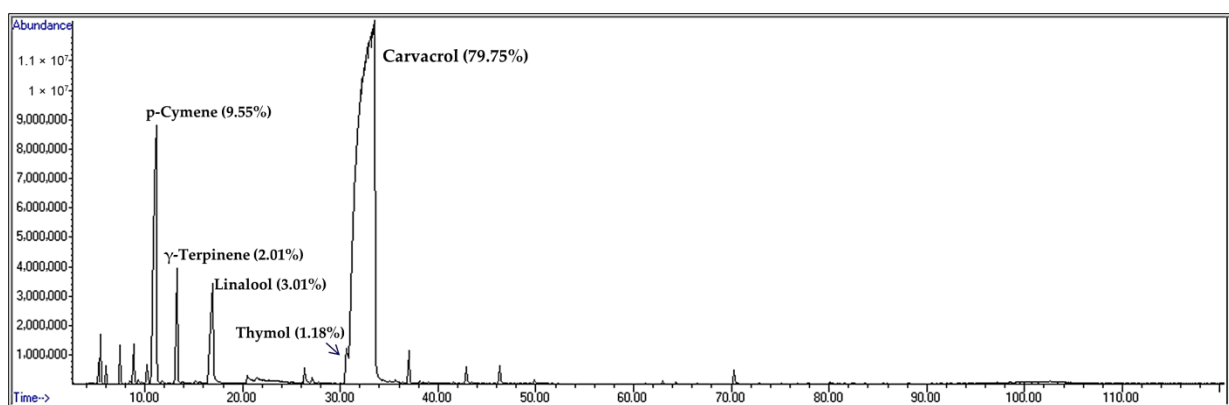


Figure 13: Composition phytochimique principale de l'huile essentielle d'origan étudiée (*Origanum heracleoticum*) (Hadeef et al., 2025).

2.3. Indicateurs de performances de production

Les données concernant l'ensemble des poules pondeuses en phase avancée de chaque bande (n = 3 849 pour la bande 1 et n = 4 035 pour la bande 2) ont été recueillies à partir des registres quotidiens des bandes. Le nombre d'œufs (intacts et cassés) et d'oiseaux morts était

consigné chaque jour par l'éleveur, conformément à son programme habituel de gestion des bandes. La ration alimentaire quotidienne distribuée était pesée, et les restes d'aliments étaient évalués en fin de journée afin de calculer la consommation alimentaire quotidienne. Les performances de chaque bande ont été calculées une fois avant le traitement à la semaine 0 (Pré-traitement OEO), à la fin du traitement à la semaine 1 (Semaine de traitement OEO) et une semaine après la fin du traitement à la semaine 2 (Semaine post-traitement OEO). Outre les indices enregistrés décrits ci-dessus, les paramètres de performance des bandes suivies (figure 14) ont été estimés pour chaque période liée au traitement, à l'exception de l'indice de consommation (FI), de l'indice de conversion alimentaire (FCR) et du poids vif (BW), calculés uniquement avant et à la fin de la semaine de traitement à l'aide de formules inspirées du guide de gestion Hy-Line Brown (Hy-Line International, 2024). Les performances obtenues ont été comparées aux valeurs de référence tirées de ce guide. Le poids moyen des œufs (PMO), utilisé pour calculer l'indice de conversion alimentaire (ICA), a été estimé quotidiennement à partir d'un échantillon aléatoire de 300 œufs. Pour évaluer la qualité des œufs, on a principalement pris en compte le poids de la coquille (PC) et le pourcentage de coquille (Gautron et al., 2021), Dix œufs par période de traitement (cinq œufs par bande) ont été prélevés au hasard et envoyés à un laboratoire agréé par l'État pour une évaluation du contrôle de la qualité alimentaire. Les valeurs AEW indiquées dans les sections « Résultats » et « Discussion » sont celles obtenues lors de l'évaluation en laboratoire, afin de mettre clairement en évidence leur relation avec l'ESW.

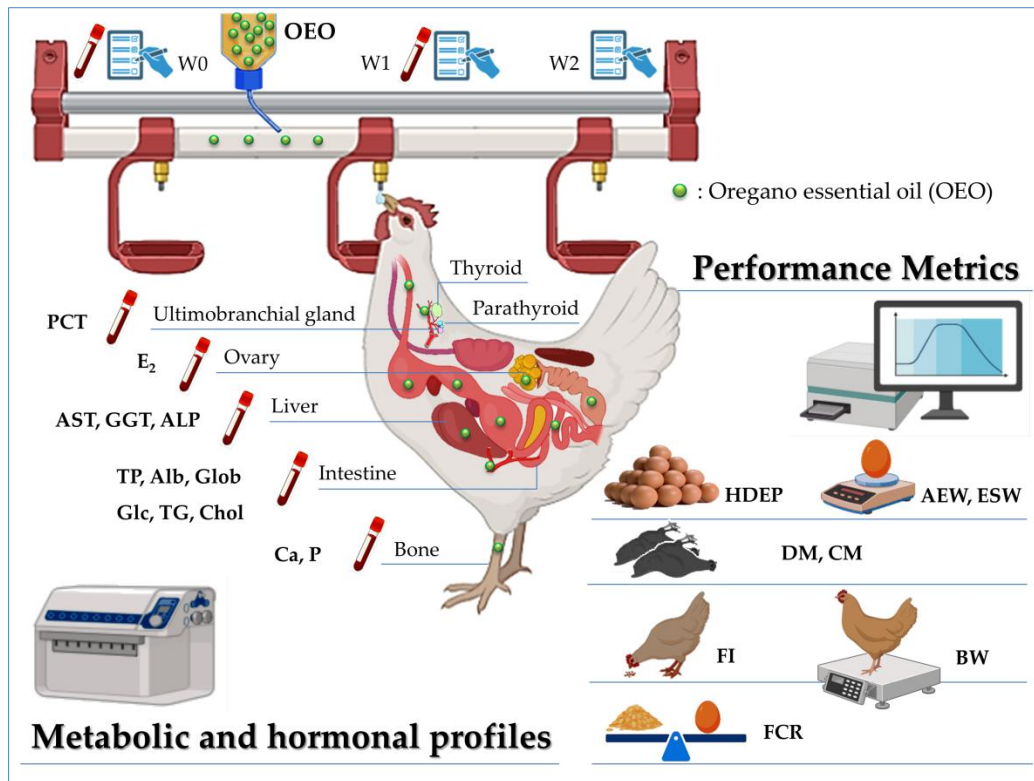


Figure 14: Protocole d'étude appliqué aux deux bandes étudiées au cours de différentes périodes d'addition de l'HEO (Hadeef et al., 2025).

Oregano essential oil (OEO), week (W), procalcitonin (PCT), estradiol (E₂), total protein (TP); albumin (Alb), total globulin (Glob), glucose (Glc), triglycerides, total cholesterol (TC), aspartate aminotransferase (AST), gamma glutamyl transferase (GGT), alkaline phosphatase (ALP), calcium (Ca), phosphorus (P), hen-day egg production (HDEP), average egg weight (AEM), eggshell weight (ESW), daily mortality (DM), cumulative mortality (CM), feed intake (FI), body weight (BW), and feed conversion ratio (FCR).

Pourcentage de production journalière d'œufs par poule présente (HDEP) (%) = (Nombre d'œufs produits en une journée) / (Effectif actuel de poules)

Taux de mortalité journalière = (Nombre total d'oiseaux morts au cours de la journée) / (Nombre d'oiseaux présents ce jour-là)

Mortalité cumulée = (Nombre total d'oiseaux morts à ce jour) / (Nombre d'oiseaux logés)

Poids moyen de l'œuf (AEW) et poids de la coquille (ESW) en g = poids moyen hebdomadaire de l'œuf et de sa coquille, obtenu à partir d'un échantillon aléatoire de 10 œufs par période de traitement (5 œufs par bande)

Pourcentage de coquille (%) = (masse moyenne de la coquille / poids moyen de l'œuf) × 100

Taux de conversion alimentaire (TCA) = kg d'aliments consommés pendant la période / kg de masse d'œufs produite pendant la période (nombre d'œufs × poids moyen d'un échantillon aléatoire de 300 œufs)

Poids corporel moyen (kg) = Poids moyen de 10 oiseaux sélectionnés au hasard par bande, avec un échantillon de 5 oiseaux pour chaque réplicat

2.4. Profils métaboliques et hormonaux :

Un profilage hebdomadaire des métabolites et des hormones dans le plasma sanguin a été réalisé avant l'administration d'huile essentielle d'origan disponible dans le commerce, le jour 0 (avant le traitement à l'huile essentielle d'origan, « Pre-OEO Tx »), puis 7 jours plus tard, à la fin de la période de traitement (après le traitement à l'huile essentielle d'origan, « Post-OEO Tx »).

Au total, 40 échantillons sanguins ont été prélevés à 8 h du matin, avant la distribution de la nourriture, par ponction veineuse dans la veine brachiale (de l'aile), puis placés dans des tubes héparinés codés (3 ml par oiseau) provenant de deux sous-échantillons de 5 poules pondeuses sélectionnées au hasard dans chaque bande, formant ainsi un groupe de 10 poules par bande pour chaque période de traitement (n = 10 oiseaux). Ces poules ont été considérées comme des unités biologiques individuelles provenant, pour les deux moments d'évaluation, de la même cage/du même emplacement et élevées dans des conditions identiques, conformément aux recommandations de Hy-Line International (Hy-Line-International, 2016).

Le plasma a ensuite été séparé par centrifugation à 3 000 tr/min pendant 10 minutes, puis conservé dans des conditions de stockage à court terme (quelques heures) (4 à 8 °C) en vue des analyses biochimiques, et stocké à -20 °C jusqu'aux analyses hormonales.

Les concentrations plasmatiques des marqueurs biochimiques courants de la nutrition protéique (protéines totales, albumine et globulines totales), de l'état énergétique (glucose, triglycérides et cholestérol total), de la fonction hépatique (aspartate aminotransférase, gamma-glutamyltransférase et phosphatase alcaline), du métabolisme osseux et minéral (calcium, phosphore) ont été déterminées à l'aide d'un analyseur chimique automatisé (Cobas Integra 400 Plus) utilisant des kits disponibles dans le commerce (Roche Diagnostics International Ltd., CH-6343 Rotkreuz, Bâle, Suisse). De plus, les rapports albumine/globuline et calcium/phosphore ont ensuite été calculés.

En ce qui concerne le profil endocrinien, la fonction ovarienne a été évaluée en dosant la concentration plasmatique d'estradiol (E2) à l'aide d'un analyseur automatisé (Maglumi X3) par un test immunochimiluminescent (CLIA) utilisant un kit commercial (Snipe Diagnostic, Shenzhen New Industry Biomedical Engineering Co., Ltd., Shenzhen, Chine). Pour le diagnostic des infections bactériennes et de l'inflammation, la concentration de procalcitonine (PCT) a été mesurée dans le plasma des poules à l'aide d'un système CLIA (Mindray CL-2000i) et d'un kit commercial (Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd., Shenzhen, Chine) (Figure 14).

2.5. Analyse statistique :

Les données relatives aux performances de production quotidiennes et à celles des biomarqueurs étudiés, mesurées dans les deux bandes au cours de différentes périodes de traitement, ont été analysées statistiquement à l'aide du logiciel IBM® SPSS® Statistics 26. La distribution normale des données, à l'aide du test de Shapiro-Wilk, et l'homogénéité de la variance, à l'aide du test de Levene, ont été vérifiées avant de procéder à l'analyse de variance. Cette étude portait sur deux populations indépendantes : la bande 1 et la bande 2. Au sein de chaque bande, les mesures pré- et post-traitement ont été considérées comme des échantillons dépendants lorsqu'elles provenaient de toutes les poules présentes. Les principaux paramètres, à savoir le HDEP, le CM et le DM, calculés pour tous les oiseaux présents avant l'administration de l'OEO (semaine 0), à la fin du traitement (semaine 1) et une semaine après la fin du traitement (semaine 2), ont été comparés au sein des bandes à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées avec le test de la différence minimale significative (LSD).

Le test de Friedman a été utilisé à la place de l'ANOVA à mesures répétées lorsque l'hypothèse de normalité n'était pas respectée. Pour le FCR, le test t apparié a été utilisé afin de déterminer s'il existait une différence significative entre les moyennes avant et après le traitement. Cependant, lorsque l'hypothèse de normalité n'était pas respectée, le test de Wilcoxon des rangs signés pour échantillons appariés a été appliqué à la place de ce test t pour ce paramètre ainsi que pour le FI. Pour la qualité des œufs et le poids vif, la comparaison des moyennes entre des groupes indépendants, constitués de manière aléatoire et définis par des périodes liées au traitement, a été réalisée à l'aide d'une ANOVA avec un test post hoc LSD pour comparer chaque paire de moyennes et de tests t pour deux groupes indépendants (avant et après), respectivement. Afin d'évaluer l'effet de l'huile essentielle d'origan, la variance des paramètres biochimiques étudiés avant (Pré-Tx) et après l'administration d'OEO (Post-Tx) a été analysée dans les deux bandes de poules pondeuses. Une analyse par modèle général standard (GLM) à effets fixes a été réalisée, en considérant la bande (deux populations indépendantes d'origines, d'histoires et d'âges différents) et le traitement (périodes pré-traitement et post-traitement) comme des effets fixes. Le modèle a testé les effets principaux et l'interaction « bande × traitement ». Cette interaction visait à déterminer si les variations observées entre la période avant et la période après l'administration d'huile essentielle d'origan différaient d'une bande à l'autre. Le modèle n'incluait pas de structure à mesures répétées ni d'effet aléatoire lié au sujet, car des individus différents avaient été échantillonnés à chaque moment d'évaluation. Les valeurs moyennes des paramètres métaboliques et hormonaux (variables dépendantes) à l'inclusion (pré-traitement) et lors du suivi (post-traitement) ont été comparées à l'aide du test post hoc de Bonferroni. De plus, afin d'évaluer la relation entre les marqueurs endocriniens (PCT et E2) et métaboliques (TP, Alb, Glob, Alb/Glob, Glc, TG, Chol, AST, GGT, ALP, Ca, P et Ca/P), une corrélation de Pearson a été effectuée. Pour tous les tests, un seuil de signification de 0,05 (5 %) a été fixé.

3. Résultats

3.1. Effet de l'huile essentielle d'origan sur les indicateurs de performance de la bande

3.1.1. Production et qualité des œufs

La figure 15 illustre l'impact de l'administration d'huile essentielle d'origan sur la production d'œufs par bande chez les poules pondeuses en fin de cycle de ponte.

Pour la bande 1, qui comprenait les poules pondeuses les plus âgées en phase tardive, la production d'œufs par poule et par jour (HDEP) a affiché une amélioration significative ($p <$

0,05) au cours du traitement, augmentant entre le début et la fin de la semaine de traitement, tout en se maintenant à un niveau élevé de 67,86 %, proche des valeurs de référence de Hy-Line Brown, une semaine après l'arrêt du traitement. Les poules pondeuses les plus jeunes en phase tardive de la bande 2 ont présenté une amélioration similaire de la HDEP, mais les résultats étaient moins marqués par rapport aux valeurs de référence (Figure 15).

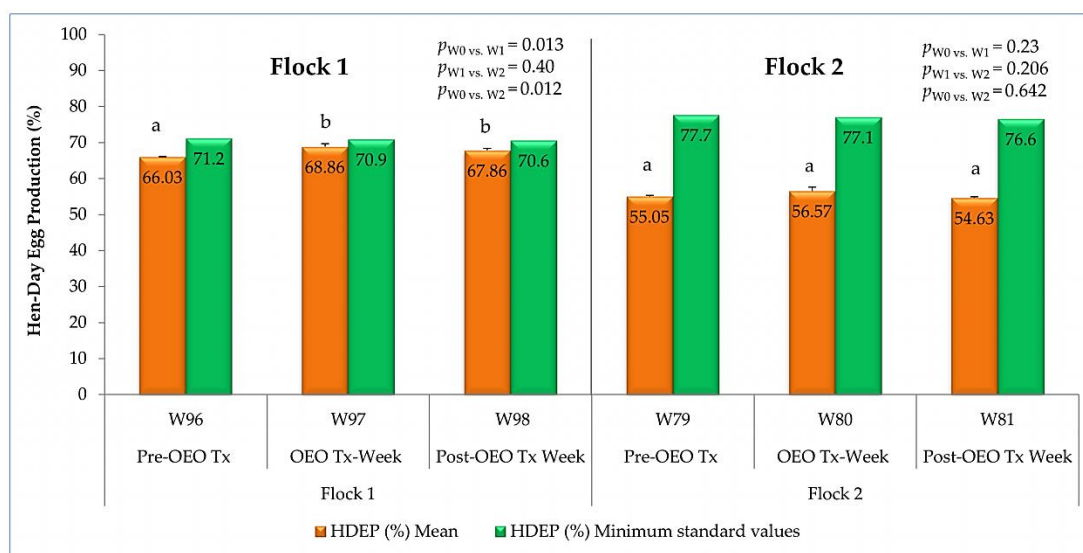


Figure 15: Variation de la production moyenne d'œufs par poule et par jour (HDEP) selon la bande au cours des différentes périodes d'addition de l'HEO (OEO). Pour chaque lot, les barres portant des lettres différentes (a, b) pour les périodes liées au traitement sont significativement différentes ($p < 0,05$) selon le test LSD (Hadeef et al., 2025).

3.1.2. La qualité des œufs

Le poids moyen des œufs, le poids de la coquille et le pourcentage de coquille ont présenté des variations différentes selon la bande (tableau 11). Les poules âgées (bande 1) ont montré une légère amélioration non significative ($p > 0,05$) du poids moyen des œufs à la fin du traitement, avant de se stabiliser autour de 68,44 g une semaine après l'arrêt du traitement, tout en conservant des valeurs légèrement supérieures à celles indiquées dans le guide de la race. En revanche, les poules plus jeunes de la bande 2 ont présenté une amélioration significative ($p < 0,05$) du poids des œufs pendant le traitement, passant d'une valeur (61,66 g) inférieure à la norme à un poids de 71,38 g, ce qui représente une augmentation marquée de 9,72 g (15,76 %). Cette augmentation n'a pas perduré une semaine après la fin du traitement ; le poids a diminué tout en restant supérieur à la valeur standard de 65 g.

Contrairement au bande 1, qui n'a pas présenté d'augmentation significative du poids de la coquille ($p > 0,05$), une amélioration significative a été observée dans la bande 2, où le poids de la coquille a atteint 10,04 g une semaine après l'arrêt du traitement ($p < 0,05$). Dans cette

bande, chez les poules les plus jeunes, le pourcentage de coquille a diminué de manière significative ($p < 0,05$) à la fin du traitement pour s'établir à 11,51 %, se rapprochant ainsi de la valeur de référence maximale de 11 %. Si l'on exclut cet effet, les pourcentages enregistrés dans les deux groupes et au cours des différentes périodes d'essai étaient supérieurs à la valeur de référence décrite ci-dessus (tableau 11).

Tableau 11: Effet de la supplémentation orale à base d'huile essentielle d'origan sur la qualité des œufs de poules pondeuses Hy-Line Brown dans les deux bandes étudiées (Hadeef et al., 2025).

Flocks		Flock1			Flock2		
Treatment Periods		Pre-OEO Tx	Tx-OEO Week	Post-OEO Week	Pre-OEO Tx	OEO Tx-Week	Post-OEO Tx Week
Hens Age (Weeks)		96 (W0)	97 (W1)	98 (W2)	79 (W0)	80 (W1)	81 (W2)
Average Egg Weight (g)	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5
	Mean	67.62 ^a	70.44 ^a	68.44 ^a	61.66 ^a	71.38 ^b	69.86 ^b
	SEM	3.82	4.45	3.45	1.82	1.08	3.68
	<i>p</i> _{W0 vs. W1}	0.621			0.016		
	<i>p</i> _{W1 vs. W2}	0.725			0.669		
	<i>p</i> _{W0 vs. W2}	0.885			0.036		
	Standard values	65.4	65.4	65.4	65	65	65
Eggshell Weight (g)	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5
	Mean	8.80 ^a	10.00 ^a	9.50 ^a	8.62 ^{a,b}	8.22 ^b	10.04 ^a
	SEM	0.51	0.38	0.29	0.65	0.38	0.40
	<i>p</i> _{W0 vs. W1}	0.057			0.575		
	<i>p</i> _{W1 vs. W2}	0.397			0.022		
	<i>p</i> _{W0 vs. W2}	0.243			0.063		
Eggshell Ratio (%)	<i>n</i>	5	5	5	5	5	5
	Mean	13.04 ^a	14.39 ^a	14.05 ^a	13.94 ^a	11.51 ^b	14.44 ^a
	SEM	0.43	0.93	0.91	0.84	0.45	0.44
	<i>p</i> _{W0 vs. W1}	0.251			0.015		
	<i>p</i> _{W1 vs. W2}	0.767			0.005		
	<i>p</i> _{W0 vs. W2}	0.385			0.577		
	Reference values *	10–11	10–11	10–11	10–11	10–11	10–11

^{abc} Pour chaque bande, les valeurs moyennes accompagnées d'exposants différents dans une même ligne présentent des différences significatives à $p < 0,05$ selon le test LSD. Les valeurs de référence ont été tirées du guide de gestion de Hy-Line International (Hy-Line International, 2024).* Valeurs de référence concernant le pourcentage de coquille d'œuf citées par Gautron et al. (Gautron et al., 2021).

3.1.3. Rendement de la production d'œufs, croissance et développement

Après une semaine d'administration orale d'OEO, une diminution non significative ($p > 0,05$) de la consommation alimentaire a été observée dans les deux bandes étudiées, bien que cette diminution ait été plus marquée chez les poules plus âgées (bande 1), avec des valeurs bien éloignées de la norme. L'aromathérapie a influencé de manière significative ($p < 0,05$) l'efficacité alimentaire en réduisant les indices de conversion alimentaire calculés dans les deux bandes. Pour la bande 1, l'indice de conversion alimentaire s'est amélioré de manière significative, passant de 2,89 à 2,57 au cours du traitement. Cependant, ses valeurs n'ont pas atteint la norme de la race au cours des périodes d'étude (figure 16).

L'ajout d'OEO n'a pas eu d'effet significatif ($p > 0,05$) sur le poids corporel. Seul le lot 2 a présenté une légère diminution du poids vif. Contrairement au lot 1, il présentait dès le départ un poids inférieur à la norme (figure 16).

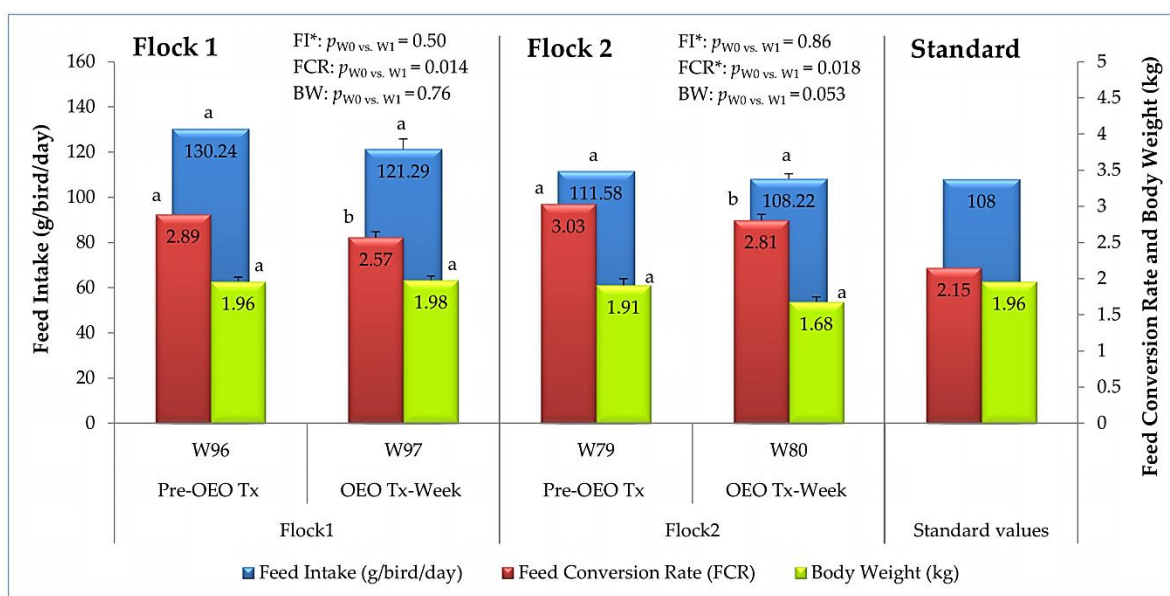


Figure 16: Moyennes de la consommation d'aliment, de l'indice de conversion alimentaire et du poids corporel par bande avant et après l'administration d'OEO (Hadeef et al., 2025).

Pour l'indice de conversion alimentaire du lot 1, les barres moyennes portant des lettres différentes (a, b) sont significativement différentes ($p < 0,05$) selon un test t apparié. * : Pour l'indice de conversion alimentaire de la bande 2 et pour la consommation d'aliment de chaque bande, les barres moyennes portant des lettres différentes (a, b) sont significativement différentes ($p < 0,05$) selon le test de Wilcoxon. Les moyennes du poids corporel ont été comparées à l'aide d'un test t (seuil de signification est 0,05).

3.1.4. La survie (la mortalité)

Avant le traitement par l'OEO, les deux bandes présentaient des taux de mortalité cumulés très élevés par rapport à la norme de la variété Hy-Line Brown (19,91 % contre 7,60 % pour la bande 1 et 15,87 % contre 4,78 % pour la bande 2). À la fin du traitement et une semaine plus tard, une évolution significative ($p < 0,05$) de ce paramètre a été observée dans les deux bandes. Cette augmentation, estimée en moyenne à 0,38 % et 0,26 % par semaine respectivement pour la bande 1 et la bande 2, dépasse les limites acceptables de variation de 0,2 % par semaine décrites dans le guide de gestion, notamment chez les poules pondeuses âgées de la bande 2. Contrairement à l'augmentation significative observée chez les poules plus âgées de la bande 1, une diminution significative de la mortalité quotidienne a été observée ($p < 0,05$) dans la bande 2 pendant le traitement et une semaine après la fin de celui-ci (figure 17).

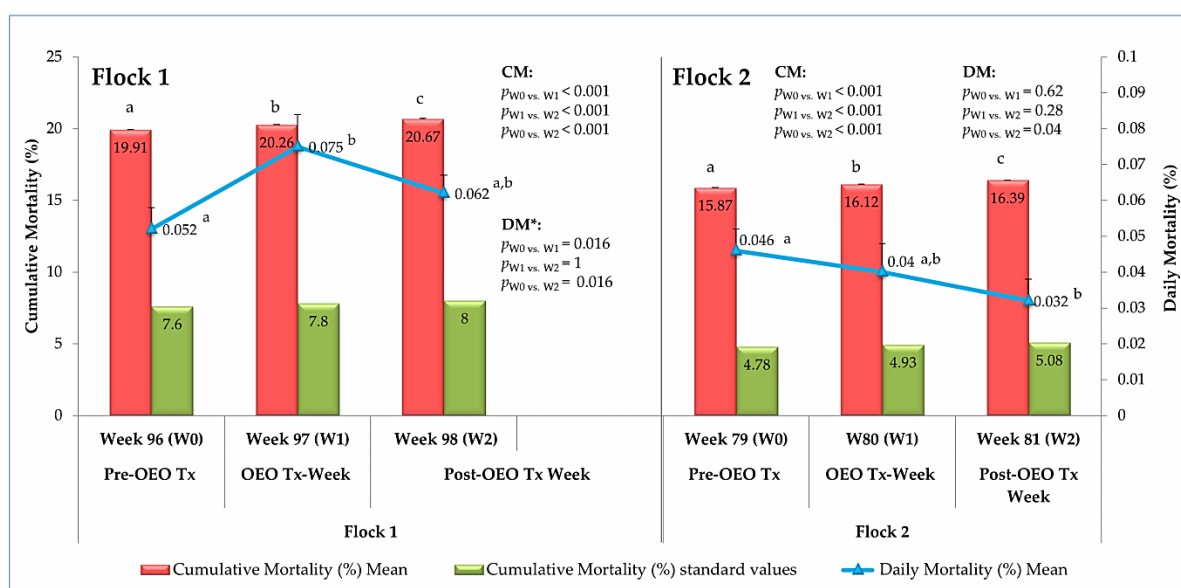


Figure 17: Évolution de la mortalité cumulée et de la mortalité quotidienne par bande au cours des différentes périodes liées à l'administration de l'HÉO (Hadeef et al., 2025).

Pour chaque bande et pour chaque paramètre, les moyennes représentées par des barres portant des lettres différentes (a, b, c) présentent des différences significatives à $p < 0,05$ selon le test « LSD ».

* Les moyennes de mortalité quotidienne de la bande 1 présentent des différences significatives à $p < 0,05$ selon le test de Friedman.

3.2. Effet de l'huile essentielle d'origan sur le profil métabolique

Les paramètres biochimiques sanguins des poules issues des deux bandes, avant et après l'administration d'huile essentielle d'origan du commerce dans l'eau de boisson, sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12: Analyse GLM des concentrations des paramètres biochimiques (moyenne $\pm$ erreur standard) mesurées dans les deux bandes de poules pondeuses avant (Pré-Tx OEO) et après (Post-Tx OEO) administration d'huile essentielle d'origan (Hadeef et al., 2025).

n	Flocks						Fixed Effects						Reference Value (Range (Chorfi & Venne, 2015); Mean (Kaneko et al., 2008))
	Flock 1		Flock 2		Total Treatment		Flock		Treatment		Flock * Treatment		
	Pre-OEO Tx	Post-OEO Tx	Pre-OEO Tx	Post-OEO Tx	Pre-OEO Tx	Post-OEO Tx	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	
	10	10	10	10	20	20							
TP (g/L)	54.69 ±2.15	63.68 ±2.01	53.93 ±2.32	57.84 ±2.01	54.31 ±1.58	60.76 ±1.42	2.40	0.13	9.20	0.01	1.43	0.24	43.8–68.6; 56
Alb (g/L)	21.10 ±0.80	20.41 ±0.75	21.47 ±0.87	18.40 ±0.75	21.28 ±0.59	19.41 ±0.53	1.07	0.31	5.57	0.03	2.24	0.15	22.3–28.0; 25
Glob (g/L)	33.59 ±1.67	43.26 ±1.56	32.47 ±1.80	39.44 ±1.56	33.03 ±1.23	41.35 ±1.10	2.24	0.15	25.41	0.00	0.67	0.42	21.5–42.0; 31
Alb/Glob	0.64 ±0.03	0.48 ±0.03	0.67 ±0.03	0.47 ±0.03	0.65 ±0.02	0.47 ±0.02	0.12	0.74	41.29	0.00	0.37	0.55	0.64–1.1; 0.81
Glc (g/L)	2.51 ±0.11	2.28 ±0.11	2.37 ±0.12	2.53 ±0.11	2.44 ±0.08	2.41 ±0.08	0.22	0.64	0.10	0.75	3.14	0.09	1.91–3.42; 1.68
TG (g/L)	19.27 ±4.99	17.70 ±4.67	27.93 ±5.39	12.26 ±4.67	23.60 ±3.67	14.98 ±3.30	0.11	0.75	3.05	0.09	2.04	0.17	3.19–32.24
Chol (g/L)	1.56 ±0.30	1.54 ±0.29	1.84 ±0.33	1.52 ±0.29	1.70 ±0.22	1.53 ±0.20	0.18	0.67	0.33	0.57	0.25	0.62	1.08–2.93; 1.84
AST (UI/L)	190.96 ±14.94	140.13 ±13.98	185.84 ±16.14	114.96 ±13.98	188.40 ±11.00	127.54 ±9.88	1.05	0.32	16.94	0.00	0.46	0.50	130–270; 174.8
GGT (UI/L)	25.80 ±8.09	26.57 ±6.83	47.00 ±7.38	28.93 ±6.39	36.40 ±5.47	27.75 ±4.68	2.67	0.12	1.44	0.24	1.71	0.20	5–25
ALP (UI/L)	395.00 ±97.59	263.63 ±91.29	528.00 ±105.41	344.13 ±91.29	461.50 ±71.83	303.88 ±64.55	1.22	0.28	2.66	0.12	0.07	0.79	155–990; 482.5
Ca (mg/L)	386.43 ±24.70	362.88 ±23.10	416.00 ±26.68	307.00 ±23.10	401.21 ±18.18	334.94 ±16.34	0.29	0.60	7.35	0.01	3.06	0.09	132.26–360.72; 284
P (mg/L)	74.19 ±4.99	90.96 ±4.67	72.80 ±5.39	78.44 ±4.67	73.49 ±3.67	84.70 ±3.30	1.98	0.17	5.15	0.03	1.27	0.27	46.5–86.7
Ca/P	5.31 ±0.31	3.99 ±0.29	5.83 ±0.34	3.90 ±0.29	5.57 ±0.23	3.94 ±0.21	0.46	0.51	27.50	0.00	0.97	0.33	1.6–4.9

* Sig.: p -value of F-test for fixed effects, which are significant when $p < 0.05$. Total protein (TP), albumin (Alb), total globulin (Glob), glucose (Glc), triglycerides, total cholesterol (TC), aspartate aminotransferase (AST), gamma glutamyl transferase (GGT), alkaline phosphatase (ALP), calcium (Ca), phosphorus (P).

3.2.1. Nutrition protéique

L'analyse factorielle des variations des taux plasmatiques de protéines (protéines totales, globulines, albumine et rapport albumine/globuline) révèle que le seul effet principal significatif est celui de l'ajout d'huile essentielle d'origan dans l'eau de boisson ($p < 0,05$), indépendamment de l'âge et des conditions d'élevage des poules (effet « bande ») ou de leur interaction avec le traitement ($p > 0,05$). Bien que les taux de protéines totales et de globulines soient restés dans la fourchette de référence avant et après l'ajout d'huile essentielle d'origan (OEO), cette aromathérapie a entraîné une augmentation significative de la concentration plasmatique de ces deux paramètres ($p < 0,01$). Cependant, la concentration plasmatique d'albumine, qui était inférieure aux valeurs de référence avant le traitement, a continué à diminuer de manière significative au cours de l'essai ($p < 0,05$), parallèlement à une réduction significative du rapport albumine/globuline, qui est passé sous la valeur seuil après le traitement (tableau 12).

3.2.2. Bilan énergétique (glucides et lipides)

Les marqueurs de l'état énergétique, à savoir le glucose (glucides), le cholestérol total et les triglycérides (lipides), n'ont été influencés par aucun facteur, ni la bande ($p > 0,05$), ni l'ajout d'OEO ($p > 0,05$), ni leur interaction ($p > 0,05$). Les valeurs plasmatiques de ces paramètres, avant et après le traitement, se situaient dans les fourchettes de référence malgré des baisses non significatives une semaine après l'administration d'OEO (tableau 12).

3.2.3. La fonction hépatique

L'évaluation de la fonction hépatique par la mesure des enzymes AST, GGT et ALP dans le sang des poules pondeuses des deux bandes a révélé un effet significatif du traitement à l'OEO uniquement sur les concentrations d'AST ($p < 0,05$). Ces concentrations ont diminué de manière significative d'environ 60 UI après ce traitement oral, bien que ces variations se situent dans les limites de référence. En revanche, les concentrations plasmatiques de GGT n'ont pas été affectées par le traitement ($p > 0,05$) malgré la normalisation de leurs valeurs après le traitement, et les concentrations d'ALP sont restées dans les limites normales, indépendamment de la bande d'origine, de l'âge et du traitement ($p > 0,05$) tout au long de l'essai (tableau 12).

3.2.4. Le métabolisme minéral

L'analyse des variations de l'équilibre calcium-phosphore (tableau 3) n'a mis en évidence qu'un effet significatif ($p < 0,05$) de la supplémentation en OEO dans l'eau sur les trois paramètres mesurés (Ca, P et Ca/P), quel que soit la bande ($p > 0,05$). Les taux plasmatiques de Ca et, parallèlement, le rapport Ca/P, qui dépassaient les seuils avant le traitement, sont revenus à la normale avec des baisses significatives de leurs valeurs à la fin du traitement ($p < 0,05$ et $p < 0,01$, respectivement). En revanche, les concentrations plasmatiques de phosphore sont restées dans les limites normales tout au long de l'essai et ont augmenté de manière significative ($p < 0,05$) à la fin de l'administration d'OEO, ce qui a conduit à un rapport Ca/P nettement équilibré après le traitement (tableau 12).

3.3. Effet de l'OEO sur le profil endocrinien

Les variations des concentrations plasmatiques de procalcitonine, un biomarqueur de l'inflammation et de l'infection bactérienne, dans les échantillons provenant des deux bandes sont significatives et ne sont influencées que par l'administration d'OEO ($p < 0,05$), sans intervention ni interaction avec l'effet « bande » ($p > 0,05$). Elles ont diminué de manière significative ($p = 0,01$), avec une réduction de 55 % correspondant à 75 pg/mL après une semaine de traitement. La cinétique de la procalcitonine présentait une corrélation positive significative mais modérée avec les enzymes hépatiques, davantage avec la GGT ($p < 0,01$) qu'avec l'AST ($p < 0,05$) (tableau 13). Les taux plasmatiques de l'hormone stéroïde ovarienne, l'estradiol, ont été significativement influencés par l'ajout d'OEO ($p = 0,01$), indépendamment des autres facteurs de variation pris en compte dans cette étude. Leurs valeurs ont augmenté de manière significative d'environ 510 pg/mL après le traitement dans les deux bandes (tableau 13). Leur cinétique présentait une relation négative faible mais significative avec celle de l'albumine ($p < 0,05$) et du rapport albumine/globuline ($p < 0,01$), ainsi qu'un niveau intermédiaire de corrélation avec l'AST et le rapport Ca/P ($p < 0,01$) (tableau 13).

Tableau 13: Effets de l'huile essentielle d'origan sur les biomarqueurs spécifiques de l'infection bactérienne (procalcitonine) et de la fonction ovarienne (œstradiol) et leur relation avec d'autres paramètres biochimiques (Hadeef et al., 2025).

		Flocks				Total		Fixed Effects						
		Flock 1		Flock 2		Treatment		Flock		Treatment		Flock * Treatment		
		Pre-OEO	Post-OEO	Pre-OEO	Post-OEO	Pre-OEO	Post-OEO	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	
		Tx	Tx	Tx	Tx	Tx	Tx							
PCT (pg/mL)	n	10	10	10	10	20	20							
	Mean	132.43	65.63	142.67	58.63	137.55	62.13	0.00	0.95	7.26	0.01	0.09	0.76	
	SEM	28.29	26.46	30.56	26.46	20.82	18.71							
E ₂ (pg/mL)	n	10	10	10	10	20	20							
	Mean	1228.4	1406.9	882.3	1728.6	1055.4	1567.8	0.01	0.94	8.7	0.01	3.69	0.07	
	SEM	175.6	164.3	189.7	164.3	129.2	116.1							
Pearson correlation «r»														
	E ₂	TP	Alb	Glob	Alb/Glob	Glc	TG	Chol	AST	GGT	ALP	Ca	P	Ca/P
PCT	0.13	−0.19	0.3	−0.24	0.35	−0.07	0.19	0.11	0.41	0.58	0.003	0.16	0.08	0.06
p value	0.51	0.54	0.11	0.20	0.06	0.72	0.34	0.57	0.03	0.002	0.99	0.4	0.69	0.75
	PCT	TP	Alb	Glob	Alb/Glob	Glc	TG	Chol	AST	GGT	ALP	Ca	P	Ca/P
E ₂	0.13	−0.02	−0.35	0.112	−0.32	−0.03	−0.21	−0.07	−0.42	0.012	−0.24	−0.3	0.16	−0.43
p value	0.51	0.91	0.03	0.49	0.04	0.85	0.2	0.66	0.007	0.95	0.14	0.06	0.32	0.005

* Sig.: *p* value of F-test for fixed effects, which are significant when $p < 0.05$. Procalcitonin (PCT), estradiol (E₂), total protein (TP), albumin (Alb), total globulin (Glob), glucose (Glc), triglycerides, total cholesterol (TC), aspartate aminotransferase (AST), gamma glutamyl transferase (GGT), alkaline phosphatase (ALP), calcium (Ca), phosphorus (P).

4. Discussion

Cette étude a été menée selon un protocole « avant-après » sans groupe témoin, en combinant plusieurs paramètres zootechniques et biochimiques avec l'introduction novatrice de la procalcitonine comme biomarqueur de l'infection bactérienne et de l'état inflammatoire chez les poules pondeuses. Toutefois, en raison des conditions réelles d'exploitation et des limites méthodologiques, notamment les contraintes statistiques liées à la taille de l'échantillon, les résultats obtenus permettent de formuler des hypothèses sous forme de tendances associatives plutôt que des conclusions causales directes concernant les effets de la supplémentation en OEO.

Les effets de l'huile essentielle d'origan (OEO) administrée dans l'eau de boisson varient en fonction de la bande (âge et antécédents médicaux et d'élevage des poules) ; on observe une amélioration des performances de production chez les poules âgées (bande 1), dont les performances étaient proches de la norme avant le traitement. On a toutefois observé des changements dans la qualité des œufs et celle de la coquille chez les poules d'un âge avancé

(bande 2), qui présentaient une faible production et une qualité d'œufs inférieure aux valeurs de référence avant cette supplémentation en eau.

L'huile essentielle d'origan a démontré un effet positif significatif sur la production d'œufs, particulièrement notable chez les poules plus âgées (96 à 98 semaines) de la bande 1, avec une augmentation de près de 3 % pendant la durée du traitement et un effet durable, cette amélioration s'étant maintenue une semaine plus tard. Ce résultat va dans le sens des bienfaits d'une supplémentation en huile essentielle d'origan dans l'alimentation des poules, rapportés dans des études récentes confirmant son efficacité sur la production d'œufs, bien que cet impact varie en fonction des conditions expérimentales (F. Gao et al., 2022; Karadağoglu et al., 2018). L'amélioration de la production d'œufs par poule et par jour (HDEP) s'explique par le fait que l'huile essentielle d'origan contient des composés phénoliques (principalement du carvacrol dans cette étude) dotés de propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires. (Gabriel et al., 2013; Zinno et al., 2023) susceptibles d'améliorer la santé digestive, notamment la morphologie et la structure intestinales chez les poules pondeuses en fin de cycle de ponte (Feng et al., 2021; Xian et al., 2024) et l'état immunitaire des poules (Gabriel et al., 2013; Migliorini, Boiago, Roza, et al., 2019). Par conséquent, une meilleure absorption des nutriments se traduit directement par une capacité accrue à produire et à pondre des œufs (F. Gao et al., 2022). Le fait que cet effet persiste pendant une semaine après la période de traitement suggère un remodelage bénéfique du microbiote intestinal. Cependant, certaines études indiquent que la supplémentation en OEO n'a pas d'influence significative sur la production d'œufs pendant la phase de pointe de ponte chez les poules pondeuses Hy-Line Brown hébergées dans un poulailler à environnement contrôlé (Johnson et al., 2025) ou au cours des premières semaines suivant l'ajout d'huile essentielle d'*Origanum syriacum* L. dans l'alimentation des poules Lohman (Gul et al., 2019). L'administration de cette huile en association avec d'autres huiles n'a pas non plus eu d'effet (Özek et al., 2011), ce qui laisse supposer que l'effet de l'OEO sur le taux de ponte varie en fonction de l'âge des poules, de la durée du traitement, du fait qu'il soit administré seul ou en association, de sa composition, notamment du principal composé bioactif, ainsi que de la souche ou de la race des poules (Orzuna-Orzuna & Lara-Bueno, 2023). L'efficacité de l'huile essentielle d'origan semble dépendre de sa concentration en composés phénoliques. Le dosage actuel (14 mg d'huile essentielle d'origan pure par litre d'eau) garantit un apport de 2,28 à 3,25 mg d'huile essentielle d'origan par poule et par jour, en tenant compte d'une consommation d'eau standard comprise entre 163 et 232 ml par poule et par jour pendant la phase de production tardive, comme indiqué dans le guide consacré aux poules Hy-Line (Hy-Line International,

2024). Cette valeur correspond à celle de 25 mg/kg utilisée par Xian et al. (Xian et al., 2024), ce qui correspond à 2,7–2,9 mg d'OEO par oiseau et par jour, en se basant sur une consommation alimentaire standard de 108–116 g par oiseau et par jour, et à la dose de 24 mg/kg testée par Bozkurt et al. (Bozkurt et al., 2016), ce qui correspond à 2,59–2,78 mg d'OEO par oiseau et par jour, en tenant compte d'une consommation alimentaire standard de 108–116 g par oiseau et par jour. Le dosage actuel garantit un apport de 1,82 à 2,59 mg de carvacrol par oiseau et par jour, ce qui est similaire ou supérieur à l'apport de 1,98 à 2,12 mg de carvacrol par oiseau et par jour obtenu à partir d'une concentration élevée de 200 mg d'OEO (contenant 9,18 % de carvacrol) par kg d'aliment, ce qui correspond à 21,6–23,2 mg d'OEO par oiseau et par jour, comme l'ont évalué Migliorini et al. (Migliorini, Boiago, Roza, et al., 2019). La variabilité des résultats est bien illustrée par les données obtenues au niveau de la bande n° 2, qui ne montrent aucune amélioration significative et présentent des valeurs de HDEP toujours faibles par rapport aux valeurs de référence (Hy-Line International, 2024), ce qui suggère une variabilité de la réponse au traitement en fonction des conditions d'élevage ou de l'âge des poules. Cependant, dans cette bande composée de poules plus jeunes, une amélioration significative du poids des œufs a été observée. La masse des œufs était inférieure à la valeur standard pour les poules Hy-Line Brown (Hy-Line International, 2024) avant le traitement, avec une augmentation de près de 10 g à la fin de la période de traitement, ce qui correspond aux résultats d'autres auteurs (Johnson et al., 2025; Karadağoglu et al., 2018; Özek et al., 2011). La baisse significative du pourcentage de coquille d'œuf s'est rapprochée de la valeur de référence, tout en restant supérieure à celle-ci. (Gautron et al., 2021). Bien que cela traduise une diminution relative de la proportion de coquille parallèlement à une augmentation de la masse de l'œuf, le poids absolu de la coquille a augmenté après le traitement, ce qui indique que la capacité de formation de la coquille a été maintenue malgré la taille plus importante des œufs. Ce résultat concorde avec ceux d'autres études menées sur des œufs conservés provenant de poules ayant reçu un complément de 50 mg d'OEO/kg (Migliorini, Boiago, Stefani, et al., 2019) mais pas avec celles d'autres auteurs qui n'ont pas observé d'effet significatif lorsqu'ils ont utilisé de l'huile essentielle d'origan du commerce sur la même souche (Hy-Line Brown) pendant la période de production maximale (Johnson et al., 2025). Furthermore, the decrease in the shell ratio is not supported by studies that tested oregano and thyme in herb form (Abdel-Wareth et al., 2013) ou par des résultats indiquant une diminution de la masse d'œufs après l'ajout d'OEO (*Origanum vulgare* L.) au régime de base de poules pondeuses de la race Lohmann LSL-Lite âgées de 66 semaines, pendant 12 semaines (Reshadi et al., 2020). De même, on a constaté une évolution du poids de la coquille

d'œuf après le traitement, ce qui indique un effet différé mais positif sur la résistance de la coquille, conformément aux observations d'autres chercheurs (Gul et al., 2019). Ce phénomène a également été observé chez la race Isa Brown après l'ajout d'huile essentielle d'origan mexicain issue d'un genre différent, *Lippia origanoides*, qui n'appartient pas à la famille des Lamiacées mais qui est également connue pour sa forte teneur en carvacrol et en thymol (Ramirez et al., 2021). À l'inverse, aucun effet significatif sur le poids des œufs n'a été observé chez les jeunes poules pondeuses de race Lohmann (âgées de 32 semaines) ayant reçu de l'origan séché (*Origanum vulgare subsp. Hirtum*) mélangé à du romarin (N. Botsoglou et al., 2005). Par ailleurs, l'administration d'huile essentielle d'origan mélangée à d'autres huiles n'a pas eu d'incidence sur le poids des coquilles d'œufs (Karadağoglu et al., 2018; Özek et al., 2011). Les variations du poids des œufs, du poids de la coquille et du pourcentage de coquille peuvent fournir des informations sur le métabolisme calcique des poules. Dans la bande 2, on a observé une amélioration tardive du poids de la coquille (une semaine après l'arrêt du traitement), accompagnée, à l'inverse, d'une diminution temporaire de l'épaisseur de la coquille pendant le traitement. Cette contradiction s'explique probablement par une dynamique temporelle : l'huile d'origan pourrait d'abord favoriser la croissance de l'œuf entier (d'où la diminution relative du poids de la coquille), puis améliorer secondairement la minéralisation calcique (Feng et al., 2021; Migliorini, Boiago, Stefani, et al., 2019; Ramirez et al., 2021). Une autre explication pourrait résider dans l'effet bénéfique de l'ajout d'huile essentielle d'origan sur la qualité des œufs, grâce à une modification du microbiote intestinal chez les poules pondeuses, à raison de 25 mg/kg d'huile d'origan dans l'alimentation (Xian et al., 2024). Toutefois, compte tenu de la taille de l'échantillon d'œufs, les résultats relatifs à leur qualité peuvent présenter un intérêt secondaire, servant davantage d'observation associative que de conclusion définitive sur les effets de l'OEO.

Quels que soient la bande d'origine et l'âge des poules, et conformément à certaines études, l'apport complémentaire d'huile essentielle d'origan n'a pas d'influence significative sur la consommation alimentaire quotidienne moyenne des poules pondeuses (Arpášová et al., 2015; N. Botsoglou et al., 2005; Denli et al., 2019; Johnson et al., 2025), ni celle des poulettes (Johnson et al., 2022). Il convient toutefois de souligner la tendance à la baisse de la consommation alimentaire observée pendant le traitement, ce qui suggère une optimisation de l'efficacité alimentaire. Cette efficacité est bien illustrée par l'amélioration significative des indices de conversion alimentaire chez les deux bandes, ce qui se traduit par un avantage économique considérable. Ainsi, en réduisant l'indice de conversion alimentaire, l'huile essentielle d'origan permet de produire davantage de kilogrammes d'œufs avec moins de

kilogrammes d'aliments. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par plusieurs auteurs (Denli et al., 2019; F. Gao et al., 2022; Johnson et al., 2025; Migliorini, Boiago, Stefani, et al., 2019). Cela s'explique probablement par le fait que l'huile essentielle d'origan, riche en carvacrol, comme dans cette expérience, et en thymol (Zinno et al., 2023), peut réduire la présence de bactéries pathogènes tout en favorisant celle des bactéries bénéfiques. Ce éventuel changement dans la flore bactérienne pourrait améliorer la digestion, modifier la structure et la morphologie intestinales, et se traduire par une absorption plus efficace des nutriments et une conversion alimentaire optimisée (Gabriel et al., 2013; F. Gao et al., 2022; Johnson et al., 2022; Xian et al., 2024). Les résultats concernant l'amélioration du taux de conversion alimentaire (FCR) cités dans la littérature dépendaient des conditions de l'expérience, notamment de la dose d'huile essentielle. Par exemple, en hiver, l'efficacité productive peut s'améliorer même à des doses de 39,8 mg d'huile essentielle d'origan par kg, si l'on tient compte du taux de conversion alimentaire (Migliorini, Boiago, Stefani, et al., 2019). D'autres auteurs, en revanche, n'ont constaté aucun effet de l'OEO sur l'indice de conversion alimentaire (Arpášová et al., 2015; N. Botsoglou et al., 2005; Gul et al., 2019) ou une augmentation de sa valeur après traitement (Reshadi et al., 2020). Une méta-analyse portant sur plusieurs huiles essentielles ajoutées à l'alimentation des poules a conclu que ces additifs pouvaient avoir un effet sur la production et la qualité des œufs, ainsi que sur l'indice de conversion alimentaire, en fonction de l'âge des poules et du principal composé bioactif, mais sans que cela dépende de la race ou de la souche, de la durée de la supplémentation ou de la dose d'huiles essentielles (Orzuna-Orzuna & Lara-Bueno, 2023).

D'autres études ont également mis en évidence que les variations de poids corporel après l'administration d'OEO étaient négligeables dans les deux bandes (Arpášová et al., 2015). Cela pourrait s'expliquer par l'absence d'impact de cette huile sur l'apport alimentaire, comme indiqué plus haut. La perte de poids observée était probablement liée à la légère diminution de la consommation. De plus, cette perte marquée, qui était plus prononcée chez le deuxième groupe de poules d'âge intermédiaire, indique probablement une adaptation métabolique par la mobilisation des réserves de graisse corporelle afin d'assurer l'augmentation remarquable de 10 % du poids des œufs à la fin du traitement. Il a été suggéré que la consommation de graisses ajoutées à l'alimentation pourrait augmenter la productivité et le poids des œufs en stimulant la synthèse des protéines de l'oviducte, essentielles à la formation des œufs, par l'action des œstrogènes (Grobass et al., 1999). Néanmoins, parmi les bienfaits d'une supplémentation en huile essentielle d'origan rapportés dans la littérature figure une augmentation du gain de poids, bien que les résultats puissent varier en fonction de l'âge, en

particulier chez les volailles en croissance telles que les poulettes (Johnson et al., 2022), et les conditions expérimentales (Ramirez et al., 2021).

Peu d'études ont pris en compte la mortalité pour évaluer l'effet des huiles essentielles sur les performances des poules pondeuses. Dans la présente étude, la mortalité cumulée avant le début de l'essai dépassait largement les normes applicables à cette race dans les deux bandes (Hy-Line International, 2024). Pendant le traitement et pendant la semaine qui a suivi, une augmentation statistiquement significative de la mortalité cumulée a été observée dans les deux bandes, mais avec une variation supérieure à la valeur standard de 0,2 %, en particulier chez les poules plus âgées (bande 1), ce qui indique probablement une baisse de la survie à mesure que les poules vieillissent (Lamuno et al., 2017; Weeks et al., 2016). Une augmentation significative mais irrégulière de la mortalité quotidienne a été observée dans la bande 1 chez les poules âgées subissant un déclin naturel (vieillesse). Ainsi, sa diminution significative dans la bande 2, contrairement à la bande 1, pourrait indiquer des réponses différentielles reflétant l'interaction entre le déclin physiologique lié à l'âge et l'état de santé préexistant, ou bien il pourrait s'agir de raisons statistiques liées à la normalité de la distribution des données plutôt qu'aux effets du traitement seul. D'autres études n'ont rapporté aucune différence significative du taux de mortalité observé pendant la période expérimentale entre les groupes traités et les groupes témoins (Denli et al., 2019). Il convient de noter que le paramètre « mortalité » a été abordé dans plusieurs études menées dans des conditions d'élevage commercial, car, dans ces conditions, la mortalité est due à de multiples facteurs, tels que les maladies infectieuses, les systèmes d'hébergement et les différences entre les races (Fossum et al., 2009; Lamuno et al., 2017; Weeks et al., 2016), et ne peut être simplement attribuée à l'utilisation, à la posologie, à la durée ou au composant principal du traitement.

Par conséquent, la divergence des résultats concernant les performances de production post-traitement nécessite une analyse plus approfondie des effets observés, en tenant compte des résultats des profils métaboliques et hormonaux établis dans cette étude. Le bilan biochimique fournit des informations sur les modifications métaboliques (Pavlík et al., 2007), l'état nutritionnel et son impact sur la fonction hépatique, à travers l'évaluation des taux enzymatiques (Gonçalves et al., 2018) et les troubles potentiels, en facilitant le diagnostic des maladies et en garantissant des pratiques de gestion optimales ainsi que des performances de production optimales (Braz et al., 2018). Cela peut être un indicateur de l'impact de facteurs intrinsèques, tels que la phase de production ou l'âge des poules, ou de facteurs extrinsèques, tels que les conditions d'élevage (Kraus et al., 2021).

L'analyse du profil protéique plasmatique montre que les concentrations en protéines totales (PT) et en globulines ont augmenté de manière significative et uniquement sous l'effet de l'ajout d'huile essentielle d'origan, tout en restant toutefois dans les limites de la fourchette de référence. Ces augmentations sont similaires à celles observées chez des poules âgées de plus de 59 semaines après 28 jours d'alimentation à base d'huile essentielle d'origan (OEO) à des doses de 150 mg et 200 mg par kg d'aliment, ce qui conduit les auteurs à suggérer que l'OEO a un effet sur la réponse anti-inflammatoire en augmentant les taux d'immunoglobulines. (Migliorini, Boiago, Roza, et al., 2019). Même à faible dose, l'ajout de 20 g/kg d'origan a permis d'optimiser la concentration en protéines totales chez des poules pondeuses Hy-Line Brown âgées de 60 semaines. (Abdel-Wareth et al., 2013). Les taux de protéines totales reflètent les valeurs cumulées des protéines plasmatiques, notamment l'albumine et la globuline, et donnent une vue d'ensemble de l'homéostasie protéique grâce à leur pression osmotique colloïdale (oncotique) (Scanes & Dridi, 2021). L'augmentation actuelle des concentrations de TP pourrait être liée à l'augmentation du taux de l'un de ses composants, la globuline, observée dans cette étude. Chez les poulets, les globulines sont synthétisées sous plusieurs formes (alpha, bêta et gamma) en fonction de divers facteurs, notamment l'âge, le cycle de production, l'alimentation et les pratiques d'élevage, ainsi que l'environnement (Z. Gao et al., 2025; Scanes & Dridi, 2021). Les gammaglobulines comprennent des fractions non immunoglobulines et des immunoglobulines (Ig). Les protéines non immunoglobulines (famille des transferrines) sont synthétisées par le foie et l'oviducte, puis libérées dans le sang (Scanes & Dridi, 2021). L'ovotransferrine, présente à la fois dans le plasma et dans les œufs, est la seule glycoprotéine soluble de la famille des transferrines chez les poules. Les ovotransferrines, synthétisées par le foie (hépatocytes) et sécrétées dans le sang, sont influencées par les cytokines pro-inflammatoires, tandis que les œstrogènes régulent la production d'ovotransferrine, qui est incorporée dans l'œuf au niveau de l'oviducte (Kaspers et al., 2021). Ces augmentations pourraient indiquer une amélioration du fonctionnement du foie et de l'oviducte, en réponse aux effets protecteurs antioxydants, anti-inflammatoires et anti-infectieux des composés phénoliques, en particulier du carvacrol (Gabriel et al., 2013; Zinno et al., 2023), sur les cellules sécrétrices. Les fractions d'immunoglobulines sont des composants du système immunitaire (IgY, IgA, IgM) produits chez les poules adultes par les lymphocytes B dans les organes lymphoïdes secondaires, tels que la rate, la moelle osseuse et les follicules lymphoïdes de l'oviducte (Kaspers et al., 2021). Chez les poules pondeuses, l'oviducte est très actif sur le plan métabolique, ce qui permet le transfert d'immunoglobulines vers le jaune d'œuf, expliquant ainsi la qualité nutritionnelle de ce

produit d'origine animale. L'augmentation des immunoglobulines (Migliorini, Boiago, Roza, et al., 2019), en tant que composante des gammaglobulines, est probablement liée à une éventuelle stimulation de cette fonction immunitaire suite à l'ajout d'OEO, ce qui indique une réponse anti-inflammatoire, une amélioration de la santé des poules et une réponse à une altération de la flore bactérienne digestive. Cependant, dans cette étude, seule la globuline totale a été mesurée, sans évaluation de ses composants spécifiques (tels que les immunoglobulines). Ainsi, l'hypothèse formulée concernant la relation possible entre la variation des taux de globulines et la stimulation de l'immunité en réponse à l'administration d'OEO suggère que des études supplémentaires sur des immunoglobulines spécifiques sont nécessaires avant de pouvoir tirer des conclusions définitives. Sur le plan métabolique, une augmentation des taux de globulines se traduit par une meilleure efficacité digestive et une meilleure absorption des acides aminés issus de la digestion des protéines ingérées dans l'intestin, ce qui confirme l'effet bénéfique de l'OEO sur la structure, le fonctionnement et la santé intestinale, y compris la flore cœcale, comme l'ont rapporté plusieurs auteurs (Feng et al., 2021; Gul et al., 2019; Orzuna-Orzuna & Lara-Bueno, 2023). Ce phénomène s'explique par une meilleure absorption des protéines alimentaires en excès, étant donné que la teneur en protéines brutes de l'aliment distribué aux deux bandes (19 %) dépassait les recommandations de 14,09 % et 12,92 % de protéines brutes pour des consommations alimentaires de 110 g et 120 g par oiseau et par jour, respectivement, comme indiqué dans le guide d'élevage (Hy-Line International, 2024). En revanche, d'autres auteurs (Bozkurt et al., 2016) n'ont pas obtenu de résultats concordants avec ceux de la présente étude ; ils ont plutôt constaté une réduction non significative des taux de protéines totales (TP) chez des poules pondeuses de la souche Lohmann White âgées de 82 à 106 semaines, nourries avec un régime standard enrichi en OEO. L'albumine est une autre fraction protéique principalement impliquée dans le transport des hormones lipophiles, notamment des hormones stéroïdes dans le plasma, ainsi que dans la synthèse du jaune d'œuf, en particulier (Jiang et al., 2022; Mann & Mann, 2008). Ce taux était déjà inférieur aux niveaux normaux avant l'expérience, et il a enregistré une baisse significative après l'ajout d'OEO, ce qui a entraîné une diminution du rapport albumine/globuline. Cette diminution est similaire à celle observée dans une étude précédente menée sur des poules après 84 jours de supplémentation en OEO à une dose élevée de 200 mg/kg (Migliorini, Boiago, Roza, et al., 2019). Par ailleurs, la différence de cinétique entre la globuline et l'albumine peut s'expliquer par le fait que la globuline liant les stéroïdes sexuels est absente chez les oiseaux et que l'albumine se lie aux lipides, y compris aux acides gras, pour les transporter et les distribuer (Scanes & Dridi, 2021). Bien que l'albumine serve de

protéine de transport pour les hormones lipophiles, en particulier l'estradiol, et contribue à la formation des protéines du jaune d'œuf, les mécanismes sous-jacents à cette relation inverse restent flous. Des recherches supplémentaires, notamment une analyse de l'expression génique hépatique, seraient nécessaires pour élucider ces mécanismes. Ces derniers effets semblent être associés à un éventuel effet stimulant de l'OEO sur la fonction reproductive, principalement la ponte, comme l'indiquent ci-dessus le taux de production d'œufs (HDEP) et la croissance folliculaire, représentée ci-dessous par le taux d'œstrogènes.

Dans cette étude, les concentrations plasmatiques de glucose, de cholestérol total et de triglycérides n'ont été influencées par aucun facteur, y compris l'ajout d'OEO à l'eau potable pendant 7 jours. Elles sont restées dans les limites de la fourchette de référence (Chorfi & Venne, 2015) avant et après l'administration de l'huile essentielle, ce qui indique que la ration distribuée, qui apporte 2 734 kcal d'énergie métabolisable par kg d'aliment, couvre de manière adéquate les besoins énergétiques des poules. Cette valeur énergétique garantit des fourchettes de variation de 328 kcal et 296 kcal/poule/jour pour des consommations alimentaires quotidiennes variant respectivement entre 120 g et 108 g/poule/jour après le traitement dans les bandes 1 et 2. Ces chiffres sont proches des recommandations de 300 à 315 kcal/poule/jour indiquées dans le manuel d'élevage Hy-Line Brown pour les poules en cinquième et dernière phase de leur cycle de ponte, dont la production est inférieure à 83 % et dont la consommation alimentaire se situe entre 100 g et 120 g/poule/jour (Hy-Line International, 2024). La diminution de la consommation alimentaire quotidienne et de l'énergie métabolisable à la fin du traitement explique la baisse normale, mais non significative, de ces paramètres à la fin de l'essai. L'absence d'effet de l'OEO a également été rapportée dans d'autres études portant sur le glucose (Abdel-Wareth et al., 2013; Özek et al., 2011) les taux de triglycérides et de cholestérol (Johnson et al., 2022; Migliorini, Boiago, Roza, et al., 2019; Özek et al., 2011). Il a toutefois été démontré que cet additif naturel permettait de réduire le taux de triglycérides chez les poulettes (Johnson et al., 2022) et les jeunes poules pondeuses (Johnson et al., 2025), ainsi que sur les taux de cholestérol au début de la ponte (Johnson et al., 2025) ou au cours de la quatrième phase de production (à l'âge de 60 semaines) chez les poules Hy-Line Brown recevant 20 g d'origan frais par kg d'aliment, apportant 2 766 kcal/kg d'énergie métabolisable (Abdel-Wareth et al., 2013). À l'inverse, un effet d'augmentation du taux de cholestérol a été signalé chez des poulettes âgées de 11 semaines (Johnson et al., 2022) ainsi que chez les poules pondeuses en fin de carrière (plus de 82 semaines), avec un effet hyperglycémiant modéré restant dans les limites normales (Bozkurt et al., 2016). Les oiseaux présentent naturellement des taux de glucose sanguin plus

élevés et comptent principalement sur le glucagon, ainsi que sur d'autres adaptations métaboliques, pour réguler leur bilan énergétique, telles qu'un renforcement des systèmes antioxydants qui réduisent le stress oxydatif responsable des lésions cellulaires (Quattrone et al., 2025). Cela suggère que l'OEO a un effet renforçateur, grâce à ses propriétés antioxydantes avérées, sur le système antioxydant inné de la poule, ce qui entraîne une baisse des taux de glucose sanguin tout en les maintenant dans les limites normales, permettant ainsi aux poules de s'adapter au stress lié à l'augmentation de la production d'œufs. Néanmoins, dans la littérature, les variations des niveaux de ces paramètres ont été attribuées à plusieurs facteurs physiologiques, notamment l'âge et l'alimentation (Scanes & Dridi, 2021), et des facteurs environnementaux, tels que le stress thermique (Gerzilov et al., 2015). Ils ont également été associés à des facteurs pathologiques tels que les lésions hépatiques, notamment la stéatose chez les poules pondeuses (Chorfi & Venne, 2015) ou des lésions observées dans les organes de poules pondeuses âgées de 95 semaines (Schokker et al., 2021). Les paramètres évoqués ci-dessus (protéines et énergie) montrent clairement le rôle crucial joué par le foie chez les poules pondeuses dans l'homéostasie ainsi que dans le métabolisme des lipides et du glucose pour la formation du jaune d'œuf. Ils soulignent également l'implication du foie dans le métabolisme des protéines pour la formation du jaune d'œuf (albumine) et l'immunité (immunoglobuline). Le foie participe également au métabolisme du calcium (formation de la coquille) et à la reproduction par l'intermédiaire des récepteurs aux œstrogènes qui contrôlent la synthèse des précurseurs du jaune d'œuf, à savoir la vitellogénine (VTG II) et l'apolipoprotéine (VLDL II), ainsi que la synthèse des facteurs de croissance (Gloux et al., 2019; Scanes & Dridi, 2021; Zaefarian et al., 2019). Cet organe essentiel joue généralement un rôle crucial pour la santé en raison de son implication dans les processus de lutte contre le stress oxydatif et de détoxification (Herrera-Sánchez et al., 2024; Z. Wang et al., 2021). Ces résultats soulignent l'importance d'évaluer l'intégrité de la fonction hépatique après l'administration d'OEO. Il a été suggéré que la mesure des enzymes hépatiques AST, GGT et ALP, bien qu'elle ne soit pas spécifique aux lésions hépatiques en raison de leurs variations physiologiques et environnementales (Scanes & Dridi, 2021), peut contribuer à vérifier l'efficacité des additifs alimentaires, tels que les extraits de plantes médicinales (V. Sharma et al., 2015) ou leur effet perturbateur potentiel, dépendant de la dose, sur le métabolisme hépatique (Arslan et al., 2022). La fonction hépatique peut ensuite être évaluée à partir des taux sanguins d'AST et de GGT, qui permettent d'évaluer l'intégrité des hépatocytes et de leurs membranes, ainsi que des taux d'ALP, qui reflètent l'excrétion biliaire (Chorfi & Venne, 2015). Dans cette étude, toutes les enzymes analysées ont présenté une

baisse de leurs taux après le traitement, ce qui suggère que la dose administrée est sans danger pour tous les oiseaux. La diminution du taux de GGT, un marqueur de la cholestase, de l'hépatite et de la stéatose (Chorfi & Venne, 2015), n'était pas significative, comme l'avait déjà souligné une étude antérieure, mais avec un mélange d'huiles essentielles contenant du thymol (Arslan et al., 2022). Cependant, les taux de GGT dépassaient les valeurs normales avant le traitement chez les poules les plus jeunes du bande n° 2, qui présentaient des antécédents médicaux défavorables (faible production et taux de survie modéré), ce qui indique probablement une atteinte hépatobiliaire chronique chez ces poules, ainsi qu'une lésion hépatique subclinique ou un état de stress. Certains auteurs ont attribué l'augmentation des taux de GGT et d'AST chez les poules pondeuses à des besoins nutritionnels élevés pendant les périodes de pic de ponte (Gonçalves et al., 2018). Cependant, dans la présente étude menée sur des poules en fin de carrière de ponte, seule la diminution du taux plasmatique d'AST a été significativement influencée par l'ajout d'OEO à l'eau de boisson des poules, indépendamment de leur âge et de leur bande d'origine. Cette diminution était similaire à celle observée suite à l'ajout d'huile essentielle d'origan dans l'alimentation, mais chez de jeunes oiseaux, tels que les poulettes (Johnson et al., 2022) et les poules pondeuses âgées de 36 semaines (Johnson et al., 2025). Au contraire, ces derniers auteurs (Johnson et al., 2025) ont signalé une augmentation des taux sériques d'AST à 40 semaines, ce qui suggère des variations de l'activité de cette enzyme en fonction de l'âge. Des études récentes indiquent que l'âge pourrait entraîner une altération de la fonction hépatique chez les poules pondeuses, due à une augmentation de la peroxydation lipidique et de l'oxydation des protéines, ce qui se traduirait par un retard de production et une détérioration de la santé hépatique à mesure que les poules pondeuses vieillissent (Gu et al., 2021; Han et al., 2023; Wójcik et al., 2024). Cela suggère que les baisses de l'activité des enzymes hépatiques observées chez les poules âgées (plus de 79 semaines) ou très âgées (plus de 96 semaines) — significatives pour l'AST, mais non significatives pour la GGT et l'ALP — pourraient être des marqueurs d'une résistance accrue au stress oxydatif des hépatocytes, induite par l'OEO grâce aux propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et cytoprotectrices du carvacrol décrites dans la littérature (Gabriel et al., 2013; Matera et al., 2023; Zinno et al., 2023). De plus, la normalisation des valeurs de GGT après le traitement dans la bande 2, bien que non statistiquement significative, vient étayer l'hypothèse d'une action hépatoprotectrice contre d'éventuelles lésions hépatiques subcliniques ou un stress hépatique. Toutefois, pour distinguer une hépatoprotection active d'une simple cessation du stress hépatotoxique, des études contrôlées associant un examen histopathologique et la mesure de marqueurs du stress oxydatif

hépatique sont nécessaires. Dans la présente étude, la mesure des enzymes antioxydantes circulantes, notamment la superoxyde dismutase, la catalase et la glutathion peroxydase, aurait pu rendre l'analyse de l'effet de l'OEO sur la capacité antioxydante du foie chez ces poules âgées plus complète et plus précise. L'absence d'effet significatif sur les concentrations d'ALP dans cette étude, qui est similaire à celle rapportée par d'autres auteurs (Migliorini, Boiago, Roza, et al., 2019), ne permet pas de tirer des conclusions pertinentes, bien que la diminution non significative de l'activité de cette enzyme, associée à celles de l'AST et de la GGT, indique une amélioration de la fonction hépatique chez les poules âgées après un apport à court terme (1 semaine) d'OEO et l'absence de lésions hépatiques liées à l'OEO. De même, une étude antérieure (N. A. Botsoglou et al., 2008) ont constaté qu'une augmentation des concentrations sériques d'ALP et d'AST, associée à des lésions hépatiques oxydatives provoquées expérimentalement chez des rats Wistar par injection de tétrachlorure de carbone, était atténuée par l'apport alimentaire d'origan, mais uniquement en cas d'administration à long terme (6 semaines). Toutefois, ce paramètre n'est pas spécifique au diagnostic d'une maladie hépatique ; il indique également une activité accrue des ostéoblastes et des ostéoclastes (croissance osseuse, ponte, rachitisme ou ostéomalacie) (Chorfi & Venne, 2015), étudier indirectement le métabolisme minéral chez les poules pondeuses. La phosphatase alcaline est également produite par les ostéoblastes, tout comme d'autres protéines qui régulent la minéralisation osseuse (Scanes & Dridi, 2021).

Outre l'ALP, dont les valeurs ne varient pas de manière significative, le profil minéral établi dans cette étude porte principalement sur les variations des concentrations en calcium et en phosphore, ainsi que sur le rapport entre ces deux paramètres (Ca/P) après l'ajout d'OEO. En ce qui concerne le calcium, les données d'analyse des aliments montrent que la ration est riche en calcium. D'après la consommation alimentaire de chaque bande, une forte consommation du calcium disponible dans la ration a été enregistrée chez les deux bandes F1 et F2 (respectivement 7,03 g et 6,02 g) avant l'administration d'OEO. Cette forte consommation de calcium, associée à une faible demande liée à la production d'œufs (pour la formation de la coquille), qui est restée faible, en particulier dans la bande 2, est probablement à l'origine des taux élevés de calcium plasmatique dépassant les limites acceptables dans les deux bandes avant l'ajout d'OEO. La baisse de la consommation alimentaire observée à la fin du traitement par OEO s'est automatiquement accompagnée d'une diminution de la quantité de calcium ingérée par les poules, tant dans le groupe F1 que dans le groupe F2 (respectivement 6,55 g et 5,84 g), mais celle-ci restait supérieure aux recommandations de 4,7 g/poule/jour pour les poules de plus de 77 semaines de production (Hy-Line International, 2024). D'après

le bilan calcique plasmatique, on peut supposer que l'OEO a régulé les taux de calcium en réduisant sa concentration dans le sang à 65 mg/L à la fin de la semaine de traitement, ce qui indique un effet bénéfique significatif de l'OEO. Cette diminution est similaire à celle, dépendante de la dose, observée lorsque le régime alimentaire était enrichi d'un mélange d'huiles essentielles contenant un composé phénolique, le thymol, à une concentration de 100 mg d'huile essentielle par kg (Arslan et al., 2022). En revanche, une augmentation a été observée avec l'ajout de 50 mg d'huile essentielle par kg contenant du thymol (Arslan et al., 2022) ou l'ajout d'origan à raison de 20 g/kg dans une autre étude (Abdel-Wareth et al., 2013). D'autres auteurs n'ont constaté aucun effet significatif lorsque la dose de 24 mg/kg a été intégrée à une étude menée sur des poules âgées de plus de 82 semaines (Bozkurt et al., 2016). Cependant, dans ces études antérieures, les teneurs en calcium des rations, à savoir 3,8 % (Abdel-Wareth et al., 2013), 3.83% (Arslan et al., 2022), et 3.94% (Bozkurt et al., 2016), étaient inférieures à celles de la ration distribuée aux deux bandes (5,4 %). Dans la présente étude, la diminution des concentrations en calcium après l'administration d'OEO pourrait refléter une mobilisation de l'excès de calcium du sang vers la coquille, comme en témoignent le poids et le pourcentage de la coquille évoqués plus haut, probablement grâce à une amélioration de l'absorption du calcium circulant par les membranes tubaires (oviducte) et utérines. Cet effet semble lié à un éventuel effet bénéfique de l'utilisation de l'OEO dans l'élimination d'éventuelles altérations des membranes bactériennes et des cellules (Feng et al., 2021; Gul et al., 2019; Johnson et al., 2022; Ramirez et al., 2021; Schokker et al., 2021; Xian et al., 2024) grâce aux propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et anti-inflammatoires de l'OEO et de son principal composé phénolique, le carvacrol. Quels que soient la bande d'origine et l'âge des poules pondeuses en fin de carrière, les taux plasmatiques de phosphore ont affiché une augmentation significative après l'administration d'OEO, tout en restant dans les limites des intervalles de référence. Ce résultat concorde avec ceux observés chez des poules pondeuses Hy-Line Brown âgées de 60 semaines ayant reçu 20 g d'origan par kg d'aliment contenant 0,62 % de phosphore (Abdel-Wareth et al., 2013), un pourcentage proche de 0,65 % dans le régime alimentaire actuel distribué aux deux bandes. Cependant, d'autres auteurs n'ont pas constaté d'effet significatif suite à une supplémentation alimentaire en OEO chez les poules en fin de cycle de ponte (Bozkurt et al., 2016) ou chez les poules pondeuses les plus jeunes (48 semaines) après une supplémentation alimentaire à long terme avec un mélange d'huiles essentielles encapsulées contenant du thymol et d'autres composants à différentes concentrations (Arslan et al., 2022). L'équilibre et la régulation (homéostasie) de ces deux minéraux (Ca et P), qui jouent un rôle important dans la formation de la coquille

d'œuf et l'intégrité du squelette (os), sont influencés par l'apport alimentaire et le contrôle hormonal, en particulier par l'hormone parathyroïdienne (PTH) et le facteur de croissance des fibroblastes 23 (FGF23) (Sinclair-Black et al., 2024), et la vitamine D, qui régule l'absorption du calcium dans le duodénum et le jéjunum (Magnuson, 2015; Scanes & Dridi, 2021). Cette absorption dépend des quantités de phosphore disponibles dans l'alimentation ; à l'inverse, la mobilisation du calcium provenant des os, facilitée par les ostéoclastes, entraîne également la libération de phosphore dans la circulation sanguine (Magnuson, 2015). La cinétique inverse induite par l'OEO du calcium, dont le taux diminue pour revenir à des niveaux normaux, et du phosphore, dont le taux augmente, témoignait de l'effet équilibrant de l'OEO sur le rapport Ca/P, qui a considérablement baissé, passant de niveaux supérieurs à la normale pour atteindre des niveaux acceptables à la fin du traitement, ce qui indique un effet bénéfique de l'OEO sur l'homéostasie de ces deux minéraux. L'OEO a donc optimisé le transfert du calcium du sang vers le liquide utérin entourant la membrane externe de la coquille en tirant parti du débit sanguin élevé dans l'utérus. Sur le plan physiologique, l'apport alimentaire quotidien en calcium ne couvre que les deux tiers de la quantité transportée vers l'œuf, soit 100 mg/h à 200 mg/h (Etches, 1987) voire 300 mg/h (Hy-Line International, 2024), et ce déficit est compensé par une mobilisation intense du calcium osseux (os médullaire) au cours des 12 à 18 heures qui suivent la ponte de l'œuf précédent (Clunies et al., 1993). Pour compenser l'efficacité de cette mobilisation des ions Ca, on a supposé que la poule réduisait sa consommation de sorte que le transfert net de calcium soit nul pendant la phase ovulatoire (Etches, 1987). La mobilisation du calcium mise en évidence dans la présente étude pourrait donc expliquer la diminution de l'apport observée, en tant que processus de métabolisme du calcium s'adaptant à l'augmentation du nombre de périodes ovulatoires (taux de ponte) constatée suite à l'ajout d'OEO.

Pour mettre en évidence cette régulation alimentaire en réponse à l'administration d'OEO, il est nécessaire d'évaluer la réponse endocrinienne de la poule en analysant les variations des taux plasmatiques de procalcitonine et d'estradiol avant et à la fin du traitement. Comme pour tous les paramètres biochimiques, les variations de ces paramètres endocriniens sont attribuées exclusivement à l'effet de l'administration d'OEO, en l'absence de tout autre effet ou interaction factorielle. La procalcitonine est le précurseur de la synthèse de la calcitonine dans les glandes ultimobranchiques de la poule (Moya et al., 1975). La calcitonine agit en synergie avec les stéroïdes sexuels (tels que l'estradiol) et d'autres facteurs systémiques, notamment l'hormone de croissance, l'IGF-1, les hormones thyroïdiennes, l'hormone parathyroïdienne (PTH) et la vitamine D3, afin de favoriser la prolifération des ostéoblastes et

de stimuler la production de matrice osseuse. La calcitonine régule la minéralisation osseuse en réduisant la résorption osseuse, tandis que la PTH augmente les taux plasmatiques de calcium et que la vitamine D favorise l'absorption du calcium dans l'intestin, ce qui contribue globalement au contrôle des taux plasmatiques de calcium (Scanes & Dridi, 2021). Au-delà de cette complexité dans la régulation du métabolisme minéral et osseux, la procalcitonine a été utilisée chez certaines espèces vétérinaires comme marqueur de l'inflammation et de l'infection (Battaglia et al., 2020). Chez l'être humain, on a constaté un lien avec les infections bactériennes lorsque sa concentration dans le sang augmentait, mais il est moins sensible aux infections virales et fongiques (Tan & Langley, 2019). Chez les individus en bonne santé, la PCT est produite par les cellules C de la thyroïde. Son élévation est induite par les cytokines et les endotoxines bactériennes lors d'un état inflammatoire, d'une infection bactérienne et d'une septicémie. Certaines études suggèrent que plusieurs tissus ou organes spécifiques, tels que l'intestin, le foie, le pancréas, les poumons, l'hypophyse et l'hypothalamus, pourraient être à l'origine de la PCT chez les personnes en mauvaise santé (Paudel et al., 2020). En raison de son efficacité en médecine humaine pour le dépistage des infections bactériennes et l'évaluation des traitements antibiotiques (Simon et al., 2004; Wolff & Joly-Guillou, 2011b), Ce paramètre a été inclus dans cette étude afin d'évaluer les propriétés anti-inflammatoires et l'efficacité antimicrobienne de l'OEO face à d'éventuels déséquilibres du microbiote ou à des infections bactériennes, telles que celles causées par *Salmonella* (Zhang et al., 2020). Le profil de la procalcitonine a montré une baisse significative des concentrations lors de l'administration d'OEO, sans que le facteur « bande » ni leur interaction n'aient d'influence. Avant le traitement, les valeurs observées dans les bandes 1 et 2 (respectivement 132,43 pg/mL et 142,67 pg/mL) étaient assez similaires à celles rapportées dans le cadre de la réponse inflammatoire intestinale provoquée par *Clostridium perfringens* chez les poulets de chair (environ 140 pg/mL), par rapport au groupe témoin ayant reçu un régime de base sans exposition à *C. perfringens* (environ 110 pg/mL) (Zhang et al., 2019). Toutefois, les valeurs de PCT avant traitement étaient inférieures à celles obtenues après l'apparition de lésions intestinales chez les poulets de chair exposés à *Salmonella enterica* sérovar *Typhimurium* (249,07 pg/mL), par rapport à celles observées chez les poulets nourris avec un régime de base sans exposition à *S. typhimurium* (199,36 pg/mL) (Zhang et al., 2020). Les résultats d'études menées sur les poulets de chair (Zhang et al., 2019, 2020) a révélé une différence de 30 pg/mL et 50 pg/mL entre les poulets présentant ou non une inflammation intestinale d'origine bactérienne (*Clostridia* et *Salmonella*, respectivement). Cela suggère que la différence de 55 pg/mL observée dans les concentrations du paramètre inflammatoire PCT

avant et après l'administration d'OEO pourrait confirmer un effet anti-inflammatoire de son composé principal (le carvacrol) sur le processus inflammatoire intestinal probablement présent dans les deux bandes. Avant l'ajout d'OEO, ce processus semblait plus prononcé dans la bande 2, qui présentait un taux de production d'œufs plus faible, des antécédents médicaux modérés et des concentrations élevées de PCT (142,67 pg/mL). Les poules de cette bande présentaient également des taux élevés d'enzymes hépatiques avant le traitement, à savoir une GGT de 47,00 UI/L, dépassant la limite maximale de 25 UI/L, une AST de 185,84 UI/L, qui se situait dans les limites acceptables, et une ALP (528 UI/L) supérieure à la moyenne de 482,5 UI/L décrite par Kaneko et al. (Kaneko et al., 2008). Les taux plasmatiques de GGT et d'AST, indicateurs de stress, de lésions hépatocytaires ou des deux, ont montré une corrélation positive, bien que modérée, avec la PCT. Cette relation s'est traduite par une diminution de la concentration de ces enzymes parallèlement à une baisse des taux de PCT suite à une supplémentation en OEO. Cela suggère une amélioration de la santé et du fonctionnement du foie, ainsi qu'une réponse anti-inflammatoire au niveau intestinal. Ces changements sont liés à une éventuelle amélioration de l'absorption des métabolites et de la réponse immunitaire, qui pourrait dépendre des effets susmentionnés du carvacrol (antioxydant, antimicrobien, anti-inflammatoire, hépatoprotecteur et immunostimulant). La diminution de la procalcitonine observée en réponse à cette aromathérapie ne semble pas agir directement sur les taux de calcium par le biais de l'utilisation de ce précurseur dans la synthèse de la calcitonine. Cela s'explique par l'absence de corrélation significative entre la concentration en calcium et la PCT. En revanche, l'OEO semble avoir exercé son effet en améliorant l'absorption utérine, corrigeant ainsi les altérations bactériennes au niveau des membranes de la glande de formation de la coquille, responsables de la formation de celle-ci. (Scanes & Dridi, 2021). Une augmentation remarquable des taux d'estradiol circulant dans les deux bandes après l'ajout d'OEO semble être liée à une amélioration de la fonction ovarienne chez les poules en phase finale de leur cycle de production, quel que soit leur âge en semaines. La synthèse des œstrogènes a lieu dans les cellules thécales des follicules ovariens en développement, contrairement aux mammifères (Li et al., 2023). Il est stimulé par les hormones gonadotropes, à savoir l'hormone folliculo-stimulante (FSH) et l'hormone lutéinisante (LH), en réponse à l'hormone de libération des gonadotrophines (GnRH) sécrétée par l'hypothalamus (J. Zhao et al., 2023). Le principal substrat de la stéroïdogenèse est le cholestérol, qui peut influencer la sélection folliculaire régulée par l'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique (Li et al., 2023). On sait que le cholestérol sanguin provient principalement du foie et de l'alimentation (Scanes & Dridi, 2021; J. Zhao et al., 2023). L'augmentation de la production d'estradiol semble être

un indicateur d'amélioration, induite par l'OEO ou le carvacrol, de divers types de métabolismes (protéique, hépatique, minéral) et de l'état immunitaire, conduisant à l'amélioration des performances de production mentionnée ci-dessus. L'augmentation des taux plasmatiques d'estradiol après un traitement à l'OEO, associée à une diminution des taux plasmatiques d'AST (corrélation négative), reflète l'interaction directe entre les deux fonctions : hépatique et ovarienne. La régénération des cellules hépatiques, mise en évidence par une baisse du taux d'AST suite à l'ajout d'OEO, garantit une plus grande surface et une meilleure expression des récepteurs d'œstrogènes, ce qui permet aux œstrogènes de stimuler la synthèse des protéines hépatiques destinées à la formation du jaune d'œuf et au transport des stéroïdes, tels que l'estradiol, comme c'est le cas pour l'albumine (Jiang et al., 2022; Mann & Mann, 2008). La forte demande en albumine résultant de l'augmentation de l'estradiol (transport et synthèse du jaune d'œuf) explique la corrélation négative observée dans cette étude entre l'augmentation de la synthèse d'estradiol et la diminution des concentrations plasmatiques d'albumine libre. En contrepartie, l'amélioration de la synthèse du facteur de croissance hépatique, le facteur de croissance analogue à l'insuline (IGF-I), associée à l'hormone de croissance (GH), stimule la croissance folliculaire et la synthèse stéroïdienne des œstrogènes par les follicules (Hrabia et al., 2012) provenant des lipides (cholestérol), eux-mêmes issus du métabolisme hépatique (Gloux et al., 2019; Scanes & Dridi, 2021; Zaefarian et al., 2019). L'absence de corrélation significative entre les paramètres énergétiques (glucose, cholestérol et triglycérides) et l'augmentation de l'estradiol à la fin de l'administration d'OEO n'exclut pas un effet des substrats énergétiques. Cela est particulièrement évident pour le glucose, qui agit sur la synthèse thécalle des hormones stéroïdiennes par le biais de la régulation à la hausse de gènes et de protéines clés dans les voies de signalisation CREB/StAR (protéine de liaison à l'élément sensible à l'AMP cyclique/régulateur aigu de la stéroïdogénèse) observées chez les poules pondeuses (Lu et al., 2024). De plus, une amélioration logique de la fonction ovarienne (croissance folliculaire) est indiquée par une augmentation des taux d'E2 qui, associés aux facteurs de croissance, se lient à leurs récepteurs spécifiques présents dans la glande ovarienne (ER- α , GH-R et IGF-IR) (Ni et al., 2007). En conséquence, la production d'œufs augmente après l'administration d'OEO, ce qui entraîne une utilisation accrue du calcium sanguin dans le processus de calcification de la coquille. Ces résultats sont confirmés par une corrélation négative significative entre la diminution du rapport Ca/P et l'augmentation de l'estradiol, démontrant ainsi le rôle de cette hormone stéroïde dans le métabolisme osseux du calcium par l'intermédiaire du récepteur des œstrogènes (Hanlon et al., 2022). Il convient de prendre en compte le rôle de l'axe hypothalamo-hypophysaire pour expliquer l'amélioration

des taux d'estradiol observée après une supplémentation en OEO (Hanlon et al., 2022; J. Zhao et al., 2023), étant donné que des taux élevés de PCT peuvent également provenir spécifiquement de l'hypothalamus et de l'hypophyse, comme cela a été observé chez l'être humain (Paudel et al., 2020). Malgré l'absence de corrélation significative entre les taux d'estradiol et ceux de PCT, la diminution de ce dernier paramètre inflammatoire après le traitement pourrait indiquer une amélioration du fonctionnement du foie, de l'axe hypothalamo-hypophyso-ovarien et de l'utérus. Cependant, l'élargissement du profil hormonal aux hormones gonadotropes (FSH et LH) aurait pu fournir davantage d'informations sur la relation entre l'immunité (PCT), le métabolisme (métabolites) et l'axe reproducteur (estradiol). L'origan, tel que *Origanum vulgare*, contient des phytoestrogènes en quantité significative dans son extrait hydroalcoolique, notamment du glucoside de lutéoline ainsi que des glucuronides de lutéoline et d'apigénine (Gutiérrez-Grijalva et al., 2017; Wielogorska et al., 2019). Chez les mammifères, ces phytoestrogènes peuvent agir sur les récepteurs d'œstrogènes et stimuler les ovocytes et les cellules gonadotropes de l'hypophyse (E. Zhao, 2011). Une supplémentation alimentaire à base de poudre d'*Origanum majorana*, source de phytoestrogènes, a entraîné une augmentation des taux de FSH, de LH et d'estradiol chez des poules pondeuses de race Bovans Brown âgées de 45 semaines, lorsqu'elle était associée à de la *Salvia officinalis*. Ces plantes phytoestrogéniques ont eu un effet positif sur les performances de production, l'activité ovarienne, les hormones reproductives et l'activité antioxydante chez les poules pendant la période post-pic de ponte (Saleh et al., 2021). Toutefois, dans la présente étude, les flavonoïdes à activité œstrogénique ou mimétiques des œstrogènes proviennent d'un extrait hydroalcoolique non volatil et ne sont donc pas présents dans l'huile essentielle d'origan, qui contient principalement des composants volatils généralement extraits par hydrodistillation. Ainsi, l'effet stimulant de la thérapie à l'OEO sur les taux d'estradiol ne semble pas être directement lié aux flavonoïdes que l'on trouve couramment dans l'extrait hydroalcoolique de la plante, mais pourrait être lié aux propriétés du principal composant phénolique volatil de l'OEO (le carvacrol) sur l'ensemble des structures régulées par le système endocrinien, à savoir le foie, l'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique et la glande thyroïde. Les antioxydants présents dans l'OEO, grâce à leur effet neutralisant sur les espèces réactives de l'oxygène (ERO), peuvent réduire le risque de lésions des cellules folliculaires, en particulier des cellules stéroïdogènes de la thèque, améliorant ainsi les taux d'œstrogènes. Un effet stimulant sur la croissance folliculaire et, par conséquent, sur la synthèse d'œstrogènes, résulte probablement de l'action hépatoprotectrice des composés phénoliques sur le foie, garantissant ainsi des taux adéquats d'IGF, l'un des principaux

modulateurs de cette croissance. Les effets anti-inflammatoires et antibactériens de ces composés de l'OEO pourraient agir sur les différentes structures de l'appareil génital, en particulier les ovaires et l'utérus, améliorant ainsi le mécanisme qui régule les taux d'œstrogènes circulants, ce qui est également lié au niveau de calcium absorbé. Une disponibilité accrue des substrats grâce à une meilleure absorption intestinale et à un meilleur fonctionnement des hépatocytes, ainsi que la normalisation du métabolisme lipidique, notamment du cholestérol, précurseur de la synthèse des œstrogènes, pourraient être associées aux propriétés bioactives du carvacrol. De plus, les propriétés anti-inflammatoires des huiles essentielles d'origan pourraient moduler l'axe hypothalamo-hypophyso-ovarien en réduisant la signalisation inflammatoire, ce qui s'accompagnerait d'une baisse des taux de PCT, car les cytokines inflammatoires peuvent affecter la sécrétion de GnRH et, par conséquent, les gonadotrophines qui stimulent la synthèse des stéroïdes sexuels. Ces hypothèses suggèrent que des recherches supplémentaires devraient être menées afin d'évaluer si les taux de gonadotrophines (FSH, LH), l'expression des récepteurs hépatiques aux œstrogènes, l'activité des enzymes stéroïdogènes ovariennes et les marqueurs inflammatoires hypothalamiques pourraient évoluer simultanément avec la production d'hormones sexuelles en réponse aux effets des composants des huiles essentielles.

Conclusion

Ce travail apporte des contributions complémentaires et convergentes à la compréhension des déterminants de la santé, de l'immunité et de la performance zootechnique des poules pondeuses en Algérie. En abordant à la fois les pratiques antimicrobiennes en conditions réelles d'élevage et les effets d'une alternative naturelle aux antibiotiques, elles permettent d'esquisser une approche intégrée et raisonnée de la santé aviaire.

L'étude, conduite dans la région de Batna, révèle que les troubles de ponte, chute de production et hétérogénéité de la qualité des œufs, affectent respectivement 58,3 % et 45,8 % des élevages en batteries, avec une association significative entre ces deux problèmes. Face à ces perturbations, le recours aux antibiotiques demeure majoritairement réactif et peu raisonné, concernant près de 78,6 % des élevages affectés. Les tétracyclines constituent la famille la plus utilisée, tandis que la présence de colistine, antimicrobien d'importance critique classé en Catégorie A par l'OMS, soulève des préoccupations majeures en termes de risques de résistance et de santé publique. L'analyse factorielle des correspondances multiples (ACM) a mis en évidence une structuration dichotomique nette des élevages : d'un côté, des élevages sains à faibles intrants médicamenteux ; de l'autre, des élevages cumulant problèmes sanitaires et recours antibiotique intensif. Ces résultats confirment que le substrat structurel du mésusage antibiotique réside davantage dans les lacunes biosécuritaires et le déficit de formation technique des éleveurs que dans les caractéristiques intrinsèques des animaux.

Cette étude s'est intéressée à l'évaluation des effets d'une huile essentielle d'origan (HEO) commercialisée, administrée sur une courte période à des poules pondeuses en fin de cycle productif, dans des conditions réelles d'élevage commercial. L'analyse des profils métaboliques et endocriniens a permis de formuler des hypothèses mécanistiques sur le mode d'action du carvacrol, principal composé phénolique de l'HEO, notamment en ce qui concerne la modulation du microbiote intestinal, l'amélioration de l'immunité antibactérienne et le contrôle de l'inflammation et du stress oxydatif au niveau hépatique et du tractus génital. La baisse des niveaux plasmatiques de procalcitonine observée suggère une réduction de la charge bactérienne systémique, accompagnée d'une amélioration du statut protéique circulant favorable à la synthèse des immunoglobulines et à la formation du vitellus. Par ailleurs, la supplémentation en HEO a été associée à une amélioration du profil des enzymes hépatiques, à une stimulation de l'activité ovarienne via une meilleure synthèse des estrogènes, et à une normalisation de l'équilibre calcium-phosphore contribuant à un meilleur métabolisme osseux. Bien que la production d'œufs ait significativement augmenté chez les poules plus âgées et

que l'indice de consommation se soit amélioré dans les deux lots, les performances restent multifactorielles et ne sauraient être attribuées au seul effet de cet additif. Ces résultats mettent en lumière la capacité des poules à mobiliser des mécanismes homéorétiques impliquant le microbiote intestinal, le foie, l'axe reproducteur et la glande coquillière pour maintenir leur homéostasie physiologique.

Ces deux volets convergents vers une même conclusion : le recours systématique et non raisonné aux antibiotiques en aviculture de ponte n'est pas une fatalité. Des alternatives naturelles telles que l'huile essentielle d'origan offrent des perspectives prometteuses pour réduire la dépendance aux antimicrobiens, tout en maintenant, voire en améliorant, les paramètres de santé et de production des poules pondeuses. En outre, l'utilisation de la procalcitonine comme biomarqueur de l'efficacité des nutraceutiques constitue une approche innovante, rapportée pour la première fois dans cette espèce, qui mérite d'être approfondie.

Ces travaux plaident pour la mise en œuvre de plusieurs actions prioritaires. En premier lieu, l'instauration d'un système national de surveillance de l'usage des antimicrobiens en aviculture, couplé à des données microbiologiques et aux indicateurs de performance zootechnique, apparaît indispensable. En deuxième lieu, l'élaboration et la diffusion de protocoles thérapeutiques fondés sur l'antibiogramme obligatoire avant toute prescription constituent un levier essentiel de rationalisation des pratiques vétérinaires. En troisième lieu, une régulation renforcée de la colistine en médecine vétérinaire, en cohérence avec les recommandations internationales et compte tenu du risque de transfert de résistance documenté en Algérie, s'impose avec urgence. En quatrième lieu, le renforcement de la biosécurité et de la formation des éleveurs doit être considéré comme un levier structurel de prévention du mésusage antibiotique. Enfin, la conduite d'études multicentriques intégrant un groupe contrôle, un suivi microbiologique systématique et l'évaluation d'autres paramètres biologiques, enzymes antioxydantes, hormones gonadotropes, facteurs de croissance à l'insuline, récepteurs hépatiques aux estrogènes, permettrait d'affiner la compréhension pharmacodynamique et toxicologique des huiles essentielles en aviculture, afin d'en maximiser les bénéfices zootechniques tout en préservant le bien-être animal et la sécurité sanitaire des aliments.

En définitive, ce travail contribue à poser les bases d'une approche raisonnée et intégrée de la santé en élevage de poules pondeuses en Algérie, en articulant le diagnostic épidémiologique des pratiques antimicrobiennes, l'exploration des mécanismes biologiques d'alternatives naturelles, et les perspectives de politique sanitaire vétérinaire. Il s'inscrit pleinement dans les enjeux mondiaux de lutte contre la résistance aux antimicrobiens, tout en

répondant aux impératifs économiques et de bien-être animal propres à la filière avicole nationale.

Perspectives

Les deux approches réalisées dans le cadre de ce travail ouvrent des pistes de recherche prometteuses et appellent à la poursuite des investigations, tant sur le plan épidémiologique que pharmacologique et réglementaire. Plusieurs axes de développement se dégagent naturellement des résultats obtenus et des limites identifiées.

1. Renforcement du cadre réglementaire et de la surveillance antimicrobienne

L'une des lacunes structurelles les plus saillantes mise en évidence par la première approche est l'absence d'un système national de surveillance de l'usage des antimicrobiens en aviculture commerciale. Il est impératif d'instaurer un dispositif intégré de pharmacovigilance vétérinaire, couplant les données de prescription et de vente d'antibiotiques aux résultats microbiologiques de terrain et aux indicateurs de performance zootechnique. Ce système permettrait notamment d'objectiver l'ampleur réelle de la résistance aux antimicrobiens dans les filières avicoles algériennes et d'orienter les politiques publiques de santé animale.

Par ailleurs, l'élaboration et la diffusion de protocoles thérapeutiques standardisés, reposant sur l'exigence d'un antibiogramme préalable à toute prescription antibiotique, constituent une priorité absolue. Cette démarche, bien qu'exigeante sur le plan logistique, est la seule capable de rationaliser l'usage des antibiotiques et de réduire l'émergence de résistances. Dans cette perspective, une régulation renforcée de la colistine en médecine vétérinaire, en cohérence avec les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (Catégorie A, antimicrobien d'importance critique), s'impose avec urgence.

Il est également nécessaire d'établir une nomenclature officielle des produits thérapeutiques à usage vétérinaire commercialisés sur le marché algérien, incluant les spécialités à base de plantes médicinales, afin de garantir leur traçabilité, leur qualité et leur innocuité. L'attribution de limites maximales de résidus (LMR) pour les huiles essentielles dans les denrées alimentaires d'origine animale représente une étape indispensable pour l'obtention de l'autorisation de mise sur le marché (AMM) de ces produits en tant que médicaments vétérinaires destinés aux animaux producteurs de denrées.

2. Approfondissement des études sur les phytobiotiques en aviculture

Les résultats de la seconde approche plaident pour la conduite d'essais cliniques multicentriques intégrant des groupes contrôles adéquats, un suivi microbiologique systématique et l'évaluation de paramètres biologiques complémentaires, notamment les enzymes antioxydantes, les hormones gonadotropes et les récepteurs hépatiques aux œstrogènes. De telles études permettraient d'affiner la compréhension pharmacodynamique et

toxicologique des huiles essentielles, en particulier en ce qui concerne le mécanisme d'action du carvacrol sur l'axe entéro-hépatique et l'axe reproducteur de la poule pondeuse.

La mise au point de formes posologiques vétérinaires standardisées à base d'huiles essentielles — avec des doses définies, des modalités d'administration précises et des conditions de conservation clairement établies — constitue un prérequis à leur intégration rationnelle dans les protocoles d'élevage. La maîtrise des conditions ambiantes d'administration, notamment la température, revêt une importance particulière dans les régions à climat chaud, où la volatilité des composés actifs peut altérer significativement la biodisponibilité de l'additif.

La procalcitonine, utilisée pour la première fois comme biomarqueur de l'efficacité antimicrobienne chez la poule pondeuse dans le cadre de ce travail, mérite d'être davantage explorée dans des études longitudinales et comparatives portant sur différents phytobiotiques. Cette approche innovante pourrait constituer un outil de mesure objectif et non invasif de l'inflammation bactérienne systémique, applicable à d'autres espèces avicoles et à d'autres additifs zootechniques.

3. Valorisation et production durable des plantes médicinales

Afin de préserver la flore sauvage et de garantir une production régulière d'huiles essentielles de qualité constante, le développement de filières de culture contrôlée de l'origan et d'autres plantes médicinales à intérêt vétérinaire est vivement recommandé. La récolte sur milieu naturel expose en effet à une variabilité chimotypique importante, susceptible d'influer sur la composition et l'activité biologique des huiles essentielles produites.

Par ailleurs, le développement d'outils numériques d'aide à l'identification et à l'utilisation des plantes médicinales — tels que des applications mobiles permettant l'identification botanique, la consultation des propriétés thérapeutiques, des posologies recommandées et des contre-indications — représente une voie innovante pour diffuser les connaissances en phytothérapie vétérinaire et accompagner les éleveurs et praticiens de terrain.

4. Formation, sensibilisation et intégration académique

Les résultats de la première approche confirment que le mésusage antibiotique en élevage de poules pondeuses est davantage lié aux lacunes en matière de formation et de biosécurité qu'aux caractéristiques intrinsèques des élevages. Il importe donc de renforcer les programmes de formation continue des éleveurs, des techniciens et des vétérinaires praticiens, en y intégrant systématiquement les principes de l'antibiothérapie raisonnée et de la prévention des résistances.

Sur le plan académique, l'intégration formelle de la phytothérapie vétérinaire dans les cursus de médecine vétérinaire constitue une nécessité face à l'essor des médecines alternatives et à la demande croissante d'alternatives aux antibiotiques. Cette formation devrait inclure non seulement les bases pharmacologiques des phytobiotiques, mais aussi les enjeux réglementaires, les méthodes de standardisation et les limites actuelles de leur utilisation clinique.

5. Conclusion des perspectives

En définitive, les perspectives issues de ce travail s'inscrivent dans une vision intégrative et One Health de la santé en élevage avicole, articulant surveillance épidémiologique, développement de solutions alternatives durables, régulation et valorisation des ressources phytogéniques locales. La lutte contre la résistance aux antimicrobiens dans le secteur avicole algérien ne saurait reposer sur une approche isolée : elle nécessite une mobilisation coordonnée des acteurs académiques, institutionnels, vétérinaires et économiques, dans le cadre d'une politique nationale cohérente et ambitieuse.

Les drogues végétales, et en particulier les huiles essentielles, constituent une option thérapeutique précieuse dont l'intégration dans les systèmes d'élevage doit être guidée par la rigueur scientifique, la supervision vétérinaire qualifiée et un cadre réglementaire adapté. C'est à ce prix que le secteur avicole national pourra concilier durabilité économique, sécurité sanitaire et responsabilité environnementale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbas, Q., Hassan, M., Raza, H., Kim, S. J., Chung, K.-W., Kim, G.-H., & Seo, S.-Y. (2017). In vitro , in vivo and in silico anti-hyperglycemic inhibition by sinigrin. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10(4), 372–379. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.03.019>
- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Salem, H. M., Ashry, N. M., Abo Ghanima, M. M., Shukry, M., Swelum, A. A., Taha, A. E., El-Tahan, A. M., AbuQamar, S. F., & El-Tarabily, K. A. (2022). Essential oils and their nanoemulsions as green alternatives to antibiotics in poultry nutrition: A comprehensive review. *Poultry Science*, 101(2), 101584. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101584>
- Abdalla, M. A., & McGaw, L. J. (2020). The Pharmacological and Nutritional Significance of Plant-Derived Natural Products: An Alternative for Animal Health. In L. J. McGaw & M. A. Abdalla (Eds.), *Ethnoveterinary Medicine* (pp. 7–22). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32270-0_2
- Abdel-Wareth, A., Ismail, Z., & Südekum, K. (2013). Effects of thyme and oregano on performance and egg quality characteristics of laying hens. *World's Poultry Sci. Journal*, 1–6.
- Aberkane, C., Messaï, A., Messaï, C. R., & Boussaada, T. (2023). Antimicrobial resistance pattern of avian pathogenic Escherichia coli with detection of extended-spectrum β -lactamase-producing isolates in broilers in east Algeria. *Veterinary World*, 449–454. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.449-454>
- Abreu, R., Semedo-Lemsaddek, T., Cunha, E., Tavares, L., & Oliveira, M. (2023). Antimicrobial Drug Resistance in Poultry Production: Current Status and Innovative Strategies for Bacterial Control. *Microorganisms*, 11(4), 953. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11040953>
- Agada, G. (2014). Prevalence and Antibiotic Resistance Profile of Salmonella Isolates from Commercial Poultry and Poultry Farm-handlers in Jos, Plateau State, Nigeria. *British Microbiology Research Journal*, 4(4), 462–479. <https://doi.org/10.9734/BMRJ/2014/5872>
- Aguidissou, O. N. C., Boko, C. K., Adoligbe, C. M., Dete, C. H., Capo-Chichi, P. T., Akpo, Y., Koutinhouin, B. G., & Farougou, S. (2020). Inventory of biosecurity measures and antibiotics therapy practices on laying hen farms in Benin. *Veterinary World*, 13(12), 2681–2690. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.2681-2690>
- Akkari, H., Heleili, N., Ozgumus, O. B., Merradi, M., Reis, A., Ayachi, A., Akarsu, N., Tufekci, E. F., & Kiliç, A. O. (2024). Prevalence and molecular characterization of ESBL/pAmpC producing faecal Escherichia coli strains with widespread detection of CTX-M-15 isolated from healthy poultry flocks in Eastern Algeria. *Microbial Pathogenesis*, 196, 106973. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.106973>
- Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Arif, M., & Ashour, E. A. (2016). Individual and combined effects of crude protein, methionine, and probiotic levels on laying hen productive performance and nitrogen pollution in the manure. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(22), 22906–22913. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7511-6>
- Ali, R., Khan, S., Khan, M., Adnan, M., Ali, I., Khan, T. A., Haleem, S., Rooman, M., Norin, S., & Khan, S. N. (2020). A systematic review of medicinal plants used against Echinococcus granulosus. *PLOS ONE*, 15(10), e0240456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240456>

- Alleman, F., Gabriel, I., Dufourcq, V., Perrin, F., & Gabarrou, J. F. (2013). Utilisation des huiles essentielles en alimentation des volailles. 1. Performances de croissance et réglementation. *INRAE Productions Animales*, 26(1), 3–12.
- Alloui, N., & Bennoune, O. (2013). Poultry production in Algeria: Current situation and future prospects. *World's Poultry Science Journal*, 69(3), 613–620. <https://doi.org/10.1017/S0043933913000615>
- Alloui, O., & Hadeif, S. (2008). Influence of probiotic feeding on the performance and the intestinal microflora of broiler chicken. *Proc. 1st Mediterranean Summit of WPSA. Advances and Challenges in Poultry Science*, 7–10.
- Alonso, C. A., Zarazaga, M., Ben Sallem, R., Jouini, A., Ben Slama, K., & Torres, C. (2017). Antibiotic resistance in *Escherichia coli* in husbandry animals: The African perspective. *Letters in Applied Microbiology*, 64(5), 318–334. <https://doi.org/10.1111/lam.12724>
- Alturkistani, H. A., Tashkandi, F. M., & Mohammedsaleh, Z. M. (2015). Histological Stains: A Literature Review and Case Study. *Global Journal of Health Science*, 8(3), 72. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v8n3p72>
- Alves-Santos, A. M., Sugizaki, C. S. A., Lima, G. C., & Naves, M. M. V. (2020). Prebiotic effect of dietary polyphenols: A systematic review. *Journal of Functional Foods*, 74, 104169. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104169>
- Anagnostopoulos, E. C., Brouklogiannis, I. P., Griela, E., Paraskeuas, V. V., & Mountzouris, K. C. (2023). Phytogetic Effects on Layer Production Performance and Cytoprotective Response in the Duodenum. *Animals*, 13(2), 294. <https://doi.org/10.3390/ani13020294>
- Andrew Selaledi, L., Mohammed Hassan, Z., Manyelo, T. G., & Mabelebele, M. (2020). The Current Status of the Alternative Use to Antibiotics in Poultry Production: An African Perspective. *Antibiotics*, 9(9), 594. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9090594>
- Angelin, J., & Kavitha, M. (2020). Exopolysaccharides from probiotic bacteria and their health potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 853–865. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.190>
- Anju Balkrishna Bhandole & Harish N. Kakrani. (2022). Traditional herbal plant useful for treatment of inflammatory bowel disease. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 12(3), 281–290. <https://doi.org/10.30574/wjbpshs.2022.12.3.0236>
- Anses. (2022). *Etat des connaissances sur les huiles essentielles et les plantes d'intérêt pour la phytothérapie et l'aromathérapie des animaux producteurs de denrées alimentaires et proposition d'une méthodologie d'évaluation des risques pour la santé humaine* (SA-0083; p. 284). Anses. <https://www.anses.fr/fr/system/files/ERCA2020SA0083Ra.pdf>
- Antonia Nostro & Teresa Papalia. (2012). Antimicrobial Activity of Carvacrol: Current Progress and Future Prospectives. *Recent Patents on Anti-Infective Drug Discovery*, 7(1), 28–35. <https://doi.org/10.2174/157489112799829684>
- Arpášová, H., Gálik, B., Hrnčár, C., Fit, M., Herkeľ, R., & Pistová, V. (2015). The effect of essential oils on performance of laying hens. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 48(2), 8–8.
- Arslan, C., Piriñç, A., Eker, N., Sur, E., Ündağ, İ., & Kuşat, T. (2022). Dietary encapsulated essential oil mixture influence on apparent nutrient digestibility, serum metabolic profile, lymphocyte histochemistry and

- p>intestinal morphology of laying hens.
- Animal Bioscience*
- , 35(5), 740–751.
- <https://doi.org/10.5713/ab.21.0275>
- Arzanlou, M. (2016). Inhibition of streptococcal pyrogenic exotoxin B using allicin from garlic. *Microbial Pathogenesis*, 93, 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2016.02.010>
- Assicot, M., Bohuon, C., Gendrel, D., Raymond, J., Carsin, H., & Guilbaud, J. (1993). High serum procalcitonin concentrations in patients with sepsis and infection. *The Lancet*, 341(8844), 515–518. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(93\)90277-N](https://doi.org/10.1016/0140-6736(93)90277-N)
- Assoni, L., Milani, B., Carvalho, M. R., Nepomuceno, L. N., Waz, N. T., Guerra, M. E. S., Converso, T. R., & Darrieux, M. (2020). Resistance Mechanisms to Antimicrobial Peptides in Gram-Positive Bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 11, 593215. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.593215>
- Astill, J., Dara, R. A., Fraser, E. D. G., & Sharif, S. (2018). Detecting and Predicting Emerging Disease in Poultry With the Implementation of New Technologies and Big Data: A Focus on Avian Influenza Virus. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 263. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00263>
- Attia, Y. A., Rahman, Md. T., Hossain, Md. J., Basiouni, S., Khafaga, A. F., Shehata, A. A., & Hafez, H. M. (2022). Poultry Production and Sustainability in Developing Countries under the COVID-19 Crisis: Lessons Learned. *Animals*, 12(5), 644. <https://doi.org/10.3390/ani12050644>
- Austin, B. (2017). The value of cultures to modern microbiology. *Antonie van Leeuwenhoek*, 110(10), 1247–1256. <https://doi.org/10.1007/s10482-017-0840-8>
- Ayad, R., & Akkal, S. (2019). Phytochemistry and biological activities of algerian *Centaurea* and related genera. In *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 63, pp. 357–414). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817901-7.00012-5>
- Ayala, A. J., Yabsley, M. J., & Hernandez, S. M. (2020). A Review of Pathogen Transmission at the Backyard Chicken–Wild Bird Interface. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 539925. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.539925>
- Azizi, M. N., Loh, T. C., Foo, H. L., Akit, H., Izuddin, W. I., & Yohanna, D. (2023). Brown and Green Seaweed Antioxidant Properties and Effects on Blood Plasma Antioxidant Enzyme Activities, Hepatic Antioxidant Genes Expression, Blood Plasma Lipid Profile, and Meat Quality in Broiler Chickens. *Animals*, 13(10), 1582. <https://doi.org/10.3390/ani13101582>
- Azizi, M. N., Zahir, A., Mahaq, O., & Aminullah, N. (2024). The Alternatives of Antibiotics in Poultry Production for Reducing Antimicrobial Resistance. *World's Veterinary Journal*, 14(2), 270–283. <https://doi.org/10.54203/scil.2024.wvj34>
- Barkat, Md. A., Goyal, A., Barkat, H. A., Salauddin, M., Pottoo, F. H., & Anwer, E. T. (2021). Herbal Medicine: Clinical Perspective and Regulatory Status. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 24(10), 1573–1582. <https://doi.org/10.2174/1386207323999201110192942>
- Barker, C. (2023). Botanical Briefs: Handling the Heat From Capsicum Peppers. *Cutis*, 111(5). <https://doi.org/10.12788/cutis.0761>
- Basiouni, S., Tellez-Isaias, G., Latorre, J. D., Graham, B. D., Petrone-Garcia, V. M., El-Seedi, H. R., Yalçın, S., El-Wahab, A. A., Visscher, C., May-Simera, H. L., Huber, C., Eisenreich, W., & Shehata, A. A. (2023). Anti-Inflammatory and Antioxidative Phytogetic Substances against Secret Killers in Poultry: Current Status and Prospects. *Veterinary Sciences*, 10(1), 55. <https://doi.org/10.3390/vetsci10010055>

- Bastidas-Caldes, C., De Waard, J. H., Salgado, M. S., Villacís, M. J., Coral-Almeida, M., Yamamoto, Y., & Calvopiña, M. (2022). Worldwide Prevalence of mcr-mediated Colistin-Resistance *Escherichia coli* in Isolates of Clinical Samples, Healthy Humans, and Livestock—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pathogens*, 11(6), 659. <https://doi.org/10.3390/pathogens11060659>
- Battaglia, F., Meucci, V., Tognetti, R., Bonelli, F., Sgorbini, M., Lubas, G., Pretti, C., & Intorre, L. (2020). Procalcitonin Detection in Veterinary Species: Investigation of Commercial ELISA Kits. *Animals*, 10(9), 1511. <https://doi.org/10.3390/ani10091511>
- Beal, R. K., Powers, C., Wigley, P., Barrow, P. A., Kaiser, P., & Smith, A. L. (2005). A Strong Antigen-Specific T-Cell Response Is Associated with Age and Genetically Dependent Resistance to Avian Enteric Salmonellosis. *Infection and Immunity*, 73(11), 7509–7516. <https://doi.org/10.1128/IAI.73.11.7509-7516.2005>
- Belaid-Gater, N., Mouhous, A., Saidj, D., & Kadi, S. A. (2023). Production Performances of The Poultry-laying Sector In Algeria: Data Analysis Of An Table Eggs Production Complex. *AGROBIOLOGIA*, 13(1), 3333–3341.
- Belhouala, K., & Benarba, B. (2021). Medicinal Plants Used by Traditional Healers in Algeria: A Multiregional Ethnobotanical Study. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 760492. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.760492>
- Bencina, D., Tadina, T., & Dorrer, D. (1988). Natural infection of ducks with *mycoplasma synoviae* and *mycoplasma gallisepticum* and *mycoplasma* egg transmission. *Avian Pathology*, 17(2), 441–449. <https://doi.org/10.1080/03079458808436462>
- Berchieri, A., Murphy, C. K., Marston, K., & Barrow, P. A. (2001). Observations on the persistence and vertical transmission of *Salmonella enterica* serovars Pullorum and Gallinarum in chickens: Effect of bacterial and host genetic background. *Avian Pathology*, 30(3), 221–231. <https://doi.org/10.1080/03079450120054631>
- Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6–11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
- Betancourt López, L. (2024). Oregano Essential Oils as a Nutraceutical Additive in Poultry Diets. In Jonas (Ed.), *Biochemistry* (Vol. 49). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.113313>
- Bisgaard, M. (1995). Salpingitis in web-footed birds: Prevalence, aetiology and significance. *Avian Pathology*, 24(3), 443–452. <https://doi.org/10.1080/03079459508419084>
- Biswas, S., & Rolain, J.-M. (2013). Use of MALDI-TOF mass spectrometry for identification of bacteria that are difficult to culture. *Journal of Microbiological Methods*, 92(1), 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2012.10.014>
- Blakey, J., Crispo, M., Bickford, A., & Stoute, S. (2019). Fowl cholera and acute heart rupture in a backyard turkey. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 31(3), 390–394. <https://doi.org/10.1177/1040638718823850>
- Bortolami, A., Donini, M., Marusic, C., Lico, C., Drissi Touzani, C., Gobbo, F., Mazzacan, E., Fortin, A., Panzarini, V. M., Bonfante, F., Baschieri, S., & Terregino, C. (2021). Development of a Novel Assay Based on Plant-Produced Infectious Bursal Disease Virus VP3 for the Differentiation of Infected From Vaccinated Animals. *Frontiers in Plant Science*, 12, 786871. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.786871>

- Botsoglou, N. A., Taitzoglou, I. A., Botsoglou, E., Lavrentiadou, S. N., Kokoli, A. N., & Roubies, N. (2008). Effect of Long-Term Dietary Administration of Oregano on the Alleviation of Carbon Tetrachloride-Induced Oxidative Stress in Rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15), 6287–6293. <https://doi.org/10.1021/jf8003652>
- Botsoglou, N., Florou-Paneri, P., Botsoglou, E., Dots, V., Giannenas, I., Koidis, A., & Mittrakos, P. (2005). The effect of feeding rosemary, oregano, saffron and α -tocopheryl acetate on hen performance and oxidative stability of eggs. *South African Journal of Animal Science*, 35(3), 143–151. <https://doi.org/10.4314/sajas.v35i3.4053>
- Bougnom, B. P., Zongo, C., McNally, A., Ricci, V., Etoa, F. X., Thiele-Bruhn, S., & Piddock, L. J. V. (2019). Wastewater used for urban agriculture in West Africa as a reservoir for antibacterial resistance dissemination. *Environmental Research*, 168, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.022>
- Boulbair, I., Hu, J., Hammoudi, A., Zhang, B., Aissat, S., Wang, X., Foudil, M., & Wang, S. (2025). Molecular Characterization and Antibiotic Resistance of Avian Pathogenic Escherichia coli (APEC) Isolates from Broiler Chickens in Algeria. *Animals*, 15(22), 3324. <https://doi.org/10.3390/ani15223324>
- Boutaiba Benklaouz, M., Aggad, H., & Benameur, Q. (2020). Resistance to multiple first-line antibiotics among Escherichia coli from poultry in Western Algeria. *Veterinary World*, 13(2), 290–295. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.290-295>
- Bozkurt, M., Bintaş, E., Kırcan, Ş., Akşit, H., Küçükyılmaz, K., Erbaş, G., Çabuk, M., Akşit, D., Parın, U., Ege, G., Koçer, B., Seyrek, K., & Tüzün, A. E. (2016). Comparative evaluation of dietary supplementation with mannan oligosaccharide and oregano essential oil in forced molted and fully fed laying hens between 82 and 106 weeks of age. *Poultry Science*, 95(11), 2576–2591. <https://doi.org/10.3382/ps/pew140>
- Braz, N. M., Freitas, E. R., Trevisan, M. T. S., Do Nascimento, G. A. J., Salles, R. P. R., Cruz, C. E. B., Farias, N. N. P., Da Silva, I. N. G., & Watanabe, P. H. (2018). Serum biochemical profile, enzymatic activity and lipid peroxidation in organs of laying hens fed diets containing cashew nut shell liquid. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1), 67–74. <https://doi.org/10.1111/jpn.12659>
- Brogden, K. A. (2005). Antimicrobial peptides: Pore formers or metabolic inhibitors in bacteria? *Nature Reviews Microbiology*, 3(3), 238–250. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1098>
- Broom, L. J. (2017). The sub-inhibitory theory for antibiotic growth promoters. *Poultry Science*, 96(9), 3104–3108. <https://doi.org/10.3382/ps/pex114>
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Butt, S. L., Taylor, T. L., Volkening, J. D., Dimitrov, K. M., Williams-Coplin, D., Lahmers, K. K., Miller, P. J., Rana, A. M., Suarez, D. L., Afonso, C. L., & Stanton, J. B. (2018). Rapid virulence prediction and identification of Newcastle disease virus genotypes using third-generation sequencing. *Virology Journal*, 15(1), 179. <https://doi.org/10.1186/s12985-018-1077-5>
- Callaway, T. R., Edrington, T. S., Brabban, A., Kutter, B., Karriker, L., Stahl, C., Wagstrom, E., Anderson, R., Poole, T. L., Genovese, K., Krueger, N., Harvey, R., & Nisbet, D. J. (2011). Evaluation of Phage

- Treatment as a Strategy to Reduce *Salmonella* Populations in Growing Swine. *Foodborne Pathogens and Disease*, 8(2), 261–266. <https://doi.org/10.1089/fpd.2010.0671>
- Chaalal, N., Touati, A., Yahiaoui-Martinez, A., Aissa, M. A., Sotto, A., Lavigne, J.-P., & Pantel, A. (2021). Colistin-Resistant Enterobacterales Isolated from Chicken Meat in Western Algeria. *Microbial Drug Resistance*, 27(7), 991–1002. <https://doi.org/10.1089/mdr.2020.0109>
- Chabou, S., Leulmi, H., Davoust, B., Aouadi, A., & Rolain, J.-M. (2018). Prevalence of extended-spectrum β -lactamase- and carbapenemase-encoding genes in poultry faeces from Algeria and Marseille, France. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 13, 28–32. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2017.11.002>
- Chin, R. P., Van Empel, P. C. M., & Hafez, H. M. (2003). *Ornithobacterium rhinotracheale* infection pp. 683–690 in *Diseases of Poultry*. Eds Saif, YM et al. Iowa State Press. Ames, Iowa.
- Chitra K, Rasheeda Shameem M, & S Arivoli. (2022). The use of ethnoveterinary medicine in treating cattle's milking diseases. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 14(1), 075–079. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.14.1.0282>
- Chorfi, Y., & Venne, D. (2015). Biochimie Sanguine chez les Oiseaux. In *Manuel de Pathologie Aviaire* (p. 701). AFAS.
- Chowdhury, R., Ramond, A., O'Keeffe, L. M., Shahzad, S., Kunutsor, S. K., Muka, T., Gregson, J., Willeit, P., Warnakula, S., Khan, H., Chowdhury, S., Gobin, R., Franco, O. H., & Di Angelantonio, E. (2018). Environmental toxic metal contaminants and risk of cardiovascular disease: Systematic review and meta-analysis. *BMJ*, k3310. <https://doi.org/10.1136/bmj.k3310>
- Christ-Crain, M., Jaccard-Stolz, D., Bingisser, R., Gencay, M. M., Huber, P. R., Tamm, M., & Müller, B. (2004). Effect of procalcitonin-guided treatment on antibiotic use and outcome in lower respiratory tract infections: Cluster-randomised, single-blinded intervention trial. *The Lancet*, 363(9409), 600–607. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)15591-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)15591-8)
- Christensen, H., Bisgaard, M., Bojesen, A. M., Mutters, R., & Olsen, J. E. (2003a). Genetic relationships among avian isolates classified as *Pasteurella haemolytica*, 'Actinobacillus salpingitidis' or *Pasteurella anatis* with proposal of *Gallibacterium anatis* gen. Nov., comb. Nov. And description of additional genomospecies within *Gallibacterium* gen. Nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(1), 275–287. <https://doi.org/10.1099/ijls.0.02330-0>
- Christensen, H., Bisgaard, M., Bojesen, A. M., Mutters, R., & Olsen, J. E. (2003b). Genetic relationships among avian isolates classified as *Pasteurella haemolytica*, 'Actinobacillus salpingitidis' or *Pasteurella anatis* with proposal of *Gallibacterium anatis* gen. Nov., comb. Nov. And description of additional genomospecies within *Gallibacterium* gen. Nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(1), 275–287. <https://doi.org/10.1099/ijls.0.02330-0>
- Church, N. A., & McKillip, J. L. (2021). Antibiotic resistance crisis: Challenges and imperatives. *Biologia*, 76(5), 1535–1550. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00697-x>
- Clunies, M., Etches, R. J., Fair, C., & Leeson, S. (1993). Blood, intestinal and skeletal calcium dynamics during egg formation. *Canadian Journal of Animal Science*, 73(3), 517–532. <https://doi.org/10.4141/cjas93-056>
- Cobb, L. H., Park, J., Swanson, E. A., Beard, M. C., McCabe, E. M., Rourke, A. S., Seo, K. S., Olivier, A. K., & Priddy, L. B. (2019). CRISPR-Cas9 modified bacteriophage for treatment of *Staphylococcus aureus*

- induced osteomyelitis and soft tissue infection. *PLOS ONE*, 14(11), e0220421. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220421>
- Collingwood, C., Kemmett, K., Williams, N., & Wigley, P. (2014). Is the Concept of Avian Pathogenic *Escherichia coli* as a Single Pathotype Fundamentally Flawed? *Frontiers in Veterinary Science*, 1. <https://doi.org/10.3389/fvets.2014.00005>
- Commission européenne. (2002). *Directive 2002/46/CE du Parlement européen et du Conseil du 10 juin 2002 relative au rapprochement des législations des États membres concernant les compléments alimentaires*. 45, 51–57. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2002:183:FULL>
- Commission européenne. (2020). *Règlement d'exécution (UE) 2020/1098 de la commission du 24 juillet 2020 concernant l'autorisation de l'huile essentielle de cardamome tirée d'Elettaria cardamomum (L.) Maton en tant qu'additif pour l'alimentation de toutes les espèces animales*. 27(7), 28–30. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fr/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R1098&from=EN>
- Commission européenne. (2022). *Règlement d'exécution (UE) 2022/1412 de la commission du 19 août 2022 relatif à l'autorisation de l'huile essentielle d'ylang-ylang [Cananga odorata (Lam) Hook. F. & Thomson] en tant qu'additif dans l'alimentation de toutes les espèces animales*. 22(8), 1–5. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R1412>
- Cross, D. E., McDevitt, R. M., Hillman, K., & Acamovic, T. (2007). The effect of herbs and their associated essential oils on performance, dietary digestibility and gut microflora in chickens from 7 to 28 days of age. *British Poultry Science*, 48(4), 496–506. <https://doi.org/10.1080/00071660701463221>
- Darmawan, A., Hermana, W., Suci, D., Mutia, R., Sumiati, Jayanegara, A., & Ozturk, E. (2022). Dietary Phytogetic Extracts Favorably Influence Productivity, Egg Quality, Blood Constituents, Antioxidant and Immunological Parameters of Laying Hens: A Meta-Analysis. *Animals*, 12(17), 2278. <https://doi.org/10.3390/ani12172278>
- Darmawan, A., Öztürk, E., Güngör, E., Özlü, Ş., & Jayanegara, A. (2024). Effects of essential oils on egg production and feed efficiency as influenced by laying hen breed: A meta-analysis. *Veterinary World*, 197–206. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.197-206>
- Dashe, Y. D., Raji, M. A., Abdu, P. A., Oladele, B. S., & Sugun, M. Y. (2013). Multidrug Resistant *Pasteurella multocida* Strains Isolated from Chickens with Cases of Fowl Cholera in Jos, Nigeria. *International Journal of Poultry Science*, 12(10), 596–600. <https://doi.org/10.3923/ijps.2013.596.600>
- Davies, R., & Breslin, M. (2001). Environmental contamination and detection of *Salmonella enterica* serovar *enteritidis* in laying flocks. *Veterinary Record*, 149(23), 699–704. <https://doi.org/10.1136/vr.149.23.699>
- De Knecht, L. V., Pires, S. M., & Hald, T. (2015). Attributing foodborne salmonellosis in humans to animal reservoirs in the European Union using a multi-country stochastic model. *Epidemiology and Infection*, 143(6), 1175–1186. <https://doi.org/10.1017/S0950268814001903>
- De Talancé, N., Schumacher, H., Mertes, P., & Burlet, C. (2001). Intérêts du dosage de procalcitonine en infectiologie. *Immuno-analyse & Biologie Spécialisée*, 16(1), 18–21. [https://doi.org/10.1016/S0923-2532\(01\)80004-1](https://doi.org/10.1016/S0923-2532(01)80004-1)
- Denli, M., Vural, A., & Alp, S. Y. (2019). *The influence of oregano essential oil on egg quality and egg shell contamination of laying hens kept in furnished cages*.

- Di Francesco, A., Salvatore, D., Sakhria, S., Catelli, E., Lupini, C., Abbassi, M. S., Bessoussa, G., Ben Yahia, S., & Ben Chehida, N. (2021). High Frequency and Diversity of Tetracycline Resistance Genes in the Microbiota of Broiler Chickens in Tunisia. *Animals*, 11(2), 377. <https://doi.org/10.3390/ani11020377>
- Djemaïoune, A., Todorović, D., Novović, K., Dramlić, S. M., Cherak, Z., Bendjama, E., Khalouta, O., Mamache, B., Jovčić, B., Velhner, M., & Ayachi, A. (2025). High Level Fluoroquinolone Resistance and Multidrug Resistance in *Salmonella* Spp. Isolated from Poultry, Turkey Floks and Slaughterhouses in Algeria. *Acta Veterinaria*, 75(3), 309–325. <https://doi.org/10.2478/acve-2025-0024>
- Dobos-Kovács, M., Varga, Z., Czifra, G., & Stipkovits, L. (2009). Salpingitis in geese associated with *Mycoplasma* sp. Strain 1220. *Avian Pathology*, 38(3), 239–243. <https://doi.org/10.1080/03079450902912127>
- Dor, M. (2017). *Création d'une formation continue vétérinaire en phytothérapie*. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.
- EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), More, S., Bøtner, A., Butterworth, A., Calistri, P., Depner, K., Edwards, S., Garin-Bastuji, B., Good, M., Gortázar Schmidt, C., Michel, V., Miranda, M. A., Nielsen, S. S., Raj, M., Sihvonen, L., Spooler, H., Stegeman, J. A., Thulke, H., Velarde, A., ... Bicout, D. (2017). Assessment of listing and categorisation of animal diseases within the framework of the Animal Health Law (Regulation (EU) No 2016/429): Avian mycoplasmosis (*Mycoplasma gallisepticum*, *M. meleagridis*). *EFSA Journal*, 15(8). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4953>
- Eftekhari Hasan Abad, M. R., & Ghaniei, A. (2023). Effects of Herbal Medicine in the Treatment of Poultry Coccidiosis. *Journal of World's Poultry Science*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.58803/jwps.v2i1.10>
- Ekawasti, F., & Martindah, E. (2019). Control of Coccidiosis in Chickens Through Herbal Medicine. *Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*, 29(1), 1. <https://doi.org/10.14334/wartazoa.v29i1.2048>
- Emami, N. K., Greene, E. S., Kogut, M. H., & Dridi, S. (2021). Heat Stress and Feed Restriction Distinctly Affect Performance, Carcass and Meat Yield, Intestinal Integrity, and Inflammatory (Chemo)Cytokines in Broiler Chickens. *Frontiers in Physiology*, 12, 707757. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.707757>
- Etches, R. J. (1987). Calcium Logistics in the Laying Hen. *The Journal of Nutrition*, 117(3), 619–628. <https://doi.org/10.1093/jn/117.3.619>
- European Commission. (2019). *Regulation 2019/268 of 15 February 2019 Amending Regulations (EU) No 200/2010, (EU) No 517/2011, (EU) No 200/2012 and (EU) No 1190/2012 as regards Certain Methods for Salmonella Testing and Sampling in Poultry*. L46, 11–16. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0268&rid=7>
- Fafiolu, A. O., & Alabi, J. O. (2020). Beyond COVID-19 pandemic period: Strategies for sustainable livestock feed and food production. *Nigerian Journal of Animal Science*, 22(3), 107–121.
- Fang, P., Belton, B., Zhang, X., & Ei Win, H. (2021). Impacts of COVID-19 on Myanmar's chicken and egg sector, with implications for the sustainable development goals. *Agricultural Systems*, 190, 103094. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103094>
- FAO. (2025). *FAOSTAT: Crops and Livestock Products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Farinacci, P., Mevissen, M., Ayrle, H., Maurer, V., Sørensen Dalgaard, T., Melzig, M. F., & Walkenhorst, M. (2022). Medicinal Plants for Prophylaxis and Therapy of Common Infectious Diseases In Poultry–A

- Systematic Review of In Vivo Studies. *Planta Medica*, 88(03/04), 200–217. <https://doi.org/10.1055/a-1543-5502>
- Feng, J., Lu, M., Wang, J., Zhang, H., Qiu, K., Qi, G., & Wu, S. (2021). Dietary oregano essential oil supplementation improves intestinal functions and alters gut microbiota in late-phase laying hens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00600-3>
- Ferreira De Oliveira, D., Casati, G., & Oliveira, C. R. (2022). Herbal medicines with possible actions on the immune system: A literature review. *Brazilian Journal of Natural Sciences*, 4(3), E165202. <https://doi.org/10.31415/bjns.v4i3.165>
- Fossum, O., Jansson, D. S., Etterlin, P. E., & Vågsholm, I. (2009). Causes of mortality in laying hens in different housing systems in 2001 to 2004. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 51(1), 3. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-51-3>
- G. Usha Kiran, S. Sujitha, P. Navya Sri, N. Gowthami, J. Sai Aruna Sahithi, & P. Charishma. (2023). A Comparative evaluation of anti-Bacterial activity using different brands of Curcumin against natural flora. *International Journal of Science and Research Archive*, 8(1), 427–434. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2023.8.1.0036>
- Gabriel, I., Alleman, F., Dufourcq, V., Perrin, F., & Gabarrou, J. F. (2013). Utilisation des huiles essentielles en alimentation des volailles.2. Hypothèses sur les modes d'action impliqués dans les effets observés. *INRAE Productions Animales*, 26(1), 13–24. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2013.26.1.3131>
- Gahamanyi, N., Song, D.-G., Yoon, K.-Y., Mboera, L. E. G., Matee, M. I., Mutangana, D., Amachawadi, R. G., Komba, E. V. G., & Pan, C.-H. (2021). Antimicrobial Resistance Profiles, Virulence Genes, and Genetic Diversity of Thermophilic Campylobacter Species Isolated From a Layer Poultry Farm in Korea. *Frontiers in Microbiology*, 12, 622275. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.622275>
- Gaillard, O. (2002). La procalcitonine (PCT). *Immuno-analyse & Biologie Spécialisée*, 17(2), 82–84. [https://doi.org/10.1016/S0923-2532\(02\)01181-X](https://doi.org/10.1016/S0923-2532(02)01181-X)
- Gao, F., Zhang, L., Li, H., Xia, F., Bai, H., Piao, X., Sun, Z., Cui, H., & Shi, L. (2022). Dietary Oregano Essential Oil Supplementation Influences Production Performance and Gut Microbiota in Late-Phase Laying Hens Fed Wheat-Based Diets. *Animals*, 12(21), 3007. <https://doi.org/10.3390/ani12213007>
- Gao, Z., Zheng, J., & Xu, G. (2025). Molecular Mechanisms and Regulatory Factors Governing Feed Utilization Efficiency in Laying Hens: Insights for Sustainable Poultry Production and Breeding Optimization. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(13), 6389. <https://doi.org/10.3390/ijms26136389>
- Gast, R. K., & Porter Jr, R. E. (2020). Salmonella infections. *Diseases of Poultry*, 717–753.
- Gautron, J., Stapane, L., Le Roy, N., Nys, Y., Rodriguez-Navarro, A. B., & Hincke, M. T. (2021). Correction to: Avian eggshell biomineralization: an update on its structure, mineralogy and protein tool kit. *BMC Molecular and Cell Biology*, 22(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s12860-021-00351-z>
- Gerzilov, V., Bozakova, N., & Petrov, P. (2015). Influence of Dietary Zinc and Vitamin C Supplementation on Some Blood Biochemical Parameters and Egg Production in Free-Range Laying Hens. *Journal of Central European Agriculture*, 16(1), 208–218. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/16.1.1566>

- Giambrone, J. J., Eidson, C. S., & Kleven, S. H. (1977). Effect of Infectious Bursal Disease on the Response of Chickens to *Mycoplasma synoviae*, Newcastle Disease Virus, and Infectious Bronchitis Virus. *American Journal of Veterinary Research*, 38(2), 251–253. <https://doi.org/10.2460/ajvr.1977.38.02.251>
- Giangaspero, M. (2013). Phytotherapy and Prevention of *Campylobacter*. *Tropical Medicine & Surgery*, 1(7). <https://doi.org/10.4172/2329-9088.1000e110>
- Gibson, G. R., & Fuller, R. (2000). Aspects of In Vitro and In Vivo Research Approaches Directed Toward Identifying Probiotics and Prebiotics for Human Use. *The Journal of Nutrition*, 130(2), 391S–395S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.2.391S>
- Gloux, A., Duclos, M. J., Brionne, A., Bourin, M., Nys, Y., & Réhault-Godbert, S. (2019). Integrative analysis of transcriptomic data related to the liver of laying hens: From physiological basics to newly identified functions. *BMC Genomics*, 20(1), 821. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6185-0>
- Godoy, A., Icard, A., Martinez, M., Mashchenko, A., García, M., & El-Attrache, J. (2013). Detection of Infectious Laryngotracheitis Virus Antibodies by Glycoprotein-Specific ELISAs in Chickens Vaccinated with Viral Vector Vaccines. *Avian Diseases*, 57(2s1), 432–436. <https://doi.org/10.1637/10345-090312-Reg.1>
- Gonçalves, F. M., Ribeiro, É. D. M., Montagner, P., Lopes, M. S., Anciuti, M. A., Gentilini, F. P., Del Pino, F. A. B., & Corrêa, M. N. (2018). Níveis séricos de enzimas hepáticas em poedeiras comerciais no pré-pico e pico de produção de ovos. *Acta Scientiae Veterinariae*, 38(3), 311. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.17512>
- Gray, P., Jenner, R., Norris, J., Page, S., Browning, G., & the Australian Veterinary Association Ltd and Animal Medicines Australia. (2021). Antimicrobial prescribing guidelines for poultry. *Australian Veterinary Journal*, 99(6), 181–235. <https://doi.org/10.1111/avj.13034>
- Gretarsson, P., Kittelsen, K., Moe, R. O., Vasdal, G., & Toftaker, I. (2023). End of lay postmortem findings in aviary housed laying hens. *Poultry Science*, 102(2), 102332. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102332>
- Grobos, S., Mendez, J., De Blas, C., & Mateos, G. (1999). Laying hen productivity as affected by energy, supplemental fat, and linoleic acid concentration of the diet. *Poultry Science*, 78(11), 1542–1551. <https://doi.org/10.1093/ps/78.11.1542>
- Gu, Y. F., Chen, Y. P., Jin, R., Wang, C., Wen, C., & Zhou, Y. M. (2021). Age-related changes in liver metabolism and antioxidant capacity of laying hens. *Poultry Science*, 100(12), 101478. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101478>
- Guard-Bouldin, J., & Buhr, R. J. (2006). Evaluation of Eggshell Quality of Hens Infected with *Salmonella enteritidis* by Application of Compression. *Poultry Science*, 85(1), 129–135. <https://doi.org/10.1093/ps/85.1.129>
- Gul, M., Yilmaz, E., Yildirim, B. A., Sezmis, G., Kaya, A., Timurkaan, S., Onel, S. E., & Tekce, E. (2019). Effects of oregano essential oil (*Origanum syriacum* L.) on performance, egg quality, intestinal morphology and oxidative stress in laying hens. *European Poultry Science*, 83, 1–15. <https://doi.org/10.1399/eps.2019.290>
- Gutiérrez-Grijalva, E., Picos-Salas, M., Leyva-López, N., Criollo-Mendoza, M., Vazquez-Olivo, G., & Heredia, J. (2017). Flavonoids and Phenolic Acids from Oregano: Occurrence, Biological Activity and Health Benefits. *Plants*, 7(1), 2. <https://doi.org/10.3390/plants7010002>

- Hadef, S., Lezzar, N., & Hadef, A. (2023, December 17). *Importance de la phytothérapie dans la filière avicole*. National Conference on Phytobiotechnology, University of Chadli Bendjedid-El-Tarf.
- Hadef, S., Lezzar, N., Hamlaoui, M. W., & Hadef, A. (2025). Metabolic and Endocrine Markers of Oregano Essential Oil Effects on Antibacterial Immunity, Reproductive Function, Nutritional Status, and Production Performance of Late-Phase Laying Hens. *Veterinary Sciences*, 12(12), 1213. <https://doi.org/10.3390/vetsci12121213>
- Hald, T., Vose, D., & Wegener, H. (2001). *Quantifying the contribution of animal-food sources to human salmonellosis in Denmark in 1999*.
- Hamlaoui, M. W., Hadef, A., Rostane Meklati, F., Alleg, M., & Ghouila, B. (2021). In Vivo Effect of Origanum vulgare Essential Oil on Microbiological Quality of Raw Milk from Subclinical Mastitis Affected Cows. *The Journal "Agriculture and Forestry,"* 67(3). <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.67.3.07>
- Han, G. P., Kim, J. H., Kim, J.-M., & Kil, D. Y. (2023). Transcriptomic analysis of the liver in aged laying hens with different eggshell strength. *Poultry Science*, 102(1), 102217. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102217>
- Hanlon, C., Ziezold, C. J., & Bédécarrats, G. Y. (2022). The Diverse Roles of 17 β -Estradiol in Non-Gonadal Tissues and Its Consequential Impact on Reproduction in Laying and Broiler Breeder Hens. *Frontiers in Physiology*, 13, 942790. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.942790>
- Harper, M., Boyce, J. D., & Adler, B. (2006). Pasteurella multocida pathogenesis: 125 years after Pasteur: Pasteurella multocida pathogenesis. *FEMS Microbiology Letters*, 265(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2006.00442.x>
- Herdiana, Y., Wathoni, N., Sriwidodo, S., & Adnyane, I. K. M. (2021). Veterinary Drug Development from Indonesian Herbal Origin: Challenges and Opportunities. *Indonesian Journal of Pharmaceutics*, 3(1), 26. <https://doi.org/10.24198/idjp.v3i1.33632>
- Herrera-Sánchez, M. P., Rodríguez-Hernández, R., & Rondón-Barragán, I. S. (2024). Stress-Related Gene Expression in Liver Tissues from Laying Hens Housed in Conventional Cage and Cage-Free Systems in the Tropics. *Veterinary Medicine International*, 2024(1), 4107326. <https://doi.org/10.1155/2024/4107326>
- Hess, M., Neubauer, C., & Hackl, R. (2007). Interlaboratory comparison of ability to detect nucleic acid of *Mycoplasma gallisepticum* and *Mycoplasma synoviae* by polymerase chain reaction. *Avian Pathology*, 36(2), 127–133. <https://doi.org/10.1080/03079450701203082>
- Hrabak, J., Bitar, I., & Papagiannitsis, C. C. (2020). Combination of mass spectrometry and DNA sequencing for detection of antibiotic resistance in diagnostic laboratories. *Folia Microbiologica*, 65(2), 233–243. <https://doi.org/10.1007/s12223-019-00757-5>
- Hrabia, A., Sechman, A., & Rzaša, J. (2012). Independent, Non-IGF-I Mediated, GH Action on Estradiol Secretion by Prehierarchical Ovarian Follicles in Chicken. In vitro Study. *Folia Biologica*, 60(3), 213–217. https://doi.org/10.3409/fb60_3-4.213-217
- Hy-Line International. (2024). *Online Management Guide for Hy-Line Brown Commercial Layers*. Hy-Line-International. <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/Brown/BRN%20STD%20ENG.pdf>

- Hy-Line-International. (2016). *Proper Collection and Handling of Diagnostic Samples Part One: Serology and Blood Collection*. Hy-Line-International.
<https://www.hyline.com/Upload/Resources/TU%20SER1%20ENG.pdf>
- Imperial, I. C. V. J., & Ibana, J. A. (2016). Addressing the Antibiotic Resistance Problem with Probiotics: Reducing the Risk of Its Double-Edged Sword Effect. *Frontiers in Microbiology*, 07.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01983>
- Indikova, I., Humphrey, T. J., & Hilbert, F. (2015). Survival with a Helping Hand: Campylobacter and Microbiota. *Frontiers in Microbiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01266>
- Ioannou, F., Burnsteel, C., Mackay, D. K. J., & Gay, C. G. (2018). Regulatory pathways to enable the licencing of alternatives to antibiotics. *Biologicals*, 53, 72–75. <https://doi.org/10.1016/j.biologicals.2018.03.003>
- İpçak, H. H., Denli, M., Yokuş, B., & Bademkiran, S. (2025). The Impact of Dietary Encapsulated Fennel Seed (*Foeniculum vulgare* Mill.) Essential Oil Inclusion Levels on Performance, Serum Hormone Profiles, and Expression of Reproductive Axis-Related Genes in the Early and Late Laying Phases of Hens. *Veterinary Medicine and Science*, 11(1), e70150. <https://doi.org/10.1002/vms3.70150>
- Jamil, M., Aleem, M. T., Shaukat, A., Khan, A., Mohsin, M., Rehman, T. U., Abbas, R. Z., Saleemi, M. K., Khatoon, A., Babar, W., Yan, R., & Li, K. (2022). Medicinal Plants as an Alternative to Control Poultry Parasitic Diseases. *Life*, 12(3), 449. <https://doi.org/10.3390/life12030449>
- Jansen, I., Lucas, M., Savci-Heijink, C. D., Meijer, S. L., Marquering, H. A., De Bruin, D. M., & Zondervan, P. J. (2018). Histopathology: Ditch the slides, because digital and 3D are on show. *World Journal of Urology*, 36(4), 549–555. <https://doi.org/10.1007/s00345-018-2202-1>
- Jaworska, D., Rosiak, E., Kostyra, E., Jaszczuk, K., Wroniszewska, M., & Przybylski, W. (2021). Effect of Herbal Addition on the Microbiological, Oxidative Stability and Sensory Quality of Minced Poultry Meat. *Foods*, 10(7), 1537. <https://doi.org/10.3390/foods10071537>
- Jiang, X., Mu, H., Hsieh, Y.-H. P., & Rao, Q. (2022). Isolation and Characterization of Chicken Serum Albumin (Hen Egg Alpha-Livetin, Gal d 5). *Foods*, 11(11), 1637. <https://doi.org/10.3390/foods11111637>
- Johnson, A. M., Anderson, G., Arguelles-Ramos, M., & Ali, A. A. B. (2022). Effect of dietary essential oil of oregano on performance parameters, gastrointestinal traits, blood lipid profile, and antioxidant capacity of laying hens during the pullet phase. *Frontiers in Animal Science*, 3, 1072712. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.1072712>
- Johnson, A. M., Anderson, M. G., Arguelles-Ramos, M., & Ali, A. B. A. (2025). The effects of dietary oregano essential oil on production, blood parameters, and egg quality of laying hens during the early lay phase. *Animal - Open Space*, 4, 100090. <https://doi.org/10.1016/j.anopes.2024.100090>
- Johnson, A. M., Charre-Perales, J., Todd, A., Arguelles-Ramos, M., & Ali, A. A. B. (2024). The impact of dietary oregano essential oil supplementation on fatty acid composition and lipid stability in eggs stored at room temperature*. *British Poultry Science*, 65(3), 242–249. <https://doi.org/10.1080/00071668.2024.2326886>
- Jones, P. J., Niemi, J., Christensen, J.-P., Tranter, R. B., & Bennett, R. M. (2019). A review of the financial impact of production diseases in poultry production systems. *Animal Production Science*, 59(9), 1585–1597. <https://doi.org/10.1071/AN18281>

- Joshi, D., Roy, S., & Banerjee, S. (2018). Prebiotics. In *Natural Products and Drug Discovery* (pp. 507–523). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102081-4.00019-8>
- Joshi, P. S., Patil, Y. B., Nagarkar, B., Paul, T. S., & Apte, K. G. (2021). In Vivo Phytotherapy in BALB/c Athymic Nude Mice: Hair Growth Promotion using *Ficus religiosa* L. and *Morus alba* L. *Journal of Natural Remedies*, 21(1), 51. <https://doi.org/10.18311/jnr/2021/26255>
- Kalla, M. I., Lahmar, B., Geullouh, S., & Kalla, M. (2022). Health geo-governance to assess the vulnerability of Batna, Algeria to COVID-19: The role of GIS in the fight against a pandemic. *GeoJournal*, 87(5), 3607–3620. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10449-8>
- Kamel, K., Merghad, A., Barour, D., Gherissi, D. E., & Khenenou, T. (2024). High antimicrobial resistance rates and multidrug resistance in Enterobacteriaceae isolates from poultry in Souk Ahras region, Algeria. *Veterinary World*, 2709–2718. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.2709-2718>
- Kaneko, J. J., Harvey, J. W., & Bruss, M. (2008). Veterinary clinical biochemistry of domestic animals. *London i Dr: Academic Press*,.
- Kapitonova, E. A., & Czerwinski, A. Y. (2022). THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF NEW ENZYME ADDITIVES IN POULTRY FARMING. *Zootechnical Science of Belarus*, 57(1), 199–204. <https://doi.org/10.47612/0134-9732-2022-57-1-199-204>
- Kapoor, G., Saigal, S., & Elongavan, A. (2017). Action and resistance mechanisms of antibiotics: A guide for clinicians. *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology*, 33(3), 300. https://doi.org/10.4103/joacp.JOACP_349_15
- Karadağoglu, Ö., Özsoy, B., Ölmez, M., Aydın, Ö. D., & Şahin, T. (2018). The effects of drinking water supplemented with essential oils on performance, egg quality and egg yolk fatty acid composition in laying hens. *Acta Veterinaria Eurasia*, 44(2), 85–92.
- Karakan, T., Tuohy, K. M., & Janssen-van Solingen, G. (2021). Low-Dose Lactulose as a Prebiotic for Improved Gut Health and Enhanced Mineral Absorption. *Frontiers in Nutrition*, 8, 672925. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.672925>
- Karangiya, V. K., Savsani, H. H., Patil, S. S., Garg, D. D., Murthy, K. S., Ribadiya, N. K., & Vekariya, S. J. (2016). Effect of dietary supplementation of garlic, ginger and their combination on feed intake, growth performance and economics in commercial broilers. *Veterinary World*, 9(3), 245–250. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.245-250>
- Kasmi, Y., Heleili, N., Ahmed Gaid, Z., Hamad, B., Hadeif, L., & Merradi, M. (2025). Commercial laying hen farms' general characteristics, environmental management, and biosecurity practices in the sub-arid area of Algeria. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*, 55(4), 1–10. <https://doi.org/10.56808/2985-1130.3932>
- Kasmi, Y., Heleili, N., Gaid, Z. A., Hamad, B., Hadeif, L., Merradi, M., & Rouabah, Z. (2026). Feeding Practices and Production Performance of Commercial Laying Hen Farms in the Northeast of Algeria. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, (Of). <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DRF-612>
- Kaspers, B., Schat, K. A., Göbel, T., & Vervelde, L. (2021). *Avian immunology*. Academic Press.
- Khairullah, A. R., Afrani, D. A., Riwu, K. H. P., Widodo, A., Yanestria, S. M., Moses, I. B., Effendi, M. H., Ramandinianto, S. C., Wibowo, S., Fauziah, I., Kusala, M. K. J., Fauzia, K. A., Furqoni, A. H., & Raissa, R. (2024). Avian pathogenic Escherichia coli: Epidemiology, virulence and pathogenesis,

- diagnosis, pathophysiology, transmission, vaccination, and control. *Veterinary World*, 2747–2762. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.2747-2762>
- Khan, S. H., & Iqbal, J. (2016). Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition. *Journal of Applied Animal Research*, 44(1), 359–369. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1079527>
- Khattak, F. M., Pasha, T. N., Hayat, Z., & Mahmud, A. (2006). Enzymes in poultry nutrition. *J. Anim. Pl. Sci*, 16(1–2), 1–7.
- Khouatmiani, K., Belhadj, S., Tonetto, A., Assie, A., Mevy, J. P., & Gauquelin, T. (2021). Variability of eight Algerian oleaster ecotypes (*Olea europaea* subsp. *europaea* var. *sylvestris* [Mill.] Lehr): Pollen and exine morphology in relation to geo-climatic effect. *Grana*, 60(4), 256–270. <https://doi.org/10.1080/00173134.2020.1815832>
- Kleven, S. H., & Ferguson-Noel, N. (2008). Mycoplasma synoviae infection. In *Diseases of Poultry* (YM Saif, Vol. 12, pp. 862–864). Blackwell Publishing.
- Kleven, S. H., Khan, M. I., & Yamamoto, R. (1990). Fingerprinting of Mycoplasma gallisepticum Strains Isolated from Multiple-Age Layers Vaccinated with Live F Strain. *Avian Diseases*, 34(4), 984. <https://doi.org/10.2307/1591393>
- Kolb, C., & Aziz-Kalbhenn, H. (2022). Stress symptoms: Evidence supporting a phytopharmaceutical product with new marketing authorisation in Germany. *Evidence for Self-Medication*, 2. <https://doi.org/10.52778/efsm.22.0039>
- Kolida, S., & Gibson, G. R. (2011). Synbiotics in Health and Disease. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2(1), 373–393. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022510-133739>
- Kraus, A., Zita, L., Kront, O., Härtlová, H., & Chmelíková, E. (2021). Determination of selected biochemical parameters in blood serum and egg quality of Czech and Slovak native hens depending on the housing system and hen age. *Poultry Science*, 100(2), 1142–1153. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.039>
- Kromann, S., & Jensen, H. E. (2022). In vivo models of Escherichia coli infection in poultry. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 64(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s13028-022-00652-z>
- Kurt, T., Wong, N., Fowler, H., Gay, C., Lillehoj, H., Plummer, P., Scott, H. M., & Hoelzer, K. (2019). Strategic Priorities for Research on Antibiotic Alternatives in Animal Agriculture—Results From an Expert Workshop. *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 429. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00429>
- Lamuno, D., Mészáros, G., Ellen, E. D., & Sölkner, J. (2017). Survival analysis of white leghorn laying hens in the early and late production period. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 82(2), 179–183.
- Landman, W. J., & Cornelissen, R. A. (2006). Escherichia coli salpingitis and peritonitis in layer chickens: An overview. *Tijdschrift Voor Diergeneeskunde*, 131(22), 814–822.
- Landman, W. J. M. (2014). Is Mycoplasma synoviae outrunning Mycoplasma gallisepticum ? A viewpoint from the Netherlands. *Avian Pathology*, 43(1), 2–8. <https://doi.org/10.1080/03079457.2014.881049>
- Landman, W. J. M., & Feberwee, A. (2012). Longitudinal field study on the occurrence of Mycoplasma synoviae in Dutch turkey flocks with lameness and experimental induction of the condition. *Avian Pathology*, 41(2), 141–149. <https://doi.org/10.1080/03079457.2011.652595>
- Landman, W. J. M., Heuvelink, A., & Van Eck, J. H. H. (2013). Reproduction of the Escherichia coli peritonitis syndrome in laying hens. *Avian Pathology*, 42(2), 157–162. <https://doi.org/10.1080/03079457.2013.775694>

- Latifah, S., Hartini, K. S., Sadeli, A., & Yuandani. (2021). Identification of medicinal plants used by the community for indigenous poultry health management. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1122(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1122/1/012045>
- Laurain-Mattar, D., Couic-Marinier, F., & Aribi-Zouioueche, L. (2022). Huile essentielle d'Origan vulgaire. *Actualités Pharmaceutiques*, 61(619), 57–59. <https://doi.org/10.1016/j.actpha.2022.07.047>
- Leonida, A. M. G., & Caballero, A. R. (2022). Aleaf: An Android-Based Phytotherapy Leaf Recognition Using Custom Vision Machine Learning. *2022 7th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR)*, 488–493. <https://doi.org/10.1109/ICBIR54589.2022.9786509>
- Ley, D. H., & Yoder Jr, H. W. (2008). Mycoplasma gallisepticum infection. *Diseases of Poultry*, 12, 807–834.
- Li, D., Zhong, C., Sun, Y., Kang, L., & Jiang, Y. (2023). Identification of genes involved in chicken follicle selection by ONT sequencing on granulosa cells. *Frontiers in Genetics*, 13, 1090603. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1090603>
- Liebana, E., Garcia-Migura, L., Clouting, C., Clifton-Hadley, F. A., Breslin, M., & Davies, R. H. (2003). Molecular fingerprinting evidence of the contribution of wildlife vectors in the maintenance of Salmonella Enteritidis infection in layer farms: SALMONELLA RESERVOIRS ON EGG PRODUCTION. *Journal of Applied Microbiology*, 94(6), 1024–1029. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01924.x>
- Liebhart, D., Bilic, I., Grafl, B., Hess, C., & Hess, M. (2023a). Diagnosing Infectious Diseases in Poultry Requires a Holistic Approach: A Review. *Poultry*, 2(2), 252–280. <https://doi.org/10.3390/poultry2020020>
- Liebhart, D., Bilic, I., Grafl, B., Hess, C., & Hess, M. (2023b). Diagnosing Infectious Diseases in Poultry Requires a Holistic Approach: A Review. *Poultry*, 2(2), 252–280. <https://doi.org/10.3390/poultry2020020>
- Lin, H.-C., Caldwell, F., & Pugh, D. G. (2012). *Chapter 18—Anesthetic Management* (D. G. Pugh, A. N. B. T.-S. Baird, & G. M. (Second Edition), Eds.; pp. 517–538). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-2353-3.10018-6>
- Linh, N. T., Qui, N. H., & Triatmojo, A. (2022). The Effect of Nano-Encapsulated Herbal Essential Oils on Poultry's Health. *Archives of Razi Institute*, 77(6). <https://doi.org/10.22092/ari.2022.358842.2318>
- Lu, J., Zhang, X., Wang, Q., Ma, M., Li, Y. F., Guo, J., Wang, X. G., Dou, T. C., Hu, Y. P., Wang, K. H., & Qu, L. (2024). Effects of exogenous energy on synthesis of steroid hormones and expression characteristics of the CREB/StAR signaling pathway in theca cells of laying hen. *Poultry Science*, 103(3), 103414. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103414>
- MacOwan, K. J., Atkinson, M. J., Bell, M. A., Brand, T. F., & Randall, C. J. (1984). Egg transmission of a respiratory isolate of *Mycoplasma synoviae* and infection of the chicken embryo. *Avian Pathology*, 13(1), 51–58. <https://doi.org/10.1080/03079458408418507>
- Magnuson, A. D. (2015). *Novel Biomarkers for Calcium and Phosphorus Metabolism in Breeder Hens and Broilers* [Graduate Theses and Dissertations, University of Arkansas]. <https://scholarworks.uark.edu/etd/1287>

- Magtalas, T. J., & Anapi, G. R. (2025). Evaluation of Bacteriostatic Effect of Rosemary and Oregano Essential Oils Against a Non-Pathogenic Surrogate of Salmonella spp. (E. coli ATCC 9637). *The 5th International Electronic Conference on Foods*, 7. <https://doi.org/10.3390/blsf2024040007>
- Mann, K., & Mann, M. (2008). The chicken egg yolk plasma and granule proteomes. *PROTEOMICS*, 8(1), 178–191. <https://doi.org/10.1002/pmic.200700790>
- Mansouri, N., Aoun, L., Dalichaouche, N., & Hadri, D. (2018). Yields, chemical composition, and antimicrobial activity of two Algerian essential oils against 40 avian multidrug-resistant Escherichia coli strains. *Veterinary World*, 11(11), 1539–1550. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.1539-1550>
- Matera, R., Lucchi, E., & Valgimigli, L. (2023). Plant Essential Oils as Healthy Functional Ingredients of Nutraceuticals and Diet Supplements: A Review. *Molecules*, 28(2), 901. <https://doi.org/10.3390/molecules28020901>
- Matole, V., Thorat, Y., Ghurghure, S., Ingle, S., Birajdar, A., Nangare, G., Safwan, M., Madur, S., Patil, S., Bagalkote, Z., & Sakhare, A. (2021). A Brief Review on Herbal Medicines. *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 101–102. <https://doi.org/10.52711/0975-4385.2021.00016>
- McMullin, P. F. (2020). Diseases of poultry 14th edition: David E. Swayne, Martine Boulianne, Catherine M. Logue, Larry R. McDougald, Venugopal Nair, David L. Suarez, Sjaak de Wit, Tom Grimes, Deirdre Johnson, Michelle Kromm, Teguh Yodiantara Prajitno, Ian Rubinoff & Guillermo Zavala (Eds.), Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2020, 1451 pp., £190 (hardcover)/£171.99 (e-book), ISBN 9781119371168. *Avian Pathology*, 49(5), 526–526. <https://doi.org/10.1080/03079457.2020.1794237>
- Mebkhout, F., Khelifi Touhami, N. A., Ouchene, N., Dahmane, T., Hamdi, T. M., & Kessi, O. (2022). Evaluation of bacterial contamination of laying hen eggshells by using a classic and fast method: First report in Algeria. *Agricultural Science and Technology*, 14(4), 49–56. <https://doi.org/10.15547/ast.2022.04.049>
- Migliorini, M. J., Boiago, M. M., Roza, L. F., Barreta, M., Arno, A., Robazza, W. S., Galvão, A. C., Galli, G. M., Machado, G., Baldissera, M. D., Wagner, R., Stefani, L. C. M., & Silva, A. S. D. (2019). Oregano essential oil (Origanum vulgare) to feed laying hens and its effects on animal health. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 91(1), e20170901. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920170901>
- Migliorini, M. J., Boiago, M. M., Stefani, L. M., Zampar, A., Roza, L. F., Barreta, M., Arno, A., Robazza, W. S., Giuriatti, J., Galvão, A. C., Boscatto, C., Paiano, D., Da Silva, A. S., & De C. Tavernari, F. (2019). Oregano essential oil in the diet of laying hens in winter reduces lipid peroxidation in yolks and increases shelf life in eggs. *Journal of Thermal Biology*, 85, 102409. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102409>
- Ministry of Agriculture and Rural Development. (2021). *Statistique agricole, Superficies et productions, SERIE “B” 2019* (p. 87). M.A.R.D. <https://madr.gov.dz/wp-content/uploads/2022/04/SERIE-B-2019.pdf>
- Mir, I. N., & Bhat, I. A. (2021). Modulation of Hypothalamic-Pituitary-Gonadal (HPG) Axis by Phytotherapy Using Different Delivery Approaches. In J. K. Sundaray, M. A. Rather, S. Kumar, & D. Agarwal (Eds.), *Recent updates in molecular Endocrinology and Reproductive Physiology of Fish* (pp. 229–242). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8369-8_16

- Mohamed, M. R., Mohammed, Z., Olfa, B. B., Mohammed, B., & Hamid, H. A. (2021). ANTIMICROBIALS USE IN BROILER CHICKEN BREEDING: CASE OF THE AIN DEFLA PROVINCE (ALGERIA). *PLANT ARCHIVES*, 21(2). <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.no2.046>
- Mohammed, H. O., Carpenter, T. E., & Yamamoto, R. (1987). Economic Impact of *Mycoplasma gallisepticum* and *M. synoviae* in Commercial Layer Flocks. *Avian Diseases*, 31(3), 477. <https://doi.org/10.2307/1590727>
- Mokrane, Z., Boudjenah, M., Belkacem, Y., Morsli, E. H., Inal, A., & Bouarab, F. (2019). Report on the Diatoms and Dinoflagellates Distribution along the Algerian Coasts: Inter-Region Comparison. *Journal of Resources and Ecology*, 10(4), 432. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2019.04.010>
- Mollenhorst, H., Van Woudenberg, C. J., Bokkers, E. G. M., & De Boer, I. J. M. (2005). Risk factors for *Salmonella enteritidis* infections in laying hens. *Poultry Science*, 84(8), 1308–1313. <https://doi.org/10.1093/ps/84.8.1308>
- Momot, N. V., Kolina, Y. A., & Kamli, I. L. (2023). Vitamin preparations for poultry farming. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1206(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1206/1/012035>
- Moya, F., Nieto, A., & R-Candela, J. L. (1975). Calcitonin Biosynthesis: Evidence for a Precursor. *European Journal of Biochemistry*, 55(2), 407–413. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1975.tb02176.x>
- Mughini-Gras, L., Enserink, R., Friesema, I., Heck, M., Van Duynhoven, Y., & Van Pelt, W. (2014). Risk Factors for Human Salmonellosis Originating from Pigs, Cattle, Broiler Chickens and Egg Laying Hens: A Combined Case-Control and Source Attribution Analysis. *PLoS ONE*, 9(2), e87933. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087933>
- Mulchandani, R., Wang, Y., Gilbert, M., & Van Boeckel, T. P. (2023). Global trends in antimicrobial use in food-producing animals: 2020 to 2030. *PLOS Global Public Health*, 3(2), e0001305. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0001305>
- Naeem, M., & Bourassa, D. (2025). Probiotics in Poultry: Unlocking Productivity Through Microbiome Modulation and Gut Health. *Microorganisms*, 13(2), 257. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13020257>
- Nam, S., Chong, Y., Jung, C. K., Kwak, T.-Y., Lee, J. Y., Park, J., Rho, M. J., & Go, H. (2020). Introduction to digital pathology and computer-aided pathology. *Journal of Pathology and Translational Medicine*, 54(2), 125–134. <https://doi.org/10.4132/jptm.2019.12.31>
- Nazar, N., Howard, C., Slater, A., & Sgamma, T. (2022). Challenges in Medicinal and Aromatic Plants DNA Barcoding—Lessons from the Lamiaceae. *Plants*, 11(1), 137. <https://doi.org/10.3390/plants11010137>
- Neethirajan, S. (2022). Automated Tracking Systems for the Assessment of Farmed Poultry. *Animals*, 12(3), 232. <https://doi.org/10.3390/ani12030232>
- Neubauer, C., De Souza-Pilz, M., Bojesen, A. M., Bisgaard, M., & Hess, M. (2009). Tissue distribution of haemolytic *Gallibacterium anatis* isolates in laying birds with reproductive disorders. *Avian Pathology*, 38(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/03079450802577848>
- Neumann, U., & Witter, R. L. (1979). Differential Diagnosis of Lymphoid Leukosis and Marek's Disease by Tumor-Associated Criteria I. Studies on Experimentally Infected Chickens. *Avian Diseases*, 23(2), 417. <https://doi.org/10.2307/1589572>

- Nhan, T., Legros, A., Mariotte, D., Fradin, S., & Allouche, S. (2009). Interférence lors du dosage de la procalcitonine par la méthode rapide PCT®-Q Brahms®. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2009(412), 59–61. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(09\)73937-1](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(09)73937-1)
- Nhung, N. T., Chansiripornchai, N., & Carrique-Mas, J. J. (2017). Antimicrobial Resistance in Bacterial Poultry Pathogens: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*, 4, 126. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00126>
- Ni, Y., Zhu, Q., Zhou, Z., Grossmann, R., Chen, J., & Zhao, R. (2007). Effect of Dietary Daidzein on Egg Production, Shell Quality, and Gene Expression of ER- α , GH-R, and IGF-IR in Shell Glands of Laying Hens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(17), 6997–7001. <https://doi.org/10.1021/jf071085r>
- Niewold, T. A. (2007). The Nonantibiotic Anti-Inflammatory Effect of Antimicrobial Growth Promoters, the Real Mode of Action? A Hypothesis. *Poultry Science*, 86(4), 605–609. <https://doi.org/10.1093/ps/86.4.605>
- Niu, Y. D., Johnson, R. P., Xu, Y., McAllister, T. A., Sharma, R., Louie, M., & Stanford, K. (2009). Host range and lytic capability of four bacteriophages against bovine and clinical human isolates of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Applied Microbiology*, 107(2), 646–656. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04231.x>
- Nunoya, T., Kanai, K., Yagihashi, T., Hoshi, S., Shibuya, K., & Tajima, M. (1997). Natural case of salpingitis apparently caused by *Mycoplasma gallisepticum* in chickens. *Avian Pathology*, 26(2), 391–398. <https://doi.org/10.1080/03079459708419221>
- OIE, A. H. S. (2008). Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals. *Office International Des Epizooties, Paris, France, 2002*, 1092–1106.
- Olanrewaju, H. A., Miller, W. W., Maslin, W. R., Collier, S. D., Purswell, J. L., & Branton, S. L. (2019). Interactive effects of light-sources, photoperiod, and strains on growth performance, carcass characteristics, and health indices of broilers grown to heavy weights. *Poultry Science*, 98(12), 6232–6240. <https://doi.org/10.3382/ps/pez476>
- Olsen, A. R., & Hammack, T. S. (2000). Isolation of Salmonella spp. from the Housefly, *Musca domestica* L., and the Dump Fly, *Hydrotaea aenescens* (Wiedemann) (Diptera: Muscidae), at Caged-Layer Houses. *Journal of Food Protection*, 63(7), 958–960. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-63.7.958>
- O'Neill, J. (2016). *Review on antimicrobial resistance: Tackling drug-resistant infections globally: Final report and recommendations*.
- Oni, A. I., & Oke, O. E. (2025). Gut health modulation through phytonics in poultry: Mechanisms, benefits, and applications. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1616734. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1616734>
- Orzuna-Orzuna, J. F., & Lara-Bueno, A. (2023). Essential Oils as a Dietary Additive for Laying Hens: Performance, Egg Quality, Antioxidant Status, and Intestinal Morphology: A Meta-Analysis. *Agriculture*, 13(7), 1294. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071294>
- Ozaki, H., & Murase, T. (2009). Multiple Routes of Entry for *Escherichia coli* Causing Colibacillosis in Commercial Layer Chickens. *Journal of Veterinary Medical Science*, 71(12), 1685–1689. <https://doi.org/10.1292/jvms.001685>

- Özek, K., Wellmann, K., Ertekin, B., & Tarım, B. (2011). Effects of dietary herbal essential oil mixture and organic acid preparation on laying traits, gastrointestinal tract characteristics, blood parameters and immune response of laying hens in a hot summer season. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 20(4), 575–586. <https://doi.org/10.22358/jafs/66216/2011>
- Pandey, A. K., Kumar, P., & Saxena, M. J. (2019). Feed Additives in Animal Health. In R. C. Gupta, A. Srivastava, & R. Lall (Eds.), *Nutraceuticals in Veterinary Medicine* (pp. 345–362). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04624-8_23
- Paudel, R., Dogra, P., Montgomery-Yates, A. A., & Coz Yataco, A. (2020). Procalcitonin: A promising tool or just another overhyped test? *International Journal of Medical Sciences*, 17(3), 332–337. <https://doi.org/10.7150/ijms.39367>
- Pavlík, A., Pokludová, M., Zapletal, D., & Jelínek, P. (2007). Effects of Housing Systems on Biochemical Indicators of Blood Plasma in Laying Hens. *Acta Veterinaria Brno*, 76(3), 339–347. <https://doi.org/10.2754/avb200776030339>
- Pearlin, B. V., Muthuvel, S., Govidasamy, P., Villavan, M., Alagawany, M., Ragab Farag, M., Dhama, K., & Gopi, M. (2020). Role of acidifiers in livestock nutrition and health: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(2), 558–569. <https://doi.org/10.1111/jpn.13282>
- Pirgozliev, V., Bravo, D., Mirza, M. W., & Rose, S. P. (2015). Growth performance and endogenous losses of broilers fed wheat-based diets with and without essential oils and xylanase supplementation. *Poultry Science*, 94(6), 1227–1232. <https://doi.org/10.3382/ps/peu017>
- Prakash, O., Chandra, M., Pant, A. K., & Rawat, D. S. (2016). Mint (*Mentha spicata* L.) Oils. In *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* (pp. 561–572). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00064-X>
- Qaisrani, S. N., Van Krimpen, M. M., Kwakkel, R. P., Verstegen, M. W. A., & Hendriks, W. H. (2015). Diet structure, butyric acid, and fermentable carbohydrates influence growth performance, gut morphology, and cecal fermentation characteristics in broilers. *Poultry Science*, 94(9), 2152–2164. <https://doi.org/10.3382/ps/pev003>
- Quattrone, A., Picozzi, I., Lubian, E., Fehri, N. E., Menchetti, L., Barbato, O., Vigo, D., Agradi, S., Sulçe, M., Faustini, M., Ozuni, E., Bixheku, X., Brecchia, G., & Curone, G. (2025). Blood Glucose in Birds: Another Way to Think About “Normal” Glycemia and Diabetes Mellitus in Animals. *Diversity*, 17(5), 355. <https://doi.org/10.3390/d17050355>
- Rabelo-Ruiz, M., Ariza-Romero, J. J., Zurita-González, M. J., Martín-Platero, A. M., Baños, A., Maqueda, M., Valdivia, E., Martínez-Bueno, M., & Peralta-Sánchez, J. M. (2021). Allium-Based Phytobiotic Enhances Egg Production in Laying Hens through Microbial Composition Changes in Ileum and Cecum. *Animals*, 11(2), 448. <https://doi.org/10.3390/ani11020448>
- Rahman, M., Fliss, I., & Biron, E. (2022). Insights in the Development and Uses of Alternatives to Antibiotic Growth Promoters in Poultry and Swine Production. *Antibiotics*, 11(6), 766. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11060766>
- Ramirez, S. Y., Peñuela-Sierra, L. M., & Ospina, M. A. (2021). Effects of oregano (*Lippia origanoides*) essential oil supplementation on the performance, egg quality, and intestinal morphometry of Isa Brown laying hens. *Veterinary World*, 14(3), 595–602. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.595-602>

- Randall, C. J., & Reece, R. L. (1996). *Color atlas of avian histopathology*. Mosby-Wolfe.
- Razin, S., Yogev, D., & Naot, Y. (1998). Molecular Biology and Pathogenicity of Mycoplasmas. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 62(4), 1094–1156. <https://doi.org/10.1128/MMBR.62.4.1094-1156.1998>
- Reece, R. L., Ireland, L., & Scott, P. C. (1986). Mycoplasmosis in racing pigeons. *Australian Veterinary Journal*, 63(5), 166–167. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1986.tb02962.x>
- Reshadi, H., Torki, M., & Mohammadi, H. (2020). Changes in performance, egg quality and blood parameters of laying hens fed selenium and oregano oil. *Animal Production Science*, 60(13), 1620. <https://doi.org/10.1071/AN19319>
- Rezzoug, M., Bakchiche, B., Gherib, A., & Elasri, O. (2020). Phytochemical Screening and Antioxidant Activities of Different Organic Extracts of Three Algerian Plants. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 10(2-s), 75–79. <https://doi.org/10.22270/jddt.v10i2-s.4038>
- Roberts, J. R., Souillard, R., & Bertin, J. (2011a). Avian diseases which affect egg production and quality. In *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products* (pp. 376–393). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.3.376>
- Roberts, J. R., Souillard, R., & Bertin, J. (2011b). Avian diseases which affect egg production and quality. In *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products* (pp. 376–393). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.3.376>
- Rocha, C. O., & Granato, A. C. (2021). Medicinal plants used in the phytotherapeutical treatment of urolithiasis in dogs – na integrative review. *Research, Society and Development*, 10(12), e501101220876. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20876>
- Salamon, I., & Hrytsyna, M. (2019). Veterinary Medicine and the Use of Medicinal Plants. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 21(94), 121–126. <https://doi.org/10.32718/nvlvet9422>
- Saleh, A. A., Hamed, S., Hassan, A. M., Amber, K., Awad, W., Alzawqari, M. H., & Shukry, M. (2021). Productive Performance, Ovarian Follicular Development, Lipid Peroxidation, Antioxidative Status, and Egg Quality in Laying Hens Fed Diets Supplemented with *Salvia officinalis* and *Origanum majorana* Powder Levels. *Animals*, 11(12), 3513. <https://doi.org/10.3390/ani11123513>
- Scanes, C. G., & Dridi, S. (2021). *Sturkie's avian physiology*. Academic Press.
- Schillings, J., Bennett, R., & Rose, D. C. (2021). Exploring the Potential of Precision Livestock Farming Technologies to Help Address Farm Animal Welfare. *Frontiers in Animal Science*, 2, 639678. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.639678>
- Schokker, D., Visscher, J., & Woelders, H. (2021). Changes in Blood Metabolites, Intestinal Microbiota Composition and Gene Expression of 95 Weeks Old Laying Hens Differing in Egg Production and Egg Breaking Strength. *Animals*, 11(11), 3012. <https://doi.org/10.3390/ani11113012>
- Scicutella, F., Mannelli, F., Daghighi, M., Viti, C., & Buccioni, A. (2021). Polyphenols and Organic Acids as Alternatives to Antimicrobials in Poultry Rearing: A Review. *Antibiotics*, 10(8), 1010. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10081010>
- Scott, K. P., Grimaldi, R., Cunningham, M., Sarbini, S. R., Wijeyesekera, A., Tang, M. L. K., Lee, J. C. -Y., Yau, Y. F., Ansell, J., Theis, S., Yang, K., Menon, R., Arfsten, J., Manurung, S., Gourineni, V., &

- Gibson, G. R. (2020). Developments in understanding and applying prebiotics in research and practice—An ISAPP conference paper. *Journal of Applied Microbiology*, 128(4), 934–949. <https://doi.org/10.1111/jam.14424>
- Shabbir, M. A. B., Shamim, M., Tahir, A. H., Sattar, A., Qin, W., Ahmad, W., Ahmad, W., Khan, F. A., & Ashraf, M. A. (2024). Potential of ZnO nanoparticles for multi-drug resistant Escherichia coli having CRISPR-Cas from poultry market in Lahore. *BMC Microbiology*, 24(1), 355. <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03462-7>
- Sharma, M. K., Dinh, T., & Adhikari, P. A. (2020). Production performance, egg quality, and small intestine histomorphology of the laying hens supplemented with phytogenic feed additive. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(2), 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.12.001>
- Sharma, V., Jakhar, K. K., Nehra, V., & Kumar, S. (2015). Biochemical studies in experimentally Escherichia coli infected broiler chicken supplemented with neem (Azadirachta indica) leaf extract. *Veterinary World*, 8(11), 1340–1345. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.1340-1345>
- Shivaprasad, H. L. (2000). Fowl typhoid and pullorum disease: -EN- -FR- -ES-. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 19(2), 405–424. <https://doi.org/10.20506/rst.19.2.1222>
- Silveira, R. F., Roque-Borda, C. A., & Vicente, E. F. (2021). Antimicrobial peptides as a feed additive alternative to animal production, food safety and public health implications: An overview. *Animal Nutrition*, 7(3), 896–904. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.01.004>
- Simon, L., Gauvin, F., Amre, D. K., Saint-Louis, P., & Lacroix, J. (2004). Serum Procalcitonin and C-Reactive Protein Levels as Markers of Bacterial Infection: A Systematic Review and Meta-analysis. *Clinical Infectious Diseases*, 39(2), 206–217. <https://doi.org/10.1086/421997>
- Sinclair-Black, M., Garcia-Mejia, R. A., Blair, L. R., Angel, R., Arbe, X., Caverro, D., & Ellestad, L. E. (2024). Circadian regulation of calcium and phosphorus homeostasis during the oviposition cycle in laying hens. *Poultry Science*, 103(2), 103209. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103209>
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International*, 132, 109114. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109114>
- Sinurat, A. P., Pasaribu, T., Purwadaria, T., Haryati, T., Wina, E., & Wardhani, T. (2020). Biological Evaluation of Some Plant Bioactives as Feed Additives to Replace Antibiotic Growth Promoters in Broiler Feeds. *Jurnal Ilmu Ternak Dan Veteriner*, 25(2), 81–90. <https://doi.org/10.14334/jitv.v25i2.2501>
- Skoufos, I., Bonos, E., Anastasiou, I., Tsinas, A., & Tzora, A. (2020). Effects of phytobiotics in healthy or disease challenged animals. In *Feed Additives* (pp. 311–337). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00018-2>
- Ślizewska, K., & Chlebicz, A. (2019). Synbiotics impact on dominant faecal microbiota and short-chain fatty acids production in sows. *FEMS Microbiology Letters*, 366(13), fnz157. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnz157>
- Song, D., Li, A., Chen, B., Feng, J., Duan, T., Cheng, J., Chen, L., Wang, W., & Min, Y. (2023). Multi-omics analysis reveals the molecular regulatory network underlying the prevention of Lactiplantibacillus plantarum against LPS-induced salpingitis in laying hens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), 147. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00937-x>

- Spackman, D. (1987). *The effect of disease on egg quality*.
- Spackman, E. (2020). A Brief Introduction to Avian Influenza Virus. In E. Spackman (Ed.), *Animal Influenza Virus* (Vol. 2123, pp. 83–92). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0346-8_7
- Stipkovits, L., & Kempf, I. (1996). Mycoplasmoses in poultry: -EN- -FR- -ES-. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 15(4), 1495–1525. <https://doi.org/10.20506/rst.15.4.986>
- Süntar, I., & Yakıncı, Ö. F. (2020). Potential risks of phytonutrients associated with high-dose or long-term use. In *Phytonutrients in Food* (pp. 137–155). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815354-3.00010-1>
- Talebi Bezmin Abadi, A., Rizvanov, A. A., Haertlé, T., & Blatt, N. L. (2019). World Health Organization Report: Current Crisis of Antibiotic Resistance. *BioNanoScience*, 9(4), 778–788. <https://doi.org/10.1007/s12668-019-00658-4>
- Tan, Y. B., & Langley, R. J. (2019). Sepsis: Metabolomics and proteomics. In *Genomic and Precision Medicine* (pp. 95–104). Elsevier.
- Tang, K. L., Caffrey, N. P., Nóbrega, D. B., Cork, S. C., Ronksley, P. E., Barkema, H. W., Polachek, A. J., Ganshorn, H., Sharma, N., & Kellner, J. D. (2017). Restricting the use of antibiotics in food-producing animals and its associations with antibiotic resistance in food-producing animals and human beings: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 1(8), e316–e327.
- Tchetan, E., Olounlade, A. P., Azando, E. V. B., Quinet, M., Marcotty, T., Hounzangbe-Adoté, S. M., Quetin-Leclercq, J., & Gbaguidi, F. A. (2021). La médecine ethnovétérinaire à la croisée de la recherche scientifique: Synthèse des connaissances et perspectives. *Revue d'élevage et de Médecine Vétérinaire Des Pays Tropicaux*, 74(3), 167–175. <https://doi.org/10.19182/remvt.36762>
- Thachil, A. J., Velayudhan, B. T., Shaw, D. P., Halvorson, D. A., & Nagaraja, K. V. (2009). Pathogenesis of *Ornithobacterium rhinotracheale* in egg-laying hens with coexisting infectious bronchitis virus and *Escherichia coli* infections. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(4), 780–788. <https://doi.org/10.3382/japr.2009-00039>
- Tian, M., He, X., Feng, Y., Wang, W., Chen, H., Gong, M., Liu, D., Clarke, J. L., & Van Eerde, A. (2021). Pollution by Antibiotics and Antimicrobial Resistance in LiveStock and Poultry Manure in China, and Countermeasures. *Antibiotics*, 10(5), 539. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050539>
- Torres-Pitarch, A., Hermans, D., Manzanilla, E. G., Bindelle, J., Everaert, N., Beckers, Y., Torrallardona, D., Bruggeman, G., Gardiner, G. E., & Lawlor, P. G. (2017). Effect of feed enzymes on digestibility and growth in weaned pigs: A systematic review and meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 233, 145–159. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.04.024>
- Trampel, D. W., Wannemuehler, Y., & Nolan, L. K. (2007). Characterization of *Escherichia coli* Isolates from Peritonitis Lesions in Commercial Laying Hens. *Avian Diseases*, 51(4), 840–844. <https://doi.org/10.1637/7797-111906-REGR1.1>
- Tran Nguyen Minh, H., Kuo, T.-F., Lin, W.-Y., Peng, T.-C., Yang, G., Lin, C.-Y., Chang, T.-H., Yang, Y.-L., Ho, C.-H., Ou, B.-R., Yang, C.-W., Liang, Y.-C., & Yang, W.-C. (2023). A Novel Phytogenic Formulation, EUBIO-BPSG, as a Promising One Health Approach to Replace Antibiotics and Promote Reproduction Performance in Laying Hens. *Bioengineering*, 10(3), 346. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030346>

- Tzortzis, G., Goulas, A. K., Gee, J. M., & Gibson, G. R. (2005). A Novel Galactooligosaccharide Mixture Increases the Bifidobacterial Population Numbers in a Continuous In Vitro Fermentation System and in the Proximal Colonic Contents of Pigs In Vivo. *The Journal of Nutrition*, 135(7), 1726–1731. <https://doi.org/10.1093/jn/135.7.1726>
- Upadhaya, S. D., Ahn, J. M., Cho, J. H., Kim, J. Y., Kang, D. K., Kim, S. W., Kim, H. B., & Kim, I. H. (2021). Bacteriophage cocktail supplementation improves growth performance, gut microbiome and production traits in broiler chickens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1), 49. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00570-6>
- Valenzuela-Grijalva, N. V., Pinelli-Saavedra, A., Muhlia-Almazan, A., Domínguez-Díaz, D., & González-Ríos, H. (2017). Dietary inclusion effects of phytochemicals as growth promoters in animal production. *Journal of Animal Science and Technology*, 59(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40781-017-0133-9>
- Van Boeckel, T. P., Glennon, E. E., Chen, D., Gilbert, M., Robinson, T. P., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Bonhoeffer, S., & Laxminarayan, R. (2017). Reducing antimicrobial use in food animals. *Science*, 357(6358), 1350–1352. <https://doi.org/10.1126/science.aao1495>
- Van Empel, P. C. M., & Hafez, H. M. (1999). *Ornithobacterium rhinotracheale*: A review. *Avian Pathology*, 28(3), 217–227. <https://doi.org/10.1080/03079459994704>
- Wang, C., Pors, S. E., Christensen, J. P., Bojesen, A. M., & Thøfner, I. (2020). Comparison and assessment of necropsy lesions in end-of-lay laying hens from different housing systems in Denmark. *Poultry Science*, 99(1), 119–128. <https://doi.org/10.3382/ps/pez569>
- Wang, C., Pors, S. E., Olsen, R. H., & Bojesen, A. M. (2018). Transmission and pathogenicity of *Gallibacterium anatis* and *Escherichia coli* in embryonated eggs. *Veterinary Microbiology*, 217, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2018.03.005>
- Wang, J. P., Yoo, J. S., Lee, J. H., Zhou, T. X., Jang, H. D., Kim, H. J., & Kim, I. H. (2009). Effects of phenyllactic acid on production performance, egg quality parameters, and blood characteristics in laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(2), 203–209. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00071>
- Wang, S., Zeng, X., Yang, Q., & Qiao, S. (2016). Antimicrobial Peptides as Potential Alternatives to Antibiotics in Food Animal Industry. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(5), 603. <https://doi.org/10.3390/ijms17050603>
- Wang, Z., Wang, D., Jiang, K., Guo, Y., Li, Z., Jiang, R., Han, R., Li, G., Tian, Y., Li, H., Kang, X., & Liu, X. (2021). A Comprehensive Proteome and Acetyl-Proteome Atlas Reveals Molecular Mechanisms Adapting to the Physiological Changes From Pre-laying to Peak-Laying Stage in Liver of Hens (*Gallus gallus*). *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 700669. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.700669>
- Wannaratana, S., Thontiravong, A., & Pakpinyo, S. (2021). Comparison of three filter paper - based devices for safety and stability of viral sample collection in poultry. *Avian Pathology*, 50(1), 78–84. <https://doi.org/10.1080/03079457.2020.1837343>
- Watts, A., & Wigley, P. (2024). Avian Pathogenic *Escherichia coli*: An Overview of Infection Biology, Antimicrobial Resistance and Vaccination. *Antibiotics*, 13(9), 809. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13090809>

- Weeks, C. A., Lambton, S. L., & Williams, A. G. (2016). Implications for Welfare, Productivity and Sustainability of the Variation in Reported Levels of Mortality for Laying Hen Flocks Kept in Different Housing Systems: A Meta-Analysis of Ten Studies. *PLOS ONE*, 11(1), e0146394. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146394>
- Whitehead, M. L., & Roberts, V. (2014). Backyard poultry: Legislation, zoonoses and disease prevention. *Journal of Small Animal Practice*, 55(10), 487–496. <https://doi.org/10.1111/jsap.12254>
- Wielogorska, E., Blaszczyk, K., Chevallier, O., & Connolly, L. (2019). The origin of in-vitro estrogen-like activity in oregano herb extracts. *Toxicology in Vitro*, 56, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2019.01.005>
- Wilkie, I. W., Harper, M., Boyce, J. D., & Adler, B. (2012). *Pasteurella multocida*: Diseases and Pathogenesis. In K. Aktories, J. H. C. Orth, & B. Adler (Eds.), *Pasteurella multocida* (Vol. 361, pp. 1–22). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/82_2012_216
- Wójcik, M., Grabowski, S., Jarosz, Ł. S., Szymczak, B., Longo, V., Della Croce, C. M., Hejdysz, M., Cieślak, A., Gruszczyński, K., & Marek, A. (2024). Liver Antioxidant Capacity and Steatosis in Laying Hens Exposed to Various Quantities of Lupin (*Lupinus angustifolius*) Seeds in the Diet. *Antioxidants*, 13(2), 251. <https://doi.org/10.3390/antiox13020251>
- Wolff, M., & Joly-Guillou, M.-L. (2011a). La procalcitonine (PCT): Un outil diagnostique et de stratégie thérapeutique. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2011(434), 39–43. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(11\)71053-X](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(11)71053-X)
- Wolff, M., & Joly-Guillou, M.-L. (2011b). La procalcitonine (PCT): Un outil diagnostique et de stratégie thérapeutique. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2011(434), 39–43. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(11\)71053-X](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(11)71053-X)
- World Health Organization. (2004). *Joint FAO/OIE/WHO Expert Workshop on Non-Human Antimicrobial Usage and Antimicrobial Resistance: Scientific assessment: Geneva, December 1-5, 2003*. World Health Organization.
- World Health Organization (Ed.). (2017). *WHO guidelines on use of medically important antimicrobials in food-producing animals*. World Health Organization.
- Xian, L., Wang, Y., Peng, D., Zang, L., Xu, Y., Wu, Y., Li, J., & Feng, J. (2024). Dietary Oregano Oil Supplementation Improved Egg Quality by Altering Cecal Microbiota Function in Laying Hens. *Animals*, 14(22), 3235. <https://doi.org/10.3390/ani14223235>
- Xiang, X., Huang, Y., Li, M., Wang, D., Zhang, H., Wu, X., Xu, J., Han, X., Cui, M., Xia, J., & Huang, Y. (2026). Herbal treatment of IBV–E. coli salpingitis establishment of a salpingitis model of layer chickens caused by co-infection of infectious bronchitis virus and Escherichia coli for the curative efficacy assessment of three Chinese herbal compounds. *Poultry Science*, 105(1), 106093. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.106093>
- Xu, Z., Hu, C., Xia, M., Zhan, X., & Wang, M. (2003). Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poultry Science*, 82(6), 1030–1036. <https://doi.org/10.1093/ps/82.6.1030>

- Yahya, M., Kheira, H., & Faiza, F. F. (2016). Approche Ethno-Vétérinaire Des Plantes Médicinales Utilisées Dans La Région De Sidi Bel Abbes- Algérie. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(18), 218. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p218>
- Yamada, S., & Matsuo, K. (1983). Experimental Infection of Ducks with *Mycoplasma synoviae*. *Avian Diseases*, 27(3), 762. <https://doi.org/10.2307/1590319>
- Yang, F., Dong, D., Wu, D., Zhu, L., Liu, F., Yao, H., Wu, N., Ye, C., & Wu, H. (2022). A multiplex real-time RT-PCR method for detecting H5, H7 and H9 subtype avian influenza viruses in field and clinical samples. *Virus Research*, 309, 198669. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2021.198669>
- Yang, F., Zhang, F., Li, H., Wu, H., Zhao, H., Cheng, X., Ba, Y., Huang, H., Chen, S., & Zhu, J. (2021). Contribution of environmental factors on the distribution of antibiotic resistance genes in agricultural soil. *European Journal of Soil Biology*, 102, 103269. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103269>
- Ye, M., Wei, C., Khalid, A., Hu, Q., Yang, R., Dai, B., Cheng, H., & Wang, Z. (2020). Effect of *Bacillus velezensis* to substitute in-feed antibiotics on the production, blood biochemistry and egg quality indices of laying hens. *BMC Veterinary Research*, 16(1), 400. <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02570-6>
- Yoder, H. W. (1986). A Historical Account of the Diagnosis and Characterization of Strains of *Mycoplasma gallisepticum* of Low Virulence. *Avian Diseases*, 30(3), 510. <https://doi.org/10.2307/1590415>
- Yu, H., Mao, S., Zhao, T., Wu, H., Pan, Y., & Shu, C. (2015). [Antagonistic effect of gingerols against TNF- α release, ROS overproduction and RIP3 expression increase induced by lectin from *Pinellia ternata*]. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi = Zhongguo Zhongyao Zazhi = China Journal of Chinese Materia Medica*, 40(18), 3630–3635.
- Z, Z. (2008). Cholera Case Study on Broiler Poultry Collected from Communities Farm in Banda Aceh Using Pathology Method. *Jurnal Medika Veterinaria*, 8(1). <https://doi.org/10.21157/j.med.vet.v8i1.3337>
- Zaefarian, F., Abdollahi, M., Cowieson, A., & Ravindran, V. (2019). Avian Liver: The Forgotten Organ. *Animals*, 9(2), 63. <https://doi.org/10.3390/ani9020063>
- Zaghari, M., Zahroojian, N., Riahi, M., & Parhizkar, S. (2015). Effect of *Bacillus Subtilis* Spore (GalliPro®) Nutrients Equivalency Value on Broiler Chicken Performance. *Italian Journal of Animal Science*, 14(1), 3555. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3555>
- Zanella, A., Alborali, G. L., Bardotti, M., Candotti, P., Guadagnini, P. F., Anna Martino, P., & Stonfer, M. (2000). Severe *Escherichia coli* O111 septicaemia and polyserositis in hens at the start of lay. *Avian Pathology*, 29(4), 311–317. <https://doi.org/10.1080/03079450050118430>
- Żbikowska, K., Michalczyk, M., & Dolka, B. (2020). The Use of Bacteriophages in the Poultry Industry. *Animals*, 10(5), 872. <https://doi.org/10.3390/ani10050872>
- Zhang, B., Gan, L., Shahid, M. S., Lv, Z., Fan, H., Liu, D., & Guo, Y. (2019). In vivo and in vitro protective effect of arginine against intestinal inflammatory response induced by *Clostridium perfringens* in broiler chickens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0371-4>
- Zhang, B., Li, G., Shahid, M. S., Gan, L., Fan, H., Lv, Z., Yan, S., & Guo, Y. (2020). Dietary l-arginine supplementation ameliorates inflammatory response and alters gut microbiota composition in broiler

- chickens infected with *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *Poultry Science*, 99(4), 1862–1874. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.049>
- Zhao, E. (2011). Phytoestrogen Biological Actions on Mammalian Reproductive System and Cancer Growth. *Scientia Pharmaceutica*, 79(1), 1–20. <https://doi.org/10.3797/scipharm.1007-15>
- Zhao, J., Pan, H., Liu, Y., He, Y., Shi, H., & Ge, C. (2023). Interacting Networks of the Hypothalamic–Pituitary–Ovarian Axis Regulate Layer Hens Performance. *Genes*, 14(1), 141. <https://doi.org/10.3390/genes14010141>
- Zinno, P., Guantario, B., Lombardi, G., Ranaldi, G., Finamore, A., Allegra, S., Mammano, M. M., Fascella, G., Raffo, A., & Roselli, M. (2023). Chemical Composition and Biological Activities of Essential Oils from *Origanum vulgare* Genotypes Belonging to the Carvacrol and Thymol Chemotypes. *Plants*, 12(6), 1344. <https://doi.org/10.3390/plants12061344>
- Zuidhof, M. J., Schneider, B. L., Carney, V. L., Korver, D. R., & Robinson, F. E. (2014). Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poultry Science*, 93(12), 2970–2982. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>

Sitographie

- ANSES, 2019. Les compléments alimentaires, nécessité d'une consommation éclairée. 26/03/2019. Consulté le 16/07/2024. <https://www.anses.fr/fr/content/les-compl%C3%A9ments-alimentaires-n%C3%A9cessit%C3%A9-dune-consommation-%C3%A9clair%C3%A9e>
- ANSES, 2022. Phytothérapie et aromathérapie : adapter l'évaluation des risques en médecine vétérinaire. 24/01/2022. Consulté le 16/07/2024. <https://www.anses.fr/fr/content/phytoth%C3%A9rapie-et-aromath%C3%A9rapie-adapter-l%E2%80%99%C3%A9valuation-des-risques-en-m%C3%A9decine-v%C3%A9t%C3%A9rinaire>
- ANSES, 2024. Index des Médicaments vétérinaires autorisés en France. [en ligne]. 18 juillet 2024. Disponible à l'adresse : <http://www.ircp.anmv.anses.fr/> (Consulté le 18/07/2024)
- FAO. 2025. FAOSTAT: Crops and Livestock Products 2025. In: FAOSTAT. Rome. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed on 07 August 2025). <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/poultry-production/fr>
- Hy-Line International. Online Management Guide for Hy-Line Brown Commercial Layers; West Des Moines, IA, USA, 2024, 20 pages; Available online: <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/Brown/BRN%20STD%20ENG.pdf> (accessed on 19 July 2025)
- ISO 9235 (2021). Aromatic Natural Raw Materials – Vocabulary. Available online at: <https://www.iso.org/standard/78908.html> [Accessed on 16 April 2025].
- OMS, 2019. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/a88a03a0-90f3-4a74-b6be-0000ce766647/content>
- OMS, 2021. <https://www.woah.org/app/uploads/2021/10/unsdcf-amr-guidance-en-final-approved.pdf>
- ONS, 2024. https://www.ons.dz/IMG/pdf/commerce_ext_base2019anne2024.pdf
- Pharmacopée européenne - Huiles essentielles. Ph. Eur. 04/2022:2098. Essential oils.
- UNGA, 2024. <https://www.un.org/pga/wp-content/uploads/sites/108/2024/09/FINAL-Text-AMR-to-PGA.pdf>

ANNEXES
