

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou
Faculté des sciences biologiques et agronomiques
Département biochimie-microbiologie



Mémoire de fin d'études
En vue d'obtention du diplôme de Master en sciences biologiques
Option : **Microbiologie Appliquée**

*Recherche d'Escherichia coli multirésistantes au niveau des fientes
d'origine aviaire dans la wilaya de Tizi Ouzou*

Réalisé par :

- Iratni Mordjane
- Hassani Maïssa

Encadré par : Mr. Msela.A (MCB)

Co- Encadré par : M^{me} Izerghouf.T

Composition du jury

- Présidente : Meguenni.N
- Examineur : Yousfi.S

Maitre de conférences de classe (A)

Maitre de conférences de classe (A)

Année universitaire: 2023/2024

Remerciement

*Nous exprimons d'abord notre sincère reconnaissance envers le Tout-Puissant, **Allah** le Miséricordieux, source de lumière et de guidance, à qui nous vouons obéissance et gratitude.*

*À notre superviseur dévoué, le **Dr Msela A**, Maître de Conférences à l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, nous adressons nos remerciements les plus profonds. Sa patience, ses conseils avisés et son soutien constant ont été des atouts essentiels pour mener à bien notre travail. Nous lui exprimons notre respect sincère et notre gratitude pour son rôle déterminant dans notre réussite académique.*

*À Madame **Izerghouf T**, notre co-promotrice et guide précieuse, nous exprimons notre gratitude sincère et empreinte d'admiration. Son soutien inébranlable, sa compréhension profonde et ses conseils éclairés ont été d'une valeur inestimable tout au long de notre parcours. Merci pour votre engagement passionné et votre accompagnement bienveillant qui ont enrichi notre expérience académique.*

*À Madame **Yousfi S**, Maître de Conférences de classe(A), Nous sommes grandement honorés par votre présence en tant qu'examinatrice et vous adressons nos remerciements les plus sincères.*

*Nous sommes profondément honorés par la présence de **Madame Meguenni N**, Maître de Conférences émérite à l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, qui a accepté de présider notre jury. Sa présence experte et son évaluation rigoureuse ont enrichi notre mémoire. En tant que figure académique éminente, sa critique constructive a non seulement renforcé notre travail mais aussi stimulé notre engagement pour la recherche et l'excellence académique.*

*Nous exprimons également notre profonde gratitude envers Monsieur **Saoudi B** et Madame **Sadoun N**, doctorants à l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, pour leur contribution précieuse et leurs conseils éclairés qui ont enrichi de manière significative notre étude.*

À nos chers parents,

Au moment de clore ce chapitre de notre parcours académique, nous souhaitons vous exprimer notre gratitude la plus profonde. Vous avez été nos piliers inébranlables, nos sources constantes de réconfort et nos fervents encouragement tout au long de ce chemin parsemé de défis et d'apprentissages. Sachez que Vos sacrifices, votre amour infini et votre soutien sans faille ont été la force motrice qui nous a permis de persévérer et d'atteindre nos objectifs. Chaque étape de notre réussite porte l'empreinte de votre encouragement sincère et de vos précieux conseils. Du fond du cœur, nous vous remercions pour avoir enrichi nos vies de votre présence aimante et de votre exemple inspirant. Nous sommes profondément reconnaissantes pour tout ce que vous avez fait pour nous et pour tout ce que vous continuez de représenter dans nos vies.

Ad astra per aspera

« Vers les étoiles à travers les difficultés »

Je dédie ce travail

À mes chers parents pour votre soutien constant, vos encouragements précieux et votre amour infini qui ont guidé chacun de mes pas tout au long de mon voyage académique, que Dieu vous comble de bénédictions infinies et de bonheur éternel.

En Hommage à mon grand-père, Rabah Boumati, pilier de sagesse et source inépuisable de bienveillance et d'inspiration. Que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.

À mes frère Mohamed et Chemss-eddine pour leur soutien fraternel et leurs encouragements constants qui m'ont accompagné tout au long de mes études.

À mes tantes et ma grand-mère, et toute personne chère à mon cœur près ou de loin.

Mordjane.

Dédicace

Je souhaite humblement dédier ce travail :

*À la mémoire de mon cher grand-père, que son âme repose en paix, source
D'inspiration et de sagesse infinie.*

*À mes précieux parents, pour leur dévouement, leurs conseils éclairés et
Leur soutien indéfectible.*

Que Dieu leur accorde bonheur et longévité.

*À mon cher petit frère, Mouhamed, et à ma chère sœur, Ouiza, pour leur
Présence lumineuse et leur amour constant.*

*À mes chères tantes et ma grand-mère, TOUNES, ainsi qu'à toutes les
Personnes qui me sont chères, près ou loin.*

Votre soutien précieux a été un pilier essentiel dans mon chemin.

*Je vous exprime ma profonde gratitude pour votre soutien constant et
Votre bienveillance inestimable.*

Maïssa.

Résumé

Escherichia coli est une bactérie fréquemment présente dans le microbiote intestinal humain et animal, généralement inoffensive mais parfois pathogène. L'élevage intensif de volailles favorise la propagation de souches d'*Escherichia coli* résistantes aux antibiotiques, représentant un défi majeur pour la santé publique. Cette étude a eu comme objectif l'évaluation du risque de portage d'*Escherichia coli* multirésistant à travers une enquête visant à caractériser la présence et le niveau de risque associés aux germes multirésistants.

Sur 35 échantillons prélevés, 25 souches d'*Escherichia coli* ont été identifiées. Les tests de sensibilité aux antibiotiques ont révélé des niveaux variables de résistance parmi les 24 antibiotiques testés. Toutes les souches étaient résistantes à au moins un antibiotique, avec des taux élevés de résistance à l'ampicilline (92%), l'amoxicilline (80%), l'amoxicilline-acide clavulanique (76%), les tétracyclines (96%), et l'acide nalidixique (72%). Les taux moyens de résistance concernent les pénicillines (48%), le triméthoprim-sulfaméthoxazole (60%), et la lévofloxacine (40%), entre autres. À noter que toutes les souches étaient sensibles aux carbapénèmes, à la céfoxitine, et à la tobramycine. Trois souches ont été identifiées comme productrices de bêta-lactamases à spectre étendu (BLSE). L'étude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de cannelle de Chine a démontré son efficacité contre deux souches d'*Escherichia coli*, suggérant son potentiel comme agent antimicrobien naturel.

L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) n'a pas révélé de corrélation entre les phénotypes de résistance et les facteurs épidémiologiques étudiés tels que l'espèce, le type d'élevage, le type de sol, l'effectif de l'élevage, et le type de bâtiment utilisé. Ces résultats indiquent que la résistance aux antibiotiques chez *Escherichia coli* est influencée par plusieurs facteurs.

L'étude souligne l'importance de surveiller la résistance aux antibiotiques et d'explorer des alternatives comme les huiles essentielles pour contrôler les infections causées par *Escherichia coli* multirésistant dans les élevages de volailles.

Mots clés : *Escherichia coli*; portage; antibiorésistante; BLSE; facteurs épidémiologiques; huile essentielle.

Summary

Escherichia coli is a bacterium commonly found in the human and animal intestinal microbiota, typically harmless but occasionally pathogenic. Intensive poultry farming promotes the spread of antibiotic-resistant strains of *Escherichia coli*, posing a significant challenge to public health. This study aimed to assess the risk of carriage of multidrug-resistant *Escherichia coli* through an investigation into the presence and associated risks of multidrug-resistant strains.

Out of 35 samples collected, 25 strains of *Escherichia coli* were identified. Antibiotic sensitivity tests revealed varying levels of resistance among the 24 antibiotics tested. All strains were resistant to at least one antibiotic, with high resistance rates to ampicillin (92%), amoxicillin (80%), amoxicillin-clavulanic acid (76%), tetracyclines (96%), and nalidixic acid (72%). Moderate resistance rates were observed for penicillins (48%), trimethoprim-sulfamethoxazole (60%), and levofloxacin (40%), among others. Notably, all strains were sensitive to carbapenems, cefoxitin, and tobramycin. Three strains were identified as producing extended-spectrum beta-lactamases (ESBLs). A study on the antimicrobial activity of Chinese cinnamon essential oil demonstrated its efficacy against two strains of *Escherichia coli*, suggesting its potential as a natural antimicrobial agent.

Multiple Correspondence Analysis (MCA) did not reveal correlations between resistance phenotypes and studied epidemiological factors such as species, farming type, soil type, farm size, and building type used. These findings suggest that antibiotic resistance in *Escherichia coli* is influenced by multiple factors.

The study underscores the importance of monitoring antibiotic resistance and exploring alternatives such as essential oils to control infections caused by multidrug-resistant *Escherichia coli* in poultry farming.

Keywords: *Escherichia coli*; carriage; antibiotic resistance; ESBL; epidemiological factors; essential oil.

Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	

Introduction	01
--------------------	----

Chapitre 01 : Généralités sur Escherichia coli	03
--	----

1. Historique	03
2. Taxonomie	03
3. Habitat	
3.1. Dans le tractus digestif	04
3.2. Dans l'environnement	04
4. Caractéristiques bactériologiques	04
4.1. Caractères Morphologiques	04
4.2. Caractères cultureux	05
4.3. Caractères biochimiques	06
4.4. Caractères antigéniques	07
4.4.1. L'antigène O	07
4.4.2. Antigènes flagellaires H	07
4.4.3. Antigènes de surface ou d'enveloppe K	07
5. Le pouvoir pathogène	08

Chapitre 02 : Escherichia coli et l'antibiorésistance, un combat de survie	10
--	----

1. Généralité sur les Antibiotiques	10
1.1. Définition	10
1.2. Historique	10
1.3. Classification des antibiotiques	12
1.4. Utilisation des Antibiotiques en médecine vétérinaire	12
2. Résistances aux antibiotiques	13
2.1. Définition	14
2.2. Origine des résistances bactériennes aux antibiotiques	14
2.3. Types d'antibiorésistance	15
2.3.1. Résistance naturelle	15

2.3.2. Résistance acquise	15
2.4. Mécanismes de résistances aux antibiotiques	16
2.4.1. Modification de la cible	16
2.4.2. Inactivation enzymatique	16
2.4.3. Pompe à efflux	17
2.4.4. Imperméabilité	17
3. Mécanismes de résistance d'Escherichia coli vis-à-vis des antibiotiques.....	18
Chapitre 03 : Les huiles essentielles, une thérapie naturelle.....	22
1. Définition d'une huile essentielle	22
2. Caractéristiques des huiles essentielles	23
2.1. Propriétés physiques.....	23
2.2. Composition chimique	23
2.2.1. Les terpènes et les terpénoïdes.....	24
2.2.2. Les composés aromatiques (phénylpropanes).....	24
3. Méthodes d'extraction des huiles essentielles	25
3.1. Entraînement à la vapeur d'eau.....	25
3.2. L'hydrodistillation	25
4. Activité antimicrobienne	26
5. Généralité sur la cannelle de Chine (Cinnamomum cassia).....	27
6. Généralité sur le Cymbopogon martini (Palmarosa)	27
7. Généralité sur Lavandula stoechas.....	28
Matériels et Méthodes.....	33
Problématique	33
Objectif du travail.....	33
Lieu et durée de stage	33
Fiche d'enquête	33
1. Matériels	33
1.1. Matériels biologiques	33
1.1.1. Souches testées.....	33
1.1.2. Souches de références.....	34
1.1.3. Huiles essentielles	34

1.2. Matériel du laboratoire	34
2. Méthodes	34
2.1. Prélèvement	34
2.2. Pré-enrichissement	35
2.3. Enrichissement	35
2.4. Isolement	35
2.5. Purification	36
2.6. Identification	36
2.6.1. Identification macroscopique	36
2.6.2. Identification microscopique.....	37
2.6.3. Identification biochimique	37
2.7. Conservation des souches	40
2.8. Antibiogramme	40
2.9. Recherche de la production des β -lactames à spectre élargi (BLSE).....	41
2.10. Aromatogramme	41
Résultats.....	44
1. Résultats microbiologiques	44
1.1. Résultats de l'identification	44
1.2. Résultats de l'antibiogramme	44
1.3. Résultats de l'aromatogramme	58
2. Résultats de l'étude épidémiologique	58
2.1. Analyse de la correspondance multiple.....	54
Discussion	56
Conclusion.....	62
Références bibliographiques	
Annexe	

Listes des figures :

Figure 1 : Image par microscope électronique à balayage de bactéries <i>Escherichia coli</i>	05
Figure 2 : Aspect des colonies d' <i>Escherichia coli</i> sur milieux de cultures	06
Figure 3 : La structure antigénique d' <i>Escherichia</i>	07
Figure 4 : chronologie de la découverte des principales classes d'antibiotiques.	11
Figure 5 : Résistance d' <i>Escherichia coli</i> selon l'exposition	18
Figure 6 : Principaux mécanismes de résistance aux antibiotiques.....	20
Figure 7 : Appareillage utilisé pendant l'hydrodistillation d'huile essentielle	25
Figure 08 : Carte géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou	34
Figure 09 : Prélèvement de fiente aviaire..	34
Figure 10 : tube de BHIB après incubation à 37° C pendant 24h	35
Figure 11 : Ensemencement de la gélose Hektoen à partir du BHIB ensemencer	36
Figure 12 : Souche pure d' <i>Escherichia Coli</i>	36
Figure 13 : Observation de colonie d' <i>Escherichia coli</i> sous loupe binoculaire	37
Figure 14 A : réalisation d'un frottis bactérien, B : <i>Escherichia coli</i> sous microscope Optique objectif 100.....	37
Figure 15 : Test TSI Positif.	38
Figure 16 : test urée indole.....	38
Figure 17 : test Mannitol – mobilité	39
Figure 18 : test Citrate de Simmons	39
Figure 19 : Test de catalase	39
Figure 20 test de l'oxydase.	40
Figure 21 : AntibioGramme d'une souche d' <i>Escherichia coli</i>	41
Figure 22 : AntibioGramme d'une souche d' <i>Escherichia coli</i>	42
Figure 23 : AntibioGramme d'une souche d' <i>Escherichia coli</i> BLSE.....	45
Figure 24 : Pourcentages de souches résistantes en fonction du nombre d'antibiotiques.	47
Figure 25 : Aromatogramme d'une souche d' <i>Escherichia coli</i>	48
Figure 26 : Distribution des échantillons collectés selon le type d'élevage.	49
Figure 27 : Distribution des souches collectées selon les différentes catégories d'âge	49
Figure 28 : Répartition des souches prélevées en fonction des pratiques de désinfection des élevages.....	50
Figure 29 : Pourcentage des souches prélevées en fonction de la mise en œuvre du vide sanitaire.	50
Figure 30 : Répartition des souches prélevées en fonction de la souche aviaires	51
Figure 31 : Répartition des souches prélevées en fonction des types de sol.....	51
Figure 32 : Distribution des souches prélevées en fonction du type de bâtiment.	52
Figure 33 : Répartition des Échantillons Prélevés selon l'Effectif.	53
Figure 34 : Distribution des Échantillons Prélevés selon le Taux de Mortalité..	53
Figure 35 : Analyse des Correspondances Multiples.....	55

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Les caractères biochimiques d' <i>Escherichia coli</i>	06
Tableau 02 : Quelques pathovars d' <i>Escherichia coli</i>	08
Tableau 03 : Mécanismes de résistance d' <i>Escherichia coli</i> vis-à-vis des antibiotiques.	18
Tableau 04 : Résultats de l'Identification des Souches d' <i>Escherichia coli</i> Isolées.....	44
Tableau 05 : Pourcentage de résistance et de sensibilité des souches testées.....	46

Liste des abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique.

Agar EMB : Eosin Methylene Blue.

BHIB : Brain Heart infusion.

BLSE : Bactéries productrices de bêta-lactamases à spectre élargi.

DMSO : Diméthylsulfoxyde.

H₂S : Sulfure d'hydrogène.

HE : Huile essentielle.

LDC : Lysine décarboxylase .

MH : Muller Hinton.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

ONPG : Ortho-nitrophényl- β -galactoside.

ODC : ornithine décarboxylase.

PH : Potentiel hydrogène.

TSI: Triple Sugar Iron.

Unités

g : Gramme.

μ g : Micro gramme.

mM : Millimètres.

mL : Millilitres.



Introduction

La filière avicole joue un rôle essentiel dans l'industrie alimentaire mondiale et a connu, au fil des décennies, un développement significatif. Cela a entraîné une augmentation de la consommation de poulet de chair et une redynamisation du tissu économique national. Cette expansion résulte d'une demande accrue, d'une disponibilité constante sur le marché, de la grande polyvalence culinaire du poulet et de son importance en tant que source essentielle de protéines animales pour les populations urbaines à revenus modestes (FAO., 2022 ; KACI., 2016).

En Algérie, le secteur avicole se distingue comme l'une des industries animales ayant connu un essor remarquable depuis les années 1980 grâce à l'intervention de l'État. Cela a non seulement amélioré significativement l'apport en protéines dans l'alimentation, mais a également généré des emplois pour près de deux millions de personnes. Le poulet de chair représente une part significative de la consommation mondiale de viande, avec 50 000 tonnes de viande blanche consommées mensuellement en Algérie (ALLAOUI., 2013 ; ROBITAILLE., 2012 ; AlgerieEco., 2021).

Pendant des décennies, les éleveurs de volaille ont largement utilisé les antibiotiques, que ce soit à des fins thérapeutiques ou comme promoteurs de croissance (GUETIYA *et al.*, 2016). Cette pratique a malheureusement entraîné une augmentation des bactéries résistantes aux antibiotiques (XU *et al.*, 2020). L'utilisation intensive d'antibiotiques soulève des préoccupations majeures en matière de bien-être animal, d'impact environnemental et de sécurité alimentaire (SADIKALAY., 2018).

Escherichia coli est une bactérie souvent présente dans l'intestin des êtres humains et des animaux à sang chaud. (TENAILLON *et al.*, 2010). En général, la plupart des souches d'*Escherichia coli* sont inoffensives et jouent un rôle bénéfique dans le processus de digestion et maintien de l'équilibre microbiologique chez ces animaux (BASAVARAJU ET GUNASHREE., 2022).

Cependant ce germe peut provoquer diverses maladies chez des individus de tous âges (BOZCAL., 2016). Certaines souches spécifiques d'*Escherichia coli* peuvent envahir plusieurs organes chez les oiseaux, entraînant des péritonites, des périhépatites,

des sacculites aériennes, des péricardites et d'autres infections extraintestinales (SUBEDI *et al.*, 2018).

Les efforts visant à lutter contre la résistance aux antibiotiques ont pris de l'ampleur grâce à des initiatives mondiales et des organisations telles que l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Ces entités travaillent avec diligence pour sensibiliser davantage à la résistance aux antibiotiques, promouvoir une utilisation responsable des antibiotiques et encourager la recherche et le développement d'alternatives aux antibiotiques (MUTEEB *et al.*, 2023).

La dernière décennie du XXe siècle a vu un regain d'intérêt pour l'agriculture biologique, la phytothérapie et l'aromathérapie (GHANMI *et al.*, 2010). Pendant cette période, les huiles essentielles ont suscité un intérêt considérable en raison de leurs multiples applications thérapeutiques et de leurs bienfaits pour la santé, notamment pour leurs effets antimicrobiens, antiseptiques et antifongiques (GHANMI *et al.*, 2010 ; HADDOUCHI et BENMANSOUR, 2008).

Les huiles essentielles sont déjà évaluées à l'échelle mondiale comme des sources possibles de nouvelles substances antibactériennes, de conservateurs alimentaires et d'options alternatives au traitement des maladies transmissibles (MARWA *et al.*, 2021; MIRIAN *et al.*, 2021).

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude qui comporte deux volets: l'évaluation de la fréquence des souches d'*Escherichia coli* multirésistantes présentes dans les fientes aviaires collectées auprès de différentes exploitations avicoles de la wilaya de Tizi Ouzou, ainsi que de caractériser leurs profils d'antibiorésistance. De plus, la proposition d'une alternative antimicrobienne naturelle en explorant l'utilisation des huiles essentielles.



GÉNÉRALITÉS SUR
ESCHERICHIA COLI

1. Historique

En 1885, en observant au microscope divers échantillons de selles provenant de différents mammifères à sang chaud, y compris des humains, Theodor Escherich découvre la présence abondante d'une bactérie en forme de bâtonnet dans les intestins. Il la nomme *Bacterium coli* commune, également connue sous le nom de bacille commun du côlon (MAINIL, 2013).

En 1919, Castellani et Chalmers attribuent à la bactérie le nom définitif d'*Escherichia coli* en hommage à la contribution exceptionnelle de Theodor Escherich à la microbiologie. En 1958, sur recommandation du sous-comité Enterobacteriaceae du Comité de Nomenclature de l'Association Internationale des Sociétés de Microbiologie, le nom *Escherichia coli* est officiellement adopté (MEGUENNI, 2016).

2. Taxonomie

Escherichia coli est une bactérie qui fait partie de la famille des *Enterobacteriaceae*. Elle est couramment utilisée comme organisme modèle en microbiologie et en génétique en raison de sa facilité de culture et de sa manipulation en laboratoire. Le genre *Escherichia* regroupe cinq espèces : *E. blattae*, *E. coli*, *E. fergusonii*, *E. hermanii* et *E. vulneris*. Chaque espèce d'*Escherichia coli* possède des caractéristiques biochimiques particulières, permettant de les différencier (LIU, 2015).

La classification de *Escherichia coli*, selon la Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (2004) est comme suit:

Phylum : *Proteobacteria*
Classe : *Gammaproteobacteria*
Ordre : *Enterobacteriales*
Famille : *Enterobacteriaceae*
Genre : *Escherichia*
Espèce : *Escherichia coli*

3. Habitat

Escherichia coli est une bactérie versatile et ubiquiste, capable de coloniser de nombreux habitats et d'exprimer une gamme variée de phénotypes. Elle se subdivise en un ensemble de souches, dont certaines sont commensales tandis que d'autres sont pathogènes.

3.1. Dans le tractus digestif

Escherichia coli est l'espèce prédominante du tractus digestif des humains et d'autres animaux à sang chaud. Elle représente 80% de la flore intestinale aérobie. Cette bactérie, généralement inoffensive, colonise de manière commensale le mucus qui recouvre les cellules épithéliales de la paroi du tube digestif (SMATI *et al.*, 2015).

Toutefois, la relation entre *Escherichia coli* et son hôte va au-delà du simple commensalisme et revêt des aspects de mutualisme. En tant que « flore de barrière », *Escherichia coli* joue un rôle essentiel en empêchant les organismes pathogènes de coloniser le tube digestif. De plus, elle fournit à son hôte des molécules essentielles comme la vitamine K (FOSTER-NYARKO ET PALLEEN, 2022).

3.2. Dans l'environnement

Escherichia coli est une bactérie courante dans l'environnement, dont certaines souches peuvent causer des infections et indiquer une contamination fécale dans l'eau ou les aliments à une concentration de 10^8 UFC/g de fèces (SMATI *et al.*, 2015). Bien que la plupart des *Escherichia coli* soient limitées au tractus intestinal, une minorité peut survivre et s'adapter à l'environnement, devenant des coliformes environnementaux (WALK *et al.*, 2007). Ces souches naturalisées développent des mécanismes de survie, tels que la production de capsules protectrices, et résistent à divers stress environnementaux comme la pression, la température, et la compétition microbienne (VAN ELSAS *et al.*, 2011 ; CAMPOS *et al.*, 2013).

4. Caractéristiques bactériologiques

4.1. Caractères Morphologiques

Escherichia coli est une bactérie Gram négatif, présentant une morphologie en forme de bâtonnet ou colibacillaire et dépourvue de spores. Elle peut être mobile grâce à des flagelles péritriches ou non mobile. Elle peut parfois être encapsulée (AMAIRI, 2021).

Les cellules individuelles d'*Escherichia coli* peuvent être observées isolées ou regroupées, souvent par paires (diplobacilles), rarement en amas (GROSJEAN et PASQUIER, 2009).

Les colonies présentent un aspect bombé, lisse et rond, de 2 à 3 micromètres de long sur 0,7 micromètre de large. (GROSJEAN et PASQUIER, 2009).

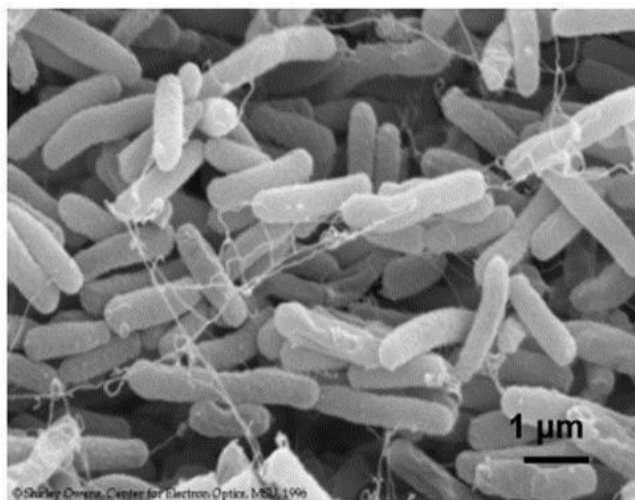


Figure 01 : *Escherichia coli* sous microscope électronique à balayage (S. Owens, Center for Electron Optics).

4.2. Caractères cultureux

Les cellules d'*Escherichia coli* peuvent se développer sur des milieux solides ou liquides en laboratoire. Elles ont des besoins nutritionnels simples et peuvent être cultivées dans un milieu minimal contenant du glucose comme source de carbone et d'énergie, des sels d'ammonium comme source d'azote, ainsi que divers sels et oligo-éléments. (ELBING et BRENT, 2019).

Les milieux couramment utilisés pour la culture d'*Escherichia coli* comprennent l'agar nutritif, l'agar Mac Conkey et l'agar EMB (BONNET *et al.*, 2019).

Escherichia coli se développe rapidement sur des milieux de culture ordinaires ou sélectifs, formant des colonies d'environ 2 mm de diamètre après 18 à 24 heures. Sa division cellulaire se produit toutes les 20 minutes (COHEN et KARIB, 2006 ; JEAN *et al.*, 2007).

La température de croissance de la plupart des souches d'*Escherichia coli* se situe entre 10°C et 40°C, avec une température optimale de 37°C (98,6°F). Cependant, certaines souches de laboratoire peuvent se développer à des températures allant jusqu'à 49°C (120,2°F). En ce qui concerne le pH, *Escherichia coli* peut survivre dans des conditions allant de 4,5 à 9,5, mais sa croissance maximale est observée à un pH neutre de 7,0 (FOTADAR, 2005).

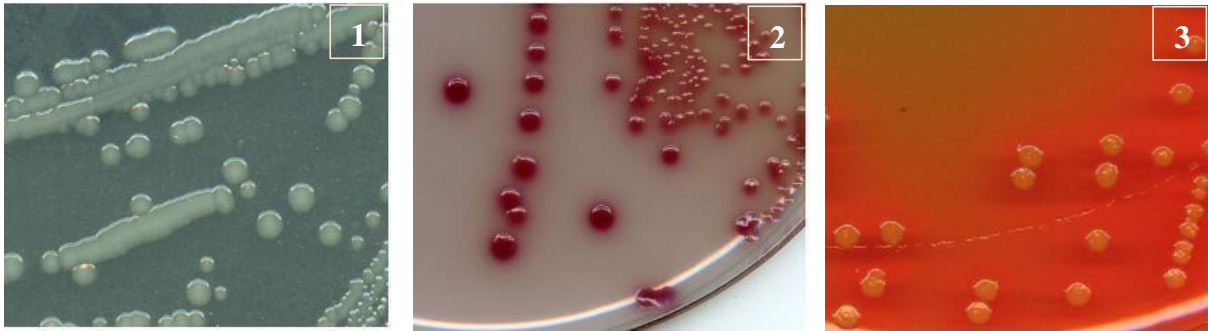


Figure 02 : Aspect des colonies de *Escherichia coli* sur milieux de cultures (société française de microbiologie, BIDEF et BONACORSI, 2019).

1. Aspect classique d'*Escherichia coli* (entérobactéries) sur Gélose ordinaire (milieu TS).
2. *Escherichia coli* sur milieu chromogène pour E. coli : colonies roses (galactosidase +).
3. *Escherichia coli* sur Hektoen (coproculture) colonies lactose +.

4.3. Caractères biochimiques

Escherichia coli est caractérisée par des propriétés biochimiques bien spécifiques permettant de l'identifier et de la différencier des espèces voisines. Elle dégrade les sucres (glucose, saccharose, lactose) par voie fermentative, entraînant un dégagement de gaz et une acidification des milieux. Elle produit de l'indole à partir du tryptophane et réduit les nitrates en nitrites grâce à la nitrate réductase. Elle est incapable d'assimiler le citrate comme seule source de carbone et est dépourvue d'arginine (JOLY et REYNAUD, 2006 ; FRENEY et al., 2007).

Tableau 01 : Les caractères biochimiques d'*Escherichia coli* (HAOUZI, 2013).

Test	Résultat
OPNG	+
Oxydase	-
Rouge de méthyl	+
VP	-
Indole	+
Citrate	-
H ₂ S	-
Uréase	-
B-galactosidase	+
Gaz (à partir de glucose)	+
Phénylalanine désaminase	-
Lsine décarboxylase (LDS)	+
Omitine décarboxylase (ODS)	+
Gélatinase	-

+ : caractère positif / - : caractère négatif

4.4. Caractères antigéniques

La classification initiale des souches d'*Escherichia coli* a été introduite par KAUFMAN à travers la sérotypie, qui implique une combinaison spécifique d'antigènes de surface. Cette approche a permis d'identifier trois types principaux d'antigènes : les antigènes somatiques O, les antigènes flagellaires H, et les antigènes capsulaires K (MAINIL, 2003).

4.4.1. L'antigène O

Les antigènes somatiques O, également appelés endotoxines, sont présents sur la paroi des bactéries Gram négatives. Ils sont constitués d'un complexe glucido-lipido-protéique (GLP), généralement désigné sous le nom de lipopolysaccharide (LPS). Certaines molécules de LPS permettent à la bactérie de se protéger contre l'action lytique du complément, la fixation des anticorps et la phagocytose (PAYROS, 2012).

4.4.2. Antigènes flagellaires H

L'antigène H, de nature protéique, est un facteur sérologique situé sur la flagelline, la protéine principale du flagelle, qui est responsable de la mobilité des bactéries. La diversité des antigènes H résulte de la variabilité des sous-unités de flagelline qui composent le flagelle (LANE *et al.*, 2005).

4.4.3. Antigènes de surface ou d'enveloppe K

L'antigène de surface K constitue la couche externe de la bactérie. Il existe trois types d'antigènes K, désignés par les lettres L, A et B. Cette caractéristique est commune aux *Escherichia coli* pathogènes. L'expression de cette enveloppe confère à la bactérie une résistance contre les défenses innées de l'hôte, jouant ainsi un rôle crucial dans le développement de maladies invasives. (AMMON, 1997).

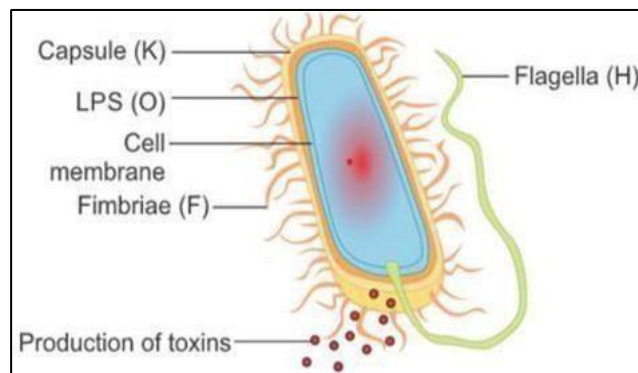


Figure 03 : La structure antigénique d'*Escherichia coli* (BASAVARAJU et GUNASHREE, 2022).

5. Le pouvoir pathogène

Les souches d'*Escherichia coli* sont présentes dans le tractus gastro-intestinal de l'homme et de nombreux animaux, où elles jouent le rôle de bactéries commensales. Cependant il existe de nombreux groupes pathogènes d'*Escherichia coli* responsables de maladies chez l'homme et les animaux, y compris les *Escherichia coli* responsables de diarrhées (DEC); qui sont des souches à tropisme intestinal et les *Escherichia coli* pathogènes extra-intestinaux (ExPEC) qui sont associées à des maladies en dehors du tractus gastro-intestinal. Chacune de ces groupes contient différents sous-groupes provoquant différentes infections (KUNERT FILHO *et al.*, 2015).

Tableau 02 : Quelques pathovars d' *Escherichia coli*.

Pathovars	Hôtes	Sites de colonisation	Maladie	Réservoirs et sources	Sérotypes ou sérogroupes majeurs	Références
EPEC (<i>E. coli</i> Entéropathogène)	Enfant < 5 ans, adulte	Intestin grêle	Diarrhée aqueuse abondante	Humain	O86 :H34, O111 : [H2],	TRABULSI <i>et al.</i> , 2002. AFSET <i>et al.</i> , 2003. CHEN <i>et FRANKEL</i> , 2005. VARELA <i>et al.</i> , 2015.
EHEC (STEC) <i>E. coli</i> Entérohémorragique	Adulte, enfant	Iléon distal, colon	Diarrhée aqueuse, colite hémorragique, SHU	Humain, animal, aliment, eau	O26, O45, O157	CROXEN <i>et al.</i> , 2013. BEUTIN <i>et FACH</i> , 2014
EIEC <i>E. coli</i> Entéroinvasive	Enfant < 5 ans, adulte,	Colon	Dysenterie bacillaire,	Humain, animal,	O28, O29, O112, O124, O136, O143,	VAN DEN BELD <i>et REUBSAE T</i> ,2012

<p><i>E. coli</i> Entérotoxigène ETEC</p>	<p>Immunodéprimé, enfant < 5 ans, voyageurs</p>	<p>Intestin grêle</p>	<p>Diarrhée aqueuse et persistante</p>	<p>Aliment, eau, humain, animal</p>	<p>O27, O78, O128, O148</p>	<p>QADRI et al., 2005</p>
<p>E. coli pathogènes aviaires (APEC)</p>	<p>Les poulets, Dindes, canards et autres espèces aviaires</p>	<p>Tissus extra- testinaux</p>	<p>Colibacillose aviaires</p>		<p>O I, O2 et O78</p>	<p>DHO-MOULIN et FAIRBROTHER, 1999</p>



ESCHERICHIA COLI ET
L'ANTIBIORÉSISTANCE,
UN COMBAT DE SURVIE

1. Généralité sur les Antibiotiques

Depuis l'avènement de la pénicilline, un large éventail d'antibiotiques a été développé et mis sur le marché à des fins thérapeutiques. Cela a considérablement réduit l'incidence et la gravité des maladies bactériennes, autrefois associées à une morbidité et une mortalité significatives. Cependant, l'enthousiasme initial, fondé sur la croyance que tous les types d'infections bactériennes pouvaient être traités avec ces composés, a rapidement été ébranlé. En effet, les premiers cas de résistance aux antibiotiques ont été signalés peu de temps après leur introduction en clinique (BOERLIN et WHITE, 2006 ; HARBOTTLE *et al.*, 2006).

1.1. Définition

Le terme "antibiotique" dérive du grec "bios", signifiant vie, et "anti", signifiant contre. Ce qui signifie littéralement "contre la vie" (VEYSSIERE, 2019).

Les antibiotiques ont la capacité d'entraver la croissance bactérienne ou de les éliminer, tout en préservant l'organisme hôte. Ils agissent en synergie avec les défenses naturelles de l'organisme et le système immunitaire pour éradiquer les agents pathogènes. Leur mode d'action varie : inhibition de la synthèse cellulaire bactérienne, perturbation de la synthèse protéique, de l'ADN ou de l'ARN. Les antibiotiques peuvent être d'origine naturelle, semi-synthétique ou synthétique. Beaucoup subissent des modifications chimiques par semi-synthèse pour améliorer leur efficacité et optimiser leurs paramètres pharmacocinétiques (LEVY et MARSHALL, 2004).

1.2. Historique

Les antibiotiques représentent l'une des plus grandes avancées thérapeutiques de la seconde moitié du XXe siècle. Cependant, leur utilisation remonte à environ 2 500 ans en Chine, où les habitants connaissaient les vertus thérapeutiques du soja fermenté. Dans l'ancienne Égypte et en Grèce, on utilisait également les moisissures et les plantes pour traiter diverses infections (RAMGANESH *et al.*, 2022).

En 1887, le Français Ernest Duchesne fut le premier à observer les propriétés antibactériennes des moisissures, mais cette découverte ne fut pas poursuivie. En 1928, Sir Alexander Fleming, un biologiste écossais, découvrit par hasard les propriétés antibactériennes de la pénicilline. En étudiant des cultures de staphylocoques, il remarqua qu'une moisissure, le *Penicillium*, avait contaminé ses cultures et empêchait la croissance des bactéries. Fleming isola la substance produite par cette moisissure, qu'il nomma la pénicilline. Il poursuivit ses recherches et observa que la pénicilline agissait contre de nombreuses autres bactéries responsables de maladies telles que la scarlatine, la diphtérie, les pneumonies et les méningites (CHRISTIAN, 2014).

Fleming publia sa découverte en 1929, mais ce n'est qu'à partir de la Seconde Guerre mondiale que l'utilisation thérapeutique de la pénicilline débuta, grâce à l'isolement et à la purification de la molécule par les chimistes Chain et Florey (ANONYME, 2021).

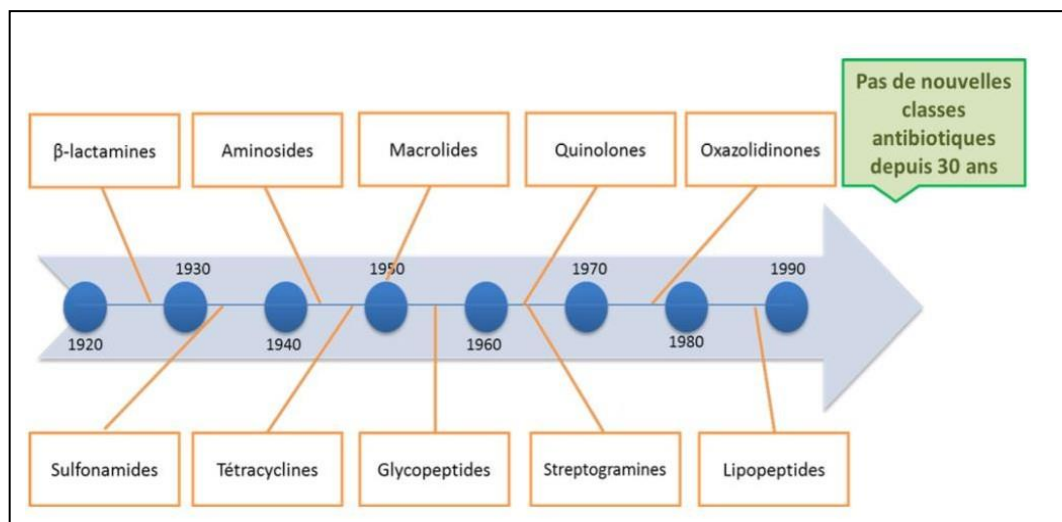


Figure 04 : Chronologie de la découverte des principales classes d'antibiotiques (MULLER, 2017).

1.3. Classification des antibiotiques

Les antibiotiques peuvent être classés selon divers critères : leur origine, leur structure chimique, leur mécanisme d'action et leur spectre d'activité. L'annexe 01 présente un tableau comparatif des antibiotiques en fonction de leur mode d'action, de leur effet antibactérien et de leur spectre d'activité.

1.4. Utilisation des Antibiotiques en médecine vétérinaire

En plus des bénéfices évidents pour la santé humaine, l'introduction et l'usage des antimicrobiens en médecine vétérinaire ont sans nul doute, contribué à l'amélioration de la productivité et de la santé animale au cours des dernières décennies. (PIDDOCK, 1996 ; JOHNSTON, 1998).

Cependant, leur utilisation dans l'alimentation animale en tant que promoteur de croissance ou pour la prévention et le traitement de différentes maladies infectieuses, a également, progressivement, contribué à une sélection de résistances vis-à-vis de différentes familles d'antibiotiques parmi les microorganismes pathogènes et commensaux rencontrés au niveau des différentes flores de l'organisme des individus traités (MAINIL, 2021).

Les promoteurs de croissance sont des antibiotiques administrés à de faibles doses dans l'alimentation animale. Ils ont un effet préventif sur certaines infections bactériennes et altèrent la composition du microbiote intestinal, ce qui entraîne une meilleure absorption des nutriments par les animaux. Ces effets protecteurs se traduisent par une amélioration des performances zootechniques, telles qu'une augmentation de la vitesse de croissance. (THAI et YAMAGUCHI, 2012).

L'évolution et l'utilisation fréquente de ces facteurs de croissances représentent un réel risque pour la santé publique en entraînant la présence de résidus d'antibiotiques dans les produits alimentaires dérivés de ces animaux, ainsi que la sélection de bactéries résistantes à ces médicaments (SANDERS *et al.*, 2017).

2. Résistances aux antibiotiques

Au cours des dernières décennies du XXe siècle et au début du XXIe siècle, un phénomène préoccupant est apparu : la montée en puissance de la résistance aux antibiotiques dans divers pathogènes bactériens à l'échelle mondiale, en effet l'abus et la surutilisation d'antibiotiques ont favorisé l'émergence rapide de souches bactériennes résistantes, rendant certains pathogènes insensibles à plusieurs antibiotiques simultanément, que l'on qualifie de multirésistantes (RAMGANESH *et al*, 2022).

L'accroissement des résistances bactériennes est intimement lié au niveau d'utilisation des antibiotiques. Comme l'indique (VANDAËLE, 2012), "Ce sont bien les usages antibiotiques, bons ou mauvais, qui sont les (seuls) responsables de la sélection de la souche qui mute vers la résistance". En effet les antibiotiques les plus largement utilisés présentent les taux de résistance les plus élevés chez *Escherichia coli* (VANDAËLE, 2012 ; BONNET, 2014).

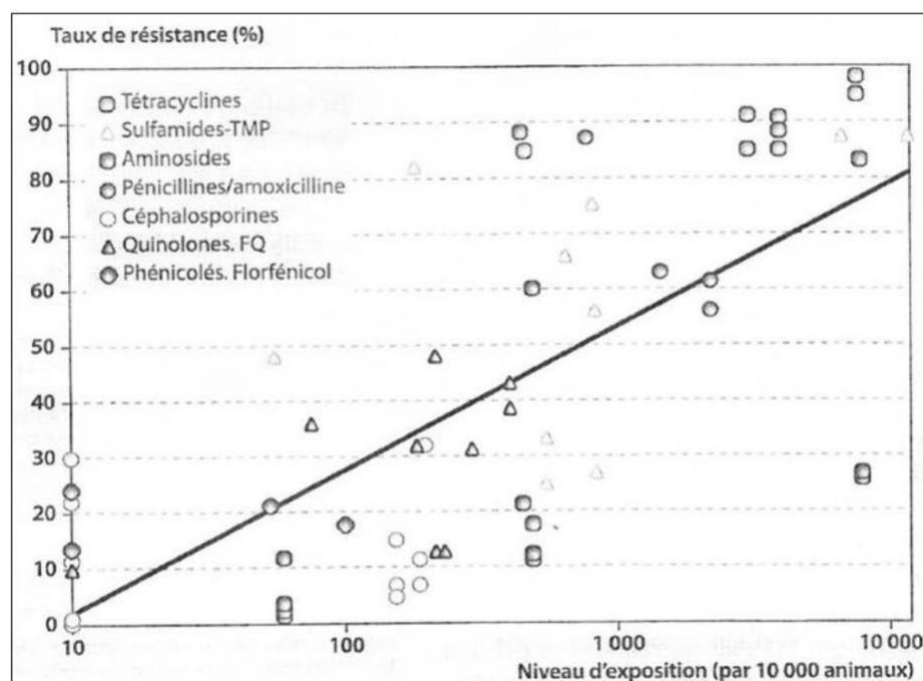


Figure 05 : Résistance d'*Escherichia coli* selon l'exposition (bovins, porcs, volailles, lapins) (VANDAËLE, 2012 ; BONNET, 2014).

2.1. Définition

La résistance aux antibiotiques ou antibiorésistance désigne la capacité des micro-organismes à survivre ou à proliférer en présence d'un antibiotique. Un micro-organisme est considéré comme "résistant" lorsque sa concentration minimale inhibitrice (CMI) est plus élevée que celle requise pour inhiber la croissance de la plupart des autres souches de la même espèce. Les bactéries sont qualifiées de multirésistantes lorsqu'elles développent une résistance à plusieurs antibiotiques ou classes pharmacologiques d'antibiotiques, résultant de l'accumulation de résistances naturelles et acquises. (CARLE, 2009).

2.2. Origine des résistances bactériennes aux antibiotiques

La résistance bactérienne aux antibiotiques trouve son origine dans l'émergence et la propagation de mutations génétiques et de mécanismes adaptatifs au sein des populations bactériennes exposées à ces agents antimicrobiens. L'histoire de la pénicilline, depuis sa découverte par Fleming en 1928 jusqu'à son utilisation massive pendant la Seconde Guerre mondiale grâce à Florey et Chain, illustre le début de cette lutte contre les infections bactériennes (PATRICK GROHS, 2017). Cependant, dès les premières années de son introduction, des souches résistantes de *Staphylococcus aureus* ont été observées, marquant le début d'une course entre l'évolution de la résistance bactérienne et le développement de nouveaux antibiotiques (BARBER, 1948).

Des chercheurs ont constaté l'apparition de souches de *Staphylococcus aureus* résistantes, principalement dans les hôpitaux de Londres, où le taux de résistance est passé de 14% en 1946 à 59% en 1948 (BARBER 1948). Cette tendance s'est poursuivie avec d'autres antibiotiques tels que le chloramphénicol, la tétracycline, l'érythromycine et la vancomycine, qui ont tous rencontré des résistances peu de temps après leur mise sur le marché (PALUMBI, 2001).

La capacité des bactéries à acquérir rapidement des mécanismes de résistance s'explique par leur caractère unicellulaire, leur matériel génétique simple et leur taux

élevé de reproduction (MICHAEL, 2014). Cette évolution rapide a été accélérée par l'utilisation généralisée des antibiotiques au cours des 70 dernières années, entraînant une pression de sélection considérable sur les populations bactériennes (AMINOV, 2009). Ainsi, toute nouvelle classe d'antibiotiques est confrontée à l'émergence inévitable de souches résistantes. En réalité, la résistance bactérienne aux antibiotiques met en lumière l'existence préalable de mécanismes de résistance, démontrant que la résistance a précédé l'utilisation généralisée des antibiotiques et a été révélée par la pression de sélection exercée (MARSTON et al, 2016 ; DAVIS et al, 2012).

2.3. Types d'antibiorésistance

2.3.1. Résistance naturelle

La résistance est dite naturelle, si toutes les souches d'une même espèce sont résistantes à un antibiotique ; ceci sous-entend que ces souches bactériennes ont manifesté d'emblée un phénomène de résistance, avant toute pression sélective, en exprimant une propriété innée (le phénotype sauvage) (CHARDON et BRUGERE, 2014).

Cette résistance est stable et est transmise de manière constante à leur descendance lors des divisions cellulaires (Transmission verticale). Cependant, elle n'est généralement pas transmissible d'une bactérie à une autre par un processus de transmission horizontal. (MARTINEZ ET BAQUERO, 2000).

2.3.2. Résistance acquise

Les bactéries ont la capacité de développer une résistance aux antibiotiques. Ce phénomène peut résulter de l'acquisition par la bactérie de matériel génétique par conjugaison ou transposition, ou encore de mutations dans son propre ADN chromosomique (RAZA *et al.*, 2021).

Les mutations chromosomiques sont stables et héréditaires, affectant souvent une seule famille d'antibiotiques. En revanche, l'acquisition horizontale de gènes survient

lorsque les organismes acquièrent du matériel génétique provenant d'autres sources, comme des plasmides, des intégrons ou des bactériophages. Ces résistances peuvent affecter plusieurs antibiotiques et sont transmises verticalement à la descendance ou horizontalement à d'autres organismes (COURVALIN, 2016 ; CHARDON et BRUGERE, 2014).

2.4. Les Mécanismes de résistances aux antibiotiques

2.4.1. Modification de la cible

La modification de la cible est une stratégie adoptée par les bactéries pour contrer toutes les familles d'antibiotiques. Les bactéries Gram-négatives, en particulier, développent une résistance élevée en altérant les cibles primaires et secondaires. Les antibiotiques d'une même famille ciblent généralement une structure similaire, ce qui peut provoquer une résistance croisée à toutes les molécules de cette famille.

Les bactéries peuvent modifier la cible en changeant sa structure ou en développant une voie métabolique alternative. Cela implique notamment les ribosomes, les parois cellulaires et les enzymes impliquées dans le métabolisme de l'ADN. Par exemple, les macrolides se lient aux ribosomes bactériens. Pour résister à cette classe d'antibiotiques, les bactéries peuvent muter les gènes codant pour les ribosomes, empêchant ainsi l'antibiotique de les reconnaître et de se fixer efficacement (GUÉRIN-FAUBLÉE, 2010 ; BONNET, 2014).

2.4.2. Inactivation enzymatique

La résistance par inactivation se produit lorsque des enzymes modifient la structure de l'antibiotique, entraînant ainsi la perte d'affinité de l'antibiotique pour sa cible. Ce mécanisme, largement répandu dans la nature, peut être extracellulaire ou intracellulaire. Par exemple, les pénicillines et le chloramphénicol sont inactivés dans le milieu de culture par des enzymes excrétées à l'extérieur de la bactérie, tandis que les aminosides sont inactivés à l'intérieur du cytoplasme de la bactérie par des enzymes intracellulaires (WRIGHT, 2011).

Actuellement, la principale méthode de résistance des bactéries à Gram négatif

aux β -lactamines repose sur la production d'enzymes hydrolytiques appelées β -lactamases (BRADFORD, 2001).

Les β -lactamases sont des enzymes bactériennes qui agissent en altérant le noyau actif de l'antibiotique, soit par clivage ou par l'ajout d'un groupement chimique comme l'hydrolyse, l'acétylation, la phosphorylation ou la nucléotidylation. Cette modification perturbe la liaison de l'antimicrobien à sa cible, entraînant une désactivation de son activité (BONOMO, 2017).

2.4.3. Pompe à efflux

Les pompes à efflux, sont des protéines transmembranaires utilisées par les bactéries pour expulser hors de la cellule des substances indésirables, y compris les antibiotiques. Elles agissent en facilitant l'efflux actif de métabolites et de composés toxiques étrangers (CATTOIR, 2004).

Ces systèmes de pompage sont constitués de protéines capables d'expulser les antibiotiques de l'espace périplasmique ou du cytoplasme bactérien. Ils peuvent être spécifiques à un antibiotique ou conférer une résistance à plusieurs groupes d'antibiotiques, constituant ainsi un mécanisme majeur de résistance bactérienne (ZGURSKAYA et NIKAIDO, 2000).

2.4.4. Imperméabilité

L'imperméabilité de la membrane bactérienne résulte de modifications ou d'inactivations des porines, des canaux permettant le passage passif de substances à travers cette membrane. Ce phénomène, observé principalement chez les bactéries à Gram négatif, se caractérise par une diminution de la perméabilité membranaire. Ces modifications altèrent la quantité ou la qualité des porines membranaires, ce qui réduit la concentration de l'antibiotique à son site d'action (SCHMIEDER et EDWARDS, 2012).

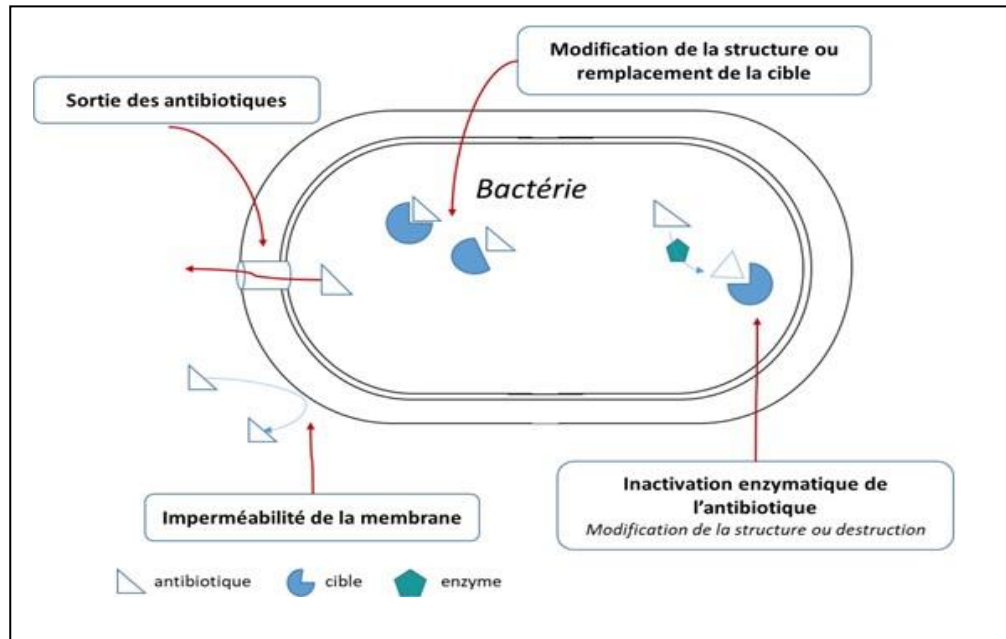


Figure 06 : Principaux mécanismes de résistance aux antibiotiques (OPATOWSKI, 2020).

3. Mécanismes de résistance d'*Escherichia coli* vis-à-vis des antibiotiques

Escherichia coli a développé plusieurs mécanismes pour résister aux antibiotiques, compromettant leur efficacité. Comprendre ces mécanismes spécifiques à *Escherichia coli* est essentiel pour lutter contre les infections résistantes et améliorer les traitements.

Tableau 03 : Mécanismes de résistance d'*Escherichia coli* vis-à-vis des antibiotiques.

Antibiotique	Mécanismes de résistance d' <i>Escherichia coli</i> aux antibiotiques	Références
Bêtalactamines	Les entérobactéries, y compris <i>Escherichia coli</i> , développent des mécanismes de résistance aux β -lactamines qui se manifestent principalement par des altérations de perméabilité limitant l'entrée de l'antibiotique, l'expression de pompes à efflux actives, la modification de l'affinité de la cible (PLP), et surtout par l'inactivation enzymatique par les β -lactamases.	ABRAHAM et CHAIN, 1940

Quinolones	<ul style="list-style-type: none">- La capacité des bactéries à développer une résistance aux quinolones peut varier et est majoritairement liée à des mutations chromosomiques. Ces mutations affectent les gènes codant pour les topoisomérases, ce qui entraîne une réduction de l'affinité de ces enzymes pour les quinolones.- De plus, la résistance peut résulter d'une diminution de la pénétration de l'antibiotique dans la bactérie, notamment chez les bactéries à Gram négatif où l'on observe une diminution des porines.- Un autre mécanisme de résistance implique l'augmentation du transport actif de l'antibiotique hors de la bactérie, un processus observé aussi bien chez les bactéries à Gram négatif que chez celles à Gram positif.	GAUDY, 2005
-------------------	---	-------------

Aminosides	<p>Les mécanismes de résistance aux aminosides :</p> <ul style="list-style-type: none">- Altération de la cible : La mutation de l'ARN 16S, cible des aminosides, peut entraver leur action. Plus précisément, des modifications telles que la méthylation aux positions G1405 (N7), A1408 et C1407 (N5) de l'ARN 16S peuvent interférer avec l'efficacité des aminosides.- Modification enzymatique de l'antibiotique : Les enzymes bactériennes peuvent altérer les aminosides, perturbant ainsi leur liaison à l'ARN 16S. Ces enzymes, les plus courantes chez les bactéries Gram négatif et positif, agissent par acétylation (AAC), phosphorylation (APH) ou nucléotidylation (ANT) de certains groupements de l'antibiotique.- Piégeage de l'antibiotique : Certaines enzymes peuvent également piéger les aminosides, les rendant inefficaces sans modifier leur structure. Par exemple, une surproduction de phosphotransférase peut conduire à la formation d'un complexe enzyme-substrat inactif, bloquant l'action de la Tobramycine.	RAMIREZ, 2010
-------------------	---	---------------

<p>Fosfomycine</p>	<p>La résistance à la fosfomycine <i>Escherichia coli</i>, peut se produire de différentes manières :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protéine FosB : La protéine FosB rend la fosfomycine inefficace en hydrolysant l'antibiotique. Ce gène de résistance, souvent situé sur des plasmides, peut être transféré entre bactéries, facilitant ainsi la propagation de la résistance. - Altération des systèmes d'absorption : Chez <i>Escherichia coli</i>, la fosfomycine est absorbée par des transporteurs spécifiques comme GlpT et UhpT. Ces systèmes sont activés par l'AMPc (adénosine monophosphate cyclique). - Mutations génétiques : Des mutations dans certains gènes, , peuvent réduire les niveaux d'AMPc, ce qui affecte l'absorption de la fosfomycine. 	<p>ALFANDARI, 2014</p>
<p>Rifamycine</p>	<p>Les rifamycines sont soupçonnées d'interférer avec la synthèse de l'ARN. Des études en laboratoire ont confirmé que ces antibiotiques inhibent l'activité de l'ARN polymérase, une enzyme cruciale pour la production d'ARN, dans plusieurs types de bactéries, sans affecter l'activité de la polymérase d'ADN. Contrairement à d'autres antibiotiques qui se lient à l'ADN, les rifamycines agissent directement sur l'ARN polymérase. Cette spécificité d'action les distingue des autres antibiotiques qui ciblent la synthèse des acides nucléiques en se liant à l'ADN.</p>	<p>WEHRLI, 1968</p>

<p>Sulfamide</p>	<p>Des mutations ont été induites chez <i>Escherichia coli</i>, résiste aux sulfamides en produisant une enzyme alternative, modifiée pour éviter l'inhibition par les sulfamides tout en conservant sa fonction essentielle, elle résiste grâce à une enzyme alternative appelée dihydropteroate synthase résistante, codée par des gènes sur des plasmides. Ces enzymes, appelées Sul.</p>	<p>WISE, ABOUDONIA, (1975)</p>
-------------------------	--	--------------------------------

	enzymes, ont un site actif modifié qui réduit leur affinité pour les sulfamides, permettant à la bactérie de synthétiser l'acide folique même en présence de ces antibiotiques.	
Tétracycline	La tétracycline est due à la présence de gènes de résistance, notamment les gènes tet, dans les souches multi-résistantes (MDR) de la bactérie. Ces gènes codent pour des protéines qui agissent de différentes manières pour neutraliser ou réduire l'efficacité de la tétracycline.	QU, <i>et al</i> , 2019



**LES HUILES
ESSENTIELLES UNE
THÉRAPIE
NATURELLE**

Depuis des millénaires, les grandes civilisations de l'Orient et de l'Occident, comme les Sumériens, les Égyptiens, les Chinois et les Indiens, ont développé un savoir médicinal ancestral basé sur l'utilisation des plantes. Des textes anciens témoignent de leurs remèdes élaborés à partir de la richesse végétale qui les entourait (MAZARS, 2003 ; CLEMENT, 2005).

Au cours des dernières années, les substances naturelles, autrefois négligées au profit des molécules de synthèse, connaissent un regain d'intérêt significatif (RAHAL, 2016). En effet, certaines plantes sont connues pour produire plusieurs métabolites secondaires présentant une grande diversité biologique et structurale, leur conférant diverses propriétés telles que la protection contre les microorganismes pathogènes (GIBBON, 2008). Par conséquent, ces plantes représentent une source unique et renouvelable pour la recherche de nouveaux composés antibactériens afin de lutter contre la résistance aux antibiotiques. L'un des métabolites les plus exploités dans ces recherches est appelé "huile essentielle" (CHOUHAN et al, 2017).

1. Définition d'une huile essentielle

Les huiles essentielles sont des compositions naturelles complexes de métabolites secondaires volatils (KALEMBA, 2003). Elles sont extraites de diverses parties des plantes, telles que les feuilles, les graines, les bourgeons, les fleurs, les brindilles, les écorces, le bois, les racines, les tiges ou les fruits (BURT, 2004).

Selon la norme ISO 9235, une huile essentielle est 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 ».

2. Caractéristiques des huiles essentielles

2.1. Propriétés physiques

Les huiles essentielles sont des mélanges volatils de composés aromatiques qui peuvent se présenter sous forme liquide à température ambiante. Elles peuvent être incolores ou avoir des couleurs différentes allant du jaune pâle au vert émeraude, et du bleu au rouge brunâtre foncé (BALZ, 1999 ; ALJAAFARI *et al.*, 2019). De plus, les huiles essentielles sont généralement moins denses que l'eau, à l'exception des huiles de saffran et de clou de girofle (ARRIAZA, 2010). Enfin, ces produits peuvent être liposolubles ou solubles dans l'alcool et les solvants organiques, mais elles sont très peu solubles dans l'eau (ARRIAZA, 2010 ; JILANI et DICKO, 2012).

2.2. Composition chimique

La composition de nombreuses huiles essentielles a été décrite dans la littérature et varie en fonction de différents facteurs, incluant le stade de développement des plantes, les organes prélevés, la période et la zone géographique de récolte (KALEMBA et KUNICKA, 2003; BURT, 2004). L'étude de la composition chimique est effectuée, généralement, par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM) (BAKKALI *et al.*, 2008; KHODAMI *et al.*, 2018), mais la résonance magnétique nucléaire (RMN) peut également être utilisée (TOMI et CASANOVA, 2006).

Les huiles essentielles sont des mélanges très complexes pouvant contenir environ 20 à 60 composés à des concentrations variées. Elles sont caractérisées par deux ou trois composants majoritaires représentant 20 à 70 % du mélange total, les autres composants étant présents en quantités minimales. Généralement, ces composants majoritaires déterminent les propriétés biologiques d'une huile essentielle. Ces composants peuvent varier même entre les huiles essentielles extraites de la même espèce de plante, ce qui permet de les classer en sous-catégories appelées "chénotypes" (KALEMBA et KUNICKA, 2003; BAKKALI *et al.*, 2008).

Les constituants des huiles essentielles appartiennent presque exclusivement à deux groupes biosynthétiques distincts (CROTEAU *et al.*, 2000; BETTS, 2001 ; PICHERSKY *et al.*, 2006):

- Le groupe des terpènes et des terpénoïdes (plus fréquents).
- Le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane (moins fréquents).

2.2.1. Les terpènes et les terpénoïdes

Les terpènes sont des hydrocarbures aux structures et fonctions diversifiées, formés par la combinaison d'unités d'isoprène (C₅H₈). Leur biosynthèse commence dans le cytoplasme avec la production de l'isopentylpyrophosphate (IPP) via la voie de l'acide mévalonique à partir de l'acétyl-CoA. Les IPP s'assemblent ensuite pour former le prényldiphosphate, le précurseur des différentes classes de terpènes. Le prényldiphosphate est réarrangé par des synthétases spécifiques pour créer le squelette du terpène, qui subit ensuite des modifications enzymatiques secondaires (réactions redox) pour acquérir ses propriétés fonctionnelles.

Les principaux terpènes présents dans les huiles essentielles sont les monoterpènes (C₁₀) et les sesquiterpènes (C₁₅), bien que des terpènes à chaînes plus longues, tels que les diterpènes (C₂₀) et les triterpènes (C₃₀), puissent également être présents (BAKKALI *et al.*, 2008 ; CHOUHAN *et al.*, 2017).

2.2.2. Les composés aromatiques (phénylpropènes)

Les phénylpropènes sont synthétisés chez les plantes à partir de l'acide aminé phénylalanine, lui-même produit par la voie de l'acide shikimique (MAEDA et DUDAREVA, 2012). La phénylalanine sert de précurseur à une sous-famille de composés organiques appelés phénylpropanoïdes. Bien que constituant une proportion relativement faible des huiles essentielles, les phénylpropènes les plus étudiés incluent le safrole, l'eugénol, l'isoeugénol, la vanilline et le cinnamaldéhyde (CHOUHAN *et al.*, 2017).

3. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

3.1. Entraînement à la vapeur d'eau

L'entraînement à la vapeur d'eau est une méthode reconnue pour extraire les huiles essentielles sans contact direct entre l'eau et la matière végétale. La vapeur produite par une chaudière traverse la matière végétale, provoquant l'éclatement des cellules et la libération de l'huile essentielle. Cette huile se vaporise et forme un mélange avec la vapeur d'eau, qui est ensuite condensé et séparé en deux phases : l'une aqueuse et l'autre contenant l'huile essentielle, prévenant l'hydrolyse et la dégradation de l'huile (MEYER-WARNOD, 1984).

3.2. L'hydrodistillation

L'hydrodistillation est une méthode utilisée pour extraire les huiles essentielles des plantes. Elle consiste à immerger la matière végétale dans un bain d'eau et à chauffer le mélange jusqu'à ébullition. Cette opération se déroule généralement à pression atmosphérique. Pendant le processus, un système de recyclage appelé cohobage peut être utilisé, où l'eau florale est renvoyée du vase florentin vers le réacteur grâce à un siphon. À la fin de la distillation, l'huile essentielle est recueillie à partir du réacteur par un robinet situé en bas du vase (BOURREL, 1993).

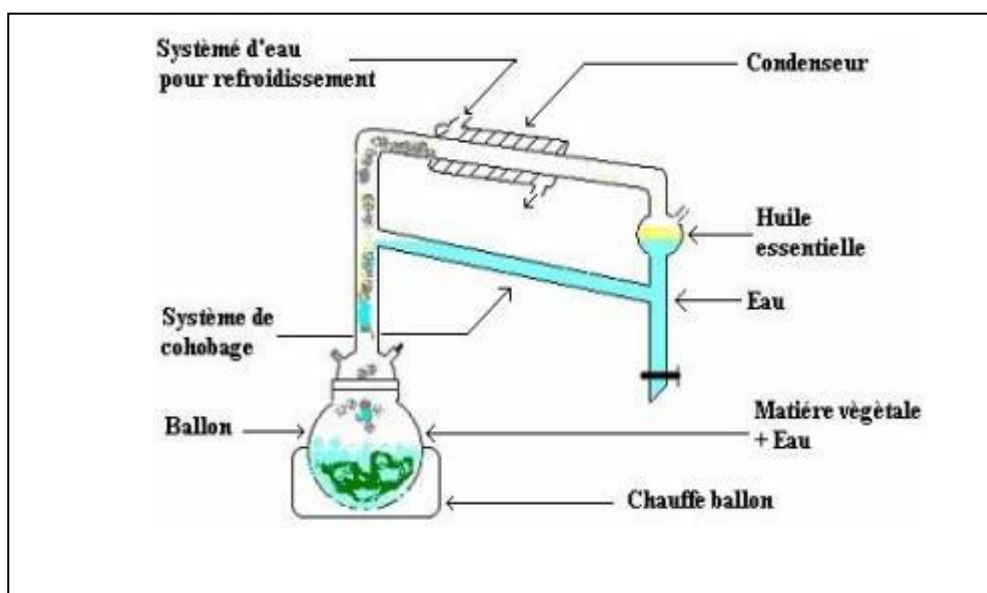


Figure 07 : Appareillage utilisé pendant l'hydrodistillation d'huile essentielle (BOURREL, 1993).

4. Activité antimicrobienne

De nombreuses études ont rapporté que les huiles essentielles (HE) possèdent des activités contre un large éventail de bactéries, tant Gram positif que Gram négatif. En raison de la variabilité des quantités et des profils des composants des HE, il est probable que leur activité antimicrobienne résulte de plusieurs mécanismes d'action à différents niveaux cellulaires plutôt que d'un seul mécanisme (BURT, 2004).

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles dépend principalement de leur composition chimique, notamment des composés volatils majeurs qu'elles contiennent (SIPAILIENE *et al.*, 2006 ; OUSSOU, 2009). Les constituants des huiles essentielles peuvent être classés en deux catégories selon leur voie de biosynthèse : les terpénoïdes et les phénylpropanoïdes (BUCHANAN *et al.*, 2000).

De manière générale, les huiles essentielles ont démontré divers effets toxiques sur les bactéries, tels que la perturbation de la membrane cytoplasmique, l'altération de la force motrice des protons, la fuite d'électrons et la coagulation des protéines cellulaires (DORMAN et DEANS, 2000 ; OUSSALA *et al.*, 2006 ; BEKHECHI, 2008). Le caractère hydrophobe des HE permet aux molécules d'affecter et de déstabiliser la membrane cytoplasmique bactérienne, ce qui entraîne une augmentation de la perméabilité membranaire, provoquant la fuite d'ions et de composants intracellulaires essentiels à la survie de la bactérie, aboutissant finalement à la mort cellulaire (BURT, 2004).

En général, les huiles essentielles sont plus efficaces contre les bactéries Gram-positives que Gram-négatives (NAZZAR *et al.*, 2013). La structure de la paroi cellulaire des bactéries Gram-positives permet aux molécules hydrophobes de pénétrer facilement et d'agir sur la paroi cellulaire ainsi qu'à l'intérieur du cytoplasme (TIWARI *et al.*, 2009). À l'inverse, chez les bactéries Gram-négatives, la présence de lipopolysaccharides autour de la couche de peptidoglycane restreint la diffusion des composés hydrophobes vers le cytoplasme (TROMBETTA *et al.*, 2005).

5. Généralité sur la cannelle de chine (*Cinnamomum cassia*)

Le cannelier de Chine est un arbre tropical à feuillage persistant qui se développe dans les climats tropicaux, en particulier en Chine et en Égypte (BAUDOUX, 2015). Il peut atteindre une hauteur moyenne de 18 à 20 mètres avec un tronc de 40 à 60 cm de diamètre et une écorce grise à marron, atteignant jusqu'à 13 à 15 mm d'épaisseur à maturité (RAVINDRAN *et al.*, 2003).

Pendant la récolte de la cannelle, les branches sont coupées pour en extraire l'écorce. L'écorce est ensuite débarrassée de son épiderme et mise à sécher. Durant le séchage, elle se roule naturellement sur elle-même pour former des bâtonnets friables ressemblant à des tubes. (EDET, 2004 ; PAUL, 2001).

Cinnamomum cassia, également connu sous le nom de *Cinnamomum aromaticum*, est obtenu par distillation à la vapeur d'eau des feuilles, des rameaux et de l'écorce. Elle appartient à l'embranchement des Spermatophytes, sous-embranchement des Angiospermes, classe des Dicotylédones, L'ordre des Laurales, famille des *Lauraceae*, genre *Cinnamomum*, et espèce *Cinnamomum cassia* (RAVINDRAN *et al.*, 2004).

La cannelle est remarquablement riche en cinnamaldéhyde, un composé phénolique volatil doté d'un fort pouvoir antioxydant, anti-inflammation et antimicrobien. L'huile essentielle de cannelle agit efficacement contre les bactéries, les virus, les champignons et les parasites (BRUNETON, 2009 ; GOSWAMI, 2013).

6. Généralité sur le *Cymbopogon martini* (Palmarosa)

Cymbopogon martinii, une plante de la famille des *Poaceae* mieux connue sous le nom de Palmarosa, est une source importante d'huile essentielle largement utilisée dans l'industrie de la parfumerie, de la cosmétique et de la pharmacie. Principalement cultivée en Inde, au Pakistan, en Indonésie, au Brésil, à Madagascar et aux Comores (FRANCHOMME *et al.*, 1990) la Palmarosa présente un rendement moyen en huile essentielle d'environ 0,79%, (KAUL et RAJESWARA, 1998), elle se distingue par sa richesse en monoterpénols, notamment le géraniol qui constitue plus

de 50% de sa composition, et d'esters confère à cette huile essentielle un profil aromatique distinctif. (TSAI *et al.*, 2011).

L'huile essentielle de palmarosa est réputée pour ses remarquables propriétés thérapeutiques, en effet elle présente des activités antimicrobiennes, antifongiques, antivirales, antihelminthiques, antioxydantes et cytotoxiques. Grâce à sa relative faible toxicité, sa volatilité élevée et sa biodégradabilité, l'huile essentielle de Palmarosa constitue un choix attractif comme additif alimentaire naturel (PROMILA, 2018).

7. Généralité sur *Lavandula stoechas*

Lavandula stoechas, également connue sous les noms de lavande française, lavande italienne, lavande espagnole, lavande des stoechades, lavande maritime, lavande papillon ou lavande à toupet, est une espèce historiquement significative, étant la première lavande à être formellement décrite. Cette lavande possède le territoire géographique le plus vaste parmi les lavandes, se trouvant dans tout le bassin méditerranéen, incluant l'Europe méridionale, l'Afrique du Nord et le Moyen-Orient, avec une petite disjonction à la frontière entre la Libye et l'Égypte. En termes de classification, elle appartient au règne végétal, embranchement des Magnoliophyta (Angiospermes), classe des Magnoliopsida (Dicotylédones), ordre des Lamiales, famille des *Lamiaceae* (ou Labiées), genre *Lavandula* et espèce *Lavandula stoechas* (BENABDELKADER, 2012).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Matériels et Méthodes

Problématique

La propagation de la multirésistance dans les élevages de poulets de chair est devenue un problème majeur en santé publique. La consommation de viande contaminée peut être à l'origine de la transmission de cette bactérie, qui possède de nombreux gènes de résistance aux antibiotiques. Ce germe peut conduire à des infections difficiles à traiter chez les humains, mettant en danger l'efficacité des médicaments antibiotiques et la santé publique en général.

Objectif du travail

Cette recherche avait pour but principal d'isoler et de caractériser les souches multirésistantes d'*Escherichia coli* présentes au sein des fientes aviaires. L'évaluation de leur sensibilité à un large éventail d'antibiotiques a été effectuée, puis une investigation épidémiologique a ensuite été menée pour mieux comprendre les facteurs impliqués dans la propagation de ces souches résistantes. Enfin, dans l'optique de proposer une alternative thérapeutique face au phénomène d'antibiorésistance, le potentiel antimicrobien d'huiles essentielles contre ces souches a été exploré.

Lieu et durée de stage

L'étude a été menée au niveau du Laboratoire de Biochimie Analytique et Biotechnologie (LABAB) de l'Université Mouloud Mammeri, Tizi-ouzou pendant une durée de trois mois allant de février à mai 2024.

Fiche d'enquête

Une fiche d'enquête a été élaborée pour chaque échantillon afin de documenter les informations spécifiques relatives aux conditions d'élevage des volailles. (Annexe N°02)

1. Matériels

1.1. Matériels biologiques

1.1.1. Souches testées

Cette étude a porté sur 35 échantillons de fientes collectés dans des poulaillers privés d'élevage de poulets, à partir de différents bâtiments, récoltés au niveau de la commune de Freha, située dans la wilaya de Tizi-Ouzou en Algérie.

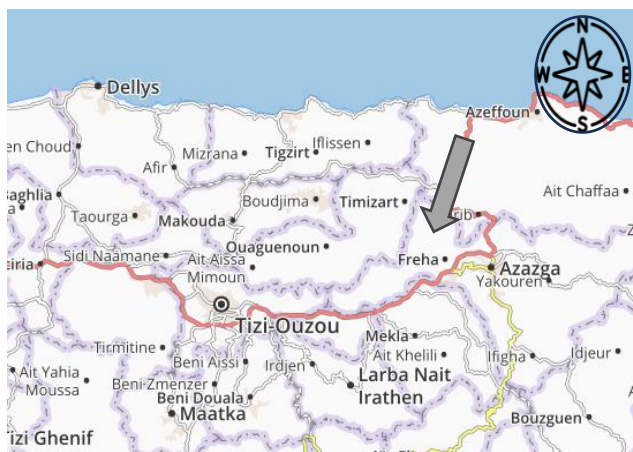


Figure 08 : Carte géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou (Google earth).

1.1.2. Souches de références

La souche de référence *Escherichia coli* ATCC 25922 a été employée pour garantir la qualité des tests d'antibiogramme.

1.1.3. Huiles essentielles

Les huiles essentielles extraites de *Cinnamomum cassia*, *Cymbopogon martini* et *Lavandula stoechas* ont été employées dans cette étude.

1.2. Matériel du laboratoire

Le matériel utilisé est celui du Laboratoire de Biochimie Analytique et de Biotechnologie (l'annexe 03 renferme la liste du matériel du laboratoire utilisé).

2. Méthodes

2.1. Prélèvement

En suivant des protocoles rigoureux pour préserver l'intégrité des échantillons jusqu'au laboratoire, des fientes de poules ont été prélevées du sol à l'aide d'une spatule stérile, puis transférées dans des pots afin de les analyser ultérieurement.



Figure 09 : Prélèvement de fiente aviaire (photo personnelle).

2.2. Pré enrichissement

Après réception des échantillons de fientes au laboratoire, à l'aide d'une spatule stérile, 1 g de matière fécale est mis dans 10 ml d'eau peptonée tamponnée. Les tubes marqués sont ensuite incubés dans une étuve pendant 24 heures à 37°C.

2.3. Enrichissement

1 ml de la solution de pré-enrichissement est mis dans 9 ml de BHIB, suivi d'une incubation à 37°C pendant 24 heures.

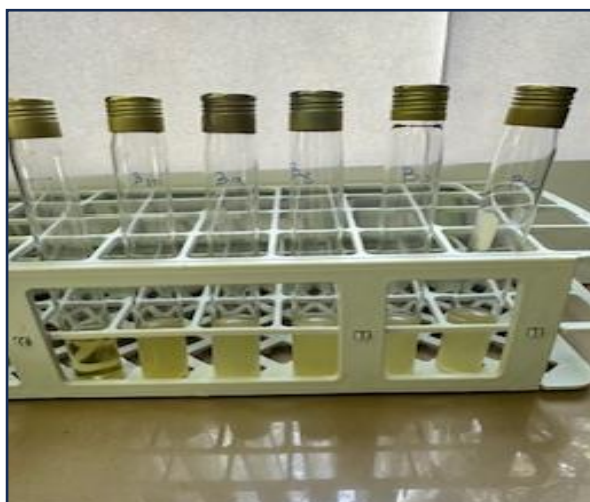


Figure 10 : Tube de BHIB après incubation à 37°C pendant 24h (photo personnelle).

2.4. Isolement

L'isolement des souches d'*Escherichia coli* a été effectué sur milieu sélectif Hektoen, en utilisant la technique d'épuisement par stries.

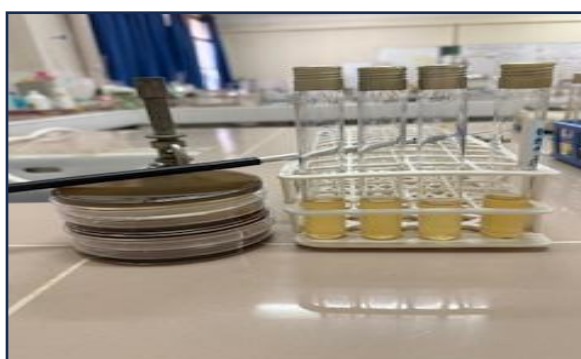


Figure 11 : Ensemencement de la gélose Hektoen à partir du BHIB ensemencer (photo prise au laboratoire).

2.5. Purification

Les colonies caractéristiques d'*Escherichia coli* sont purifiées par repiquage successif sur milieu Hektoen, suivie d'une incubation à 37°C pendant 24 heures.

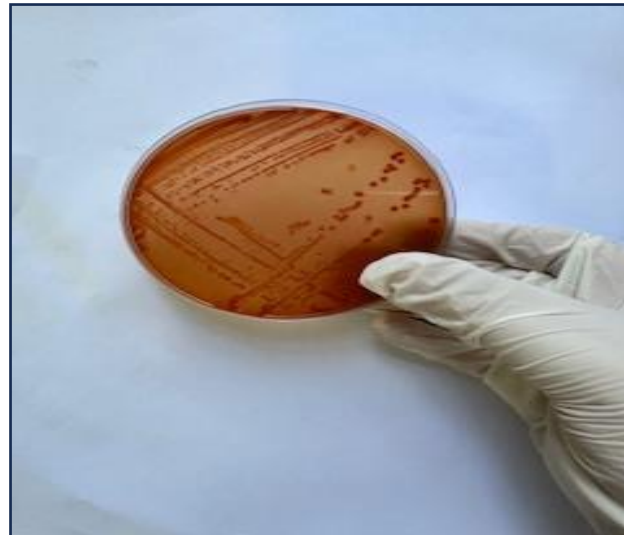


Figure 12 : Souche pure d'*Escherichia Coli* (photo personnelle).

2.6. Identification

L'identification s'effectue à travers diverses techniques basées sur les caractéristiques morphologiques (macroscopique), microscopiques et biochimiques.

2.6.1. Identification macroscopique

Elle repose sur l'observation visuelle des caractéristiques des colonies bactériennes pures cultivées, en examinant leurs morphologies, leurs bordures et leurs aspects, ainsi que leur couleur, texture et opacité. Ces observations macroscopiques fournissent des indications initiales sur l'identité probable des bactéries en croissance.

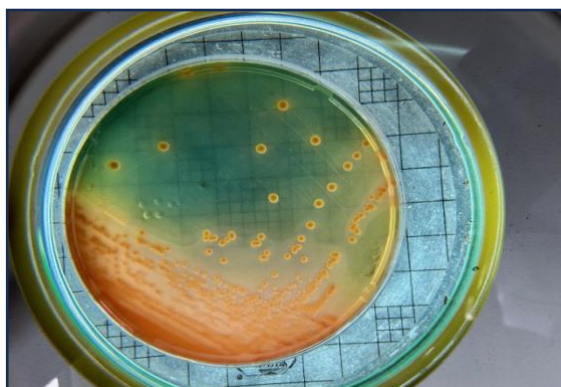


Figure 13 : Observation de colonie d'*Escherichia coli* sous loupe binoculaire (photo personnelle).

2.6.2. Identification microscopique

L'identification microscopique se fait en observant les bactéries sous microscope optique. Après une coloration de Gram. Les bactéries Gram positives présentent la couleur violette, tandis que les bactéries Gram négatives sont colorées en rose. (Voir les étapes de la coloration de Gram annexe 04).

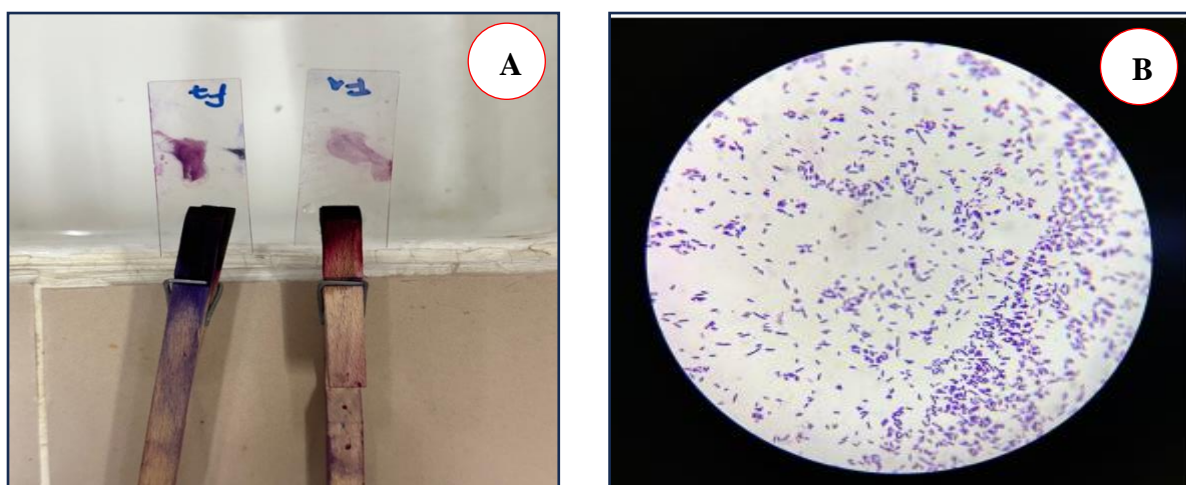


Figure 14: A: Réalisation des frottis bactérien, B: *Escherichia Coli* sous microscope optique objectif $\times 100$ (prise au laboratoire).

2.6.3. Identification biochimique

2.6.3.1. TSI (triple sugar iron)

Permet de différencier les entérobactéries et d'identifier certaines espèces bactériennes en fonction de leur capacité à fermenter trois sucres (glucose, lactose, saccharose) et à produire du gaz et des sulfures d'hydrogène (H_2S) dans le milieu.



Figure 15 : Test TSI Positif (photo personnelle).

2.6.3.2. Urée -indole

Permet de détecter la présence de l'enzyme uréase, et la production d'indole à partir du tryptophane désaminase.

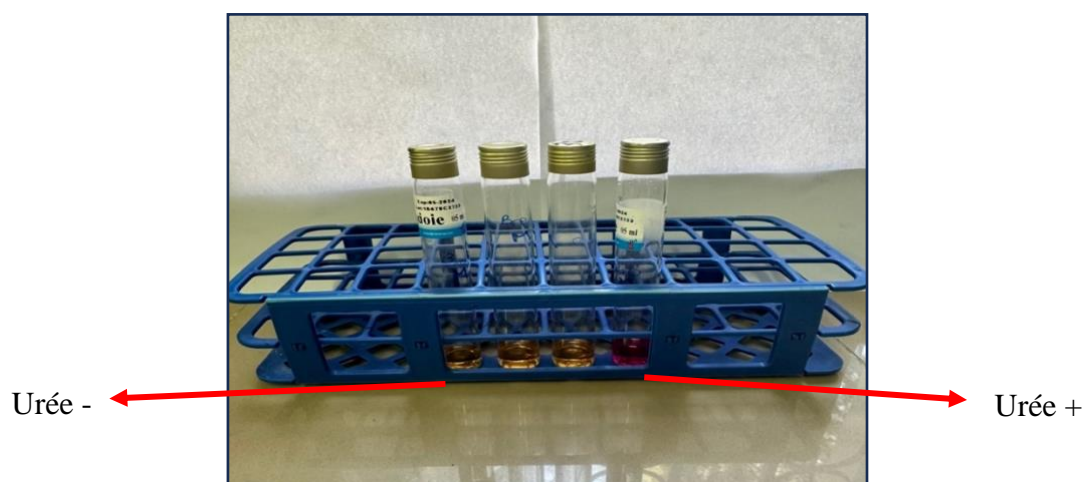


Figure 16: Test Urée-indole (Prise au laboratoire).

2.6.3.3. Mannitol mobilité

Le test du Mannitol est utilisé pour déterminer la capacité de la bactérie à fermenter le mannitol, et à produire de l'acide comme sous-produit, ce qui entraîne une diminution du pH du milieu provoquant un changement de couleur. Le test de mobilité évalue la capacité de la bactérie à se déplacer dans un milieu semi-solide, les bactéries mobiles se diffusant à partir de la ligne d'inoculation.



Figure 17: Test Mannitol- mobilité (photo personnelle).

2.6.3.4. Citrate de Simmons

Permet d'évaluer la capacité d'une bactérie à métaboliser le citrate comme unique source de carbone en présence de l'enzyme citrate perméase.

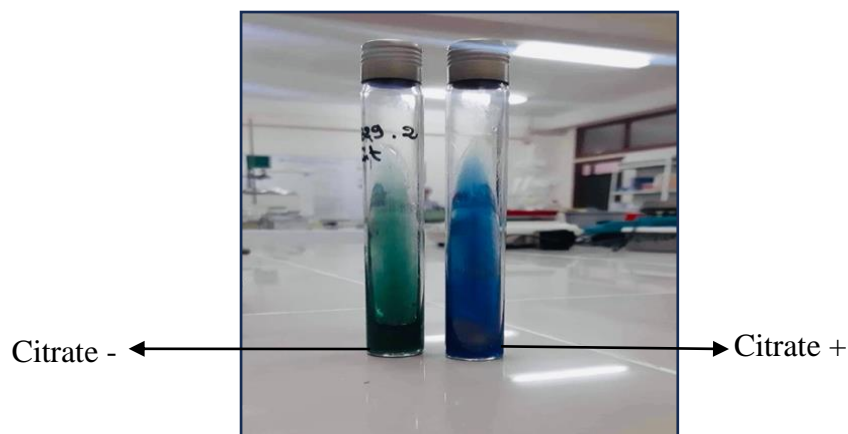


Figure 18 : Test Citrate de Simmons (photo personnelle).

2.6.3.5. Le test de catalase

Il vise à détecter la présence de l'enzyme catalase chez les bactéries responsable de la décomposition du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en eau (H_2O) et en oxygène (O_2).

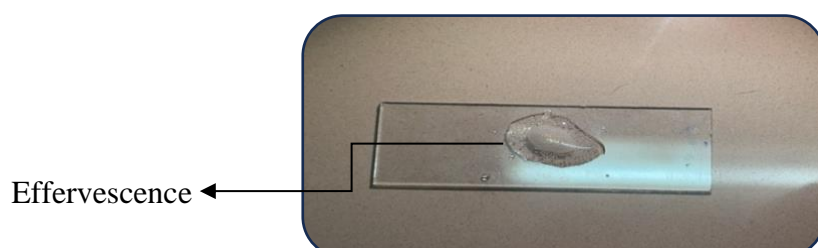
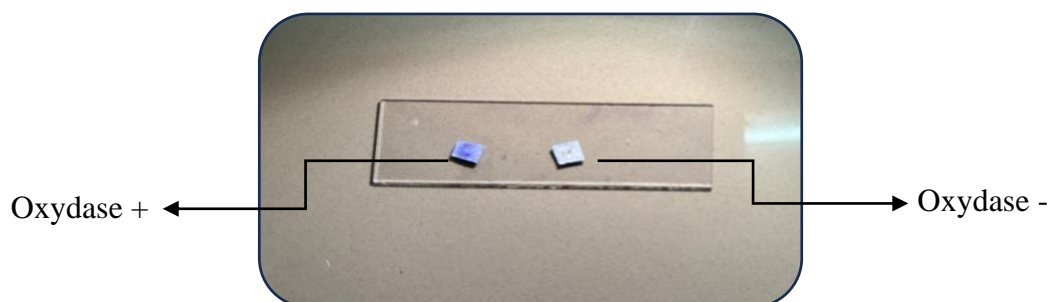


Figure 19 : Test de catalase (photo personnelle).

2.6.3.6. Le test d'oxydase

Le test d'oxydase est utilisé pour détecter la présence de l'enzyme cytochrome c oxydase chez les bactéries crucial dans le processus de transport d'électrons de la chaîne respiratoire.

**Figure 20** : Test de d'oxydase (photo personnelle).

2.7. Conservation des souches

La conservation des souches se fait principalement par deux méthodes distinctes. La première consiste à ensemencer les souches en pente ou par piqûre centrale dans des tubes contenant de la gélose de conservation. La seconde méthode implique le stockage des souches dans des cryotubes contenant des solutions de glycérol. Ces approches assurent la viabilité et la stabilité des souches sur le long terme.

2.8. Antibiogramme

L'antibiogramme est un test qui permet de déterminer la sensibilité d'une souche bactérienne vis-à-vis d'un ou de plusieurs antibiotiques connus en utilisant la méthode de diffusion des disques d'antibiotiques sur gélose. Son objectif est d'observer et de mesurer l'effet de ces antibiotiques sur la croissance et la survie des bactéries. (Voir les étapes de l'antibiogramme en annexe N°=05).

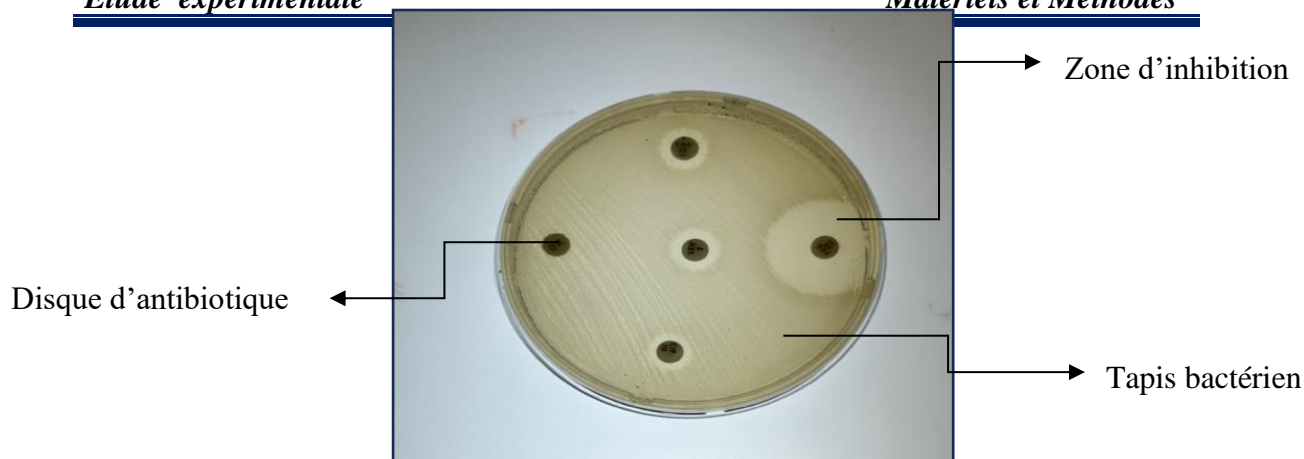


Figure 21 : Antibiogramme d'une souche d'*Escherichia coli* (photo personnelle).

2.9. Recherche de la production des β -lactamases à spectre élargi (BLSE)

La recherche phénotypique de la production de BLSE est réalisée par un test de synergie utilisant la technique DDS (Double Disk Synergy) sur gélose Mueller-Hinton. Ce test permet de mettre en évidence la présence de BLSE en observant une synergie entre un disque central d'antibiotiques contenant un inhibiteur de bêta-lactamase (amoxicilline-acide clavulanique AMC) et des disques de céphalosporines de troisième génération (comme la céfotaxime et la ceftazidime), ainsi que de quatrième génération (céfépime) et de l'aztréonam. Les disques sont placés à une distance de 25 à 30 mm de centre à centre, puis incubés pendant 18 à 24 heures à 37°C.

La présence de BLSE se manifeste par des zones d'inhibition caractéristiques ressemblant à des "bouchons de champagne", témoignant de l'effet synergique entre les disques contenant l'acide clavulanique et ceux contenant les céphalosporines testées.

2.10. Aromatogramme

L'aromatogramme est une méthode qui permet de déterminer la sensibilité des différentes espèces bactériennes à une huile essentielle donnée.

2.10.1. Préparation des dilutions

Dans des conditions aseptiques, une solution mère de l'huile essentielle à tester est préparée en prélevant à l'aide d'une micropipette 400 μ L d'huile essentielle pure. Cette solution mère est ensuite transférée dans un tube Eppendorf stérile. À partir de cette solution mère, une série de dilutions est réalisée, couvrant une gamme allant de la dilution 1/2 à la dilution 1/64. À chaque étape de dilution, 200 μ L de la solution mère sont dilués dans 200 μ L de DMSO.

2.10.2. Préparation de l'inoculum

Pour préparer les inoculums bactériens, des colonies pures de la souche à tester sont prélevées et suspendues dans de l'eau physiologique stérile. La densité optique est ensuite évaluée à l'aide d'un spectrophotomètre. Il est crucial d'ajuster avec précision cette densité pour qu'elle se situe entre 0,08 et 0,1 à une longueur d'onde de 625 nm, correspondant à environ 0,5 sur l'échelle de McFarland.

2.10.3. Ensemencement

L'ensemencement se fait par écouvillonnage sur la gélose Muller Hilton. Cette étape doit être réalisée dans les 15 minutes suivant la préparation de l'inoculum pour une efficacité maximale.

2.10.4. Dépôt des disques stériles

À l'aide d'une pince stérile, les disques de papier Wattman sont déposés avec précaution à la surface de la gélose préalablement ensemencée. Après le dépôt, chaque disque est imprégné de 10 uL des différentes dilutions préalablement préparé. Il est également important de noter qu'un disque témoin négatif, imprégné de 10 uL de DMSO, le diluant utilisé pour les dilutions de l'huile essentielle, est ajouté. De plus, un disque d'antibiotique, l'imipénème, pour lequel la souche est sensible, est déposé en tant que témoin positif.

2.10.5. Pré-incubation

Les boîtes sont pré-incubées pendant deux heures à 4 degrés pour permettre la diffusion de l'huile essentielle dans le milieu avant le début de la croissance bactérienne.

2.10.6. Incubation

Après la diffusion des huiles essentielles sur la gélose, les boîtes sont incubées à 37°C pendant 18 à 24 heures.

2.10.7. Lecture

Les zones d'inhibition sont mesurées avec précision à l'aide d'un pied à coulisse ou d'une règle calibrée.

3. Analyse statistique

Une analyse de correspondances multiples a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS dans le but d'étudier la relation entre les facteurs épidémiologiques.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

1. Résultats

1.1. Résultats microbiologiques

1.1.1. Résultats de l'identification

Après avoir effectué l'identification microscopique, macroscopique et biochimique, les colonies pures d'*Escherichia coli* sur le milieu Hektoen se présentent comme suit.

Tableau 04 : Résultats de l'Identification des Souches d'*Escherichia coli* Isolées.

Identification					
Macroscopique		Microscopique	Biochimique		
L'aspect	3mm	- Bactérie Gram négatif, colorée en rose.	TSI	Gaz+: décollement de la gélose.	
La forme	Colonie à bord régulier			H2S-: pas de précipité noir.	
Couleur	Saumon	- Bacille ou des coccobacille, isolés et en courtes chaînettes.	Citrate	Fermentation de glucose, de lactose et de saccharose.	
Opacité	Opaque			Culture +	
Élévation	Bombée			Citrate -	
Surface	Brillante et lisse			Urée - indole	Uréase - , indole +
Consistance	Humide et homogène			Mannitol mobilité	Mannitol + , Mobilité - / +
Odeur	caractéristique			Catalase	Catalase +
				Oxydase	Oxydase -

1.1.2. Résultats de l'antibiogramme

L'étude de la sensibilité de 25 souches d'*Escherichia coli* d'origine aviaire isolées de la matière fécale vis-à-vis de 24 antibiotiques, appartenant à différentes familles chimiques, a révélé la résistance de l'ensemble de souches testées à au moins un antibiotique.

Les résultats obtenus classent les souches en trois groupes distincts selon leur pourcentage de résistance aux antibiotiques (Tableau 05).

Le premier groupe regroupe les souches présentant les taux de résistance les plus élevés, situés entre 60 % et 100 %. On y retrouve les aminopénicillines telles que l'ampicilline (92 %), l'amoxicilline (80 %) et l'association amoxicilline-acide

clavulanique (76 %). Les tétracyclines montrent une résistance de 96 %, et l'acide nalidixique présente un taux de 72 %.

Le deuxième groupe inclut les souches avec une résistance moyenne, variant entre 20 % et 60 %. Parmi celles-ci, on compte une résistance à la Pénicillines (48 %), le chloramphénicol (28 %), le triméthoprim-sulfaméthoxazole (60 %), la lévofloxacine (40 %), la ciprofloxacine (32 %) et la kanamycine (28 %).

Enfin, le dernier groupe comprend les souches dont les pourcentages de résistance sont les plus faibles, allant de 0 % à 20 %. Notamment, la gentamicine (8 %), l'amikacine (4 %), l'aztréonam (4 %), et la céfalotine (16 %). Les céphalosporines de 3ème génération, telles que la céftazidime (8 %), la céfixime et cefotaxime ayant respectivement 2 %. La ceftriaxone (12 %), et la cefotaxime (2 %) présentent également de faibles taux de résistance.

Les souches sont toutes sensibles aux carbapénèmes (imipénème et ertapénème), aux céphalosporines de 2ème génération (céfoxitine) et à la tobramycine.

Parmi les souches testées, seulement trois ont été identifiées comme productrices de BLSE (bêta-lactamase à spectre étendu). Ces trois souches, après le test de synergie, se sont révélées résistantes aux céphalosporines de troisième et de quatrième génération, mais sensibles à la cefoxitine.

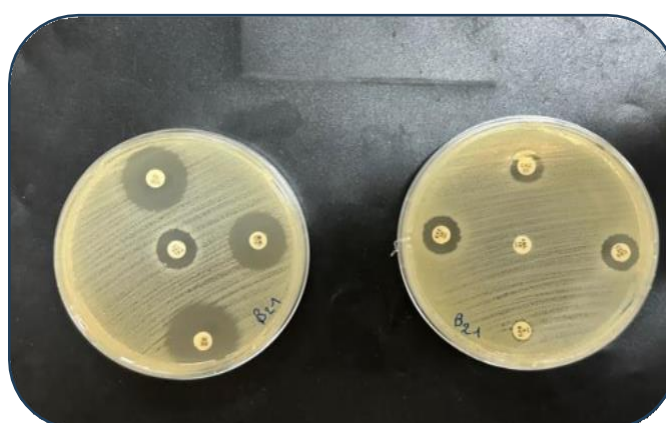


Figure 23 : Antibiogramme d'une souche d'*Escherichia coli* BLSE (photo personnelle).

Tableau 05 : Pourcentage de résistance et de sensibilité des souches testées.

Famille	Antibiotique	Abréviation	Charge	Pourcentages des souches sensibles	Pourcentages des souches intermédiaires	Pourcentages des souches résistantes
Amino-pénicilline et association	Amoxicilline	AML	25 µg	20%	0%	80 %
	Ampicilline	AMP	10	8%	0%	92%
	Amoxicilline+ acide clavulanique	AMC	10 µg	24%	0%	76%
Carbapénème	Imipénème	IMP	10 µg	100%	0%	0%
	Ertapénème	ETP	10 µg	100%	0%	0%
Monobactames	Aztréonam	ATM	30 µg	96%	0%	4%
Céphalosporine de 1ère génération	Céfalotine	KF	30 µg	84%	0%	16%
Céphalosporine de 2ème génération	Céfoxitine	FOX	30 mcg	100%	0%	0%
Céphalosporine de 3ème génération	Céftazidime	CAZ	30 mcg	92%	0%	8%
	Céfixime	CFM	5 mcg	84%	4%	2%
	Céfotaxime	CTX	30 µg	88%	0%	2%
	Ceftriaxone	CRO	30 µg	88%	0%	12%
Aminosides	Kanamycine	KAN	30 µg	72%	0%	28%
	Gentamicine	CN	10 µg	88%	4%	8%
	Amikacine	AK	30 mcg	96%	0%	4%
	Tobramycine	TOB	10 µg	100%	0%	0%
Tétracyclines	Tétracycline	TE	10 µg	0%	4%	96%
Pénicillines	Pipéracilline	PRL	100 µg	32%	20%	48%
Phénicolés	Chloramphénicole	CL	30 µg	72%	0%	28%
Association sulfamides	Triméthoprime sulfaméthoxazole	SXT	25 mcg	40%	0%	60%

Triméthoprime						
Quinolones et Fluoroquinolones	Acide Nalidixique	NA	30 µg	16%	12%	72%
	Lévofloxacine	LEV	5 µg	52%	8%	40%
	Ciprofloxacine	CIP	30 µg	56%	12%	32%
Acide phosphonique	Fosfomycine	FF	50 mcg	84%	4%	12%

Sur l'ensemble des souches collectées, 92 % des souches se sont avérées multirésistantes. Cette multirésistance est comprise entre 3 et 16 antibiotiques avec des taux de 8.7% et 4,3% respectivement. La résistance à 7 antibiotiques est la plus fréquemment observée avec un taux de 21.7%. En outre, 13,1 % des souches sont résistantes à 6 antibiotiques. Les souches résistantes à 3, 5, 7, 10, 11 et 15 antibiotiques présentent toutes un taux de résistance de 8,7 %, tandis que celles résistantes à 4, 9 et 16 antibiotiques ont un taux de résistance de 4,3 %. Enfin, aucun pourcentage de résistance n'a été observé pour les souches résistantes à 12, 13 et 14 antibiotiques (Figure 23).

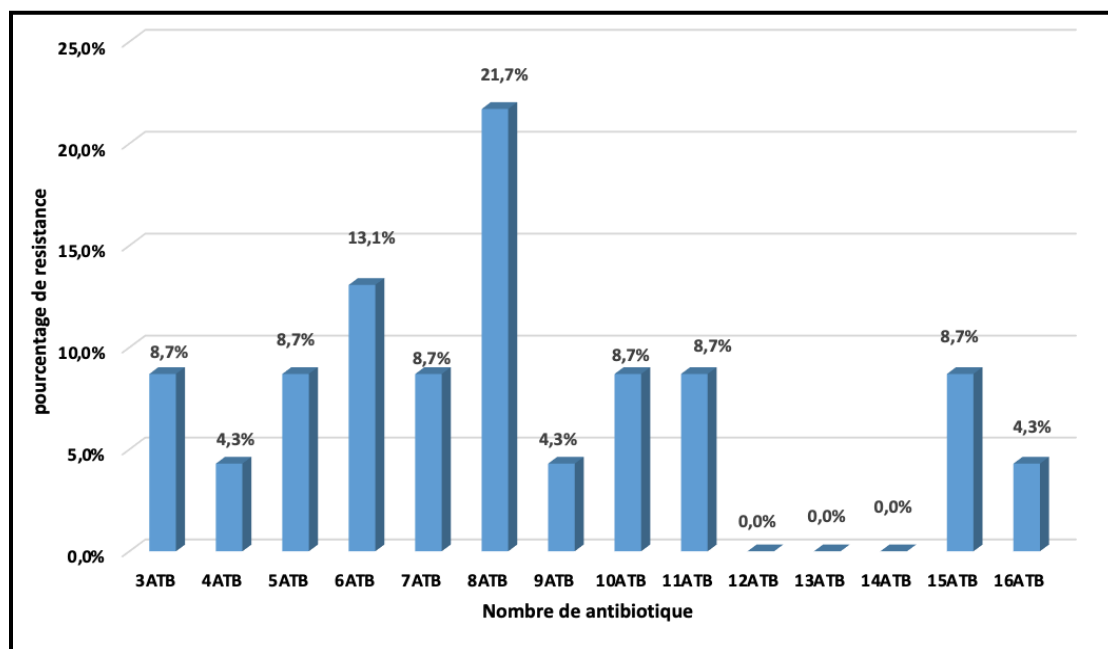


Figure 24 : Pourcentages de souches résistantes en fonction du nombre d'antibiotiques.

1.1.3. Résultats de l'aromatogramme

L'étude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de cannelle de Chine a révélé que les deux souches *Escherichia coli* testées sont sensibles à cette huile essentielle.

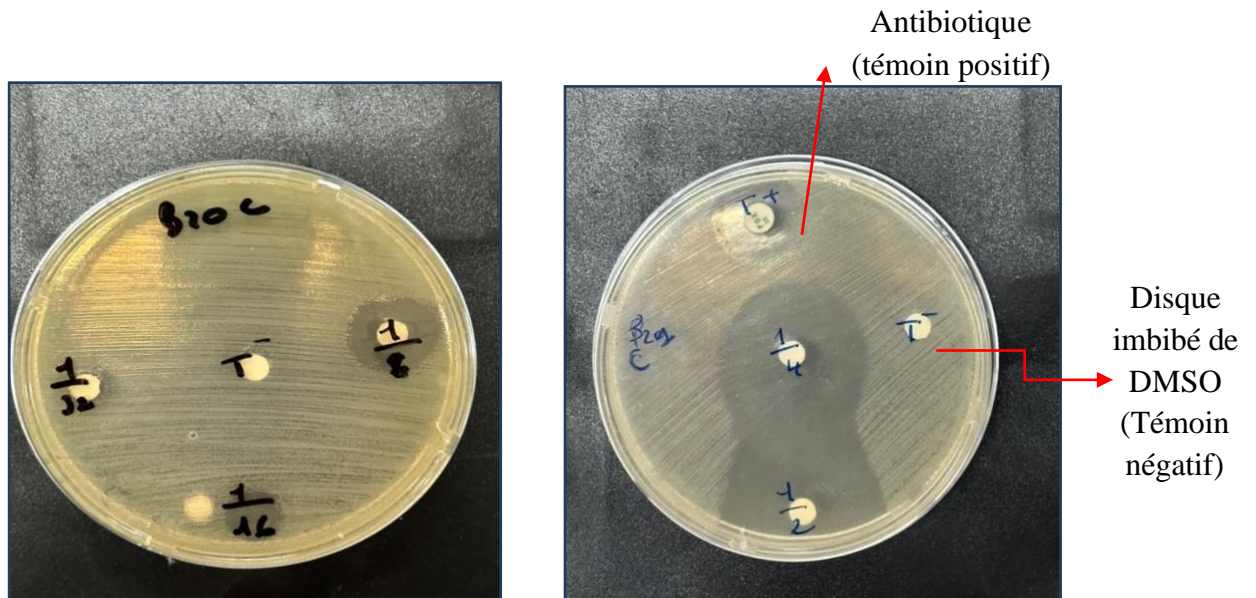


Figure 25 : Aromatogramme d'une souche d'*Escherichia coli* (photo personnelle).

1.2. Résultats de l'étude épidémiologique

Au cours de l'étude, trente-cinq échantillons de fientes ont été prélevés dans divers élevages de la wilaya de Tizi Ouzou.

1.2.1. Répartition des échantillons selon le type d'élevage

Selon les résultats de l'étude, les échantillons ont été prélevés principalement dans des élevages de poulets de chair.

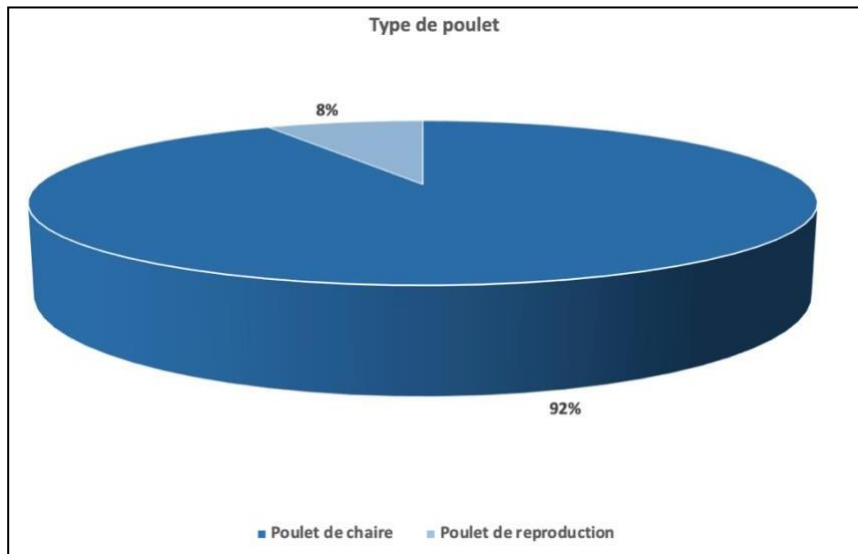


Figure 26 : Distribution des échantillons collectés selon le type d'élevage.

1.2.3. Répartition des échantillons selon L'âge

Selon les résultats de l'étude, la majorité des échantillons (72%) proviennent de volailles âgées de plus de 21 jours (phase de finition), tandis que seulement 4% des souches proviennent de volailles âgées de moins de 7 jours.

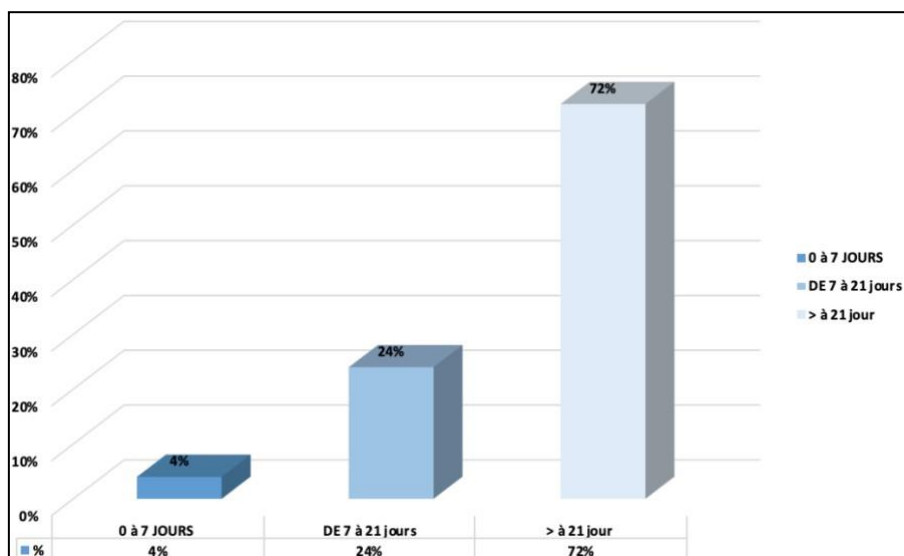


Figure 27: Distribution des souches collectées selon les différentes catégories d'âge.

1.2.4. Répartition des échantillons selon la désinfection des élevages

D'après les résultats de l'étude, la désinfection est pratiquée par 88% des éleveurs, tandis que seuls 12% ne l'appliquent pas.

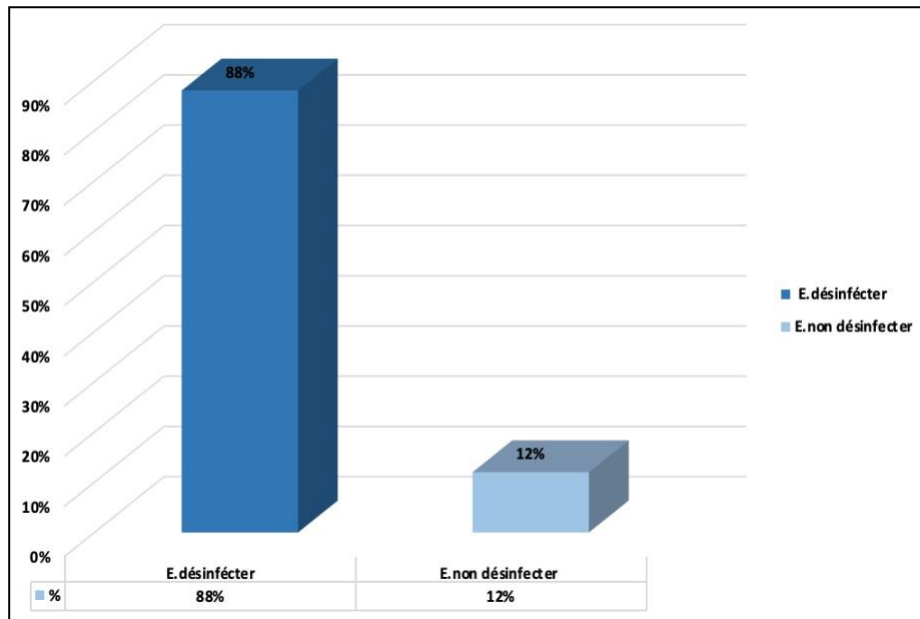


Figure 28 : Répartition des souches prélevées en fonction des pratiques de désinfection des élevages.

1.2.5. Répartition des échantillons en fonction du vides sanitaires des élevages

Selon les résultats obtenus, 84 % des élevages pratiquant le vide sanitaire, tandis que 16% ne le pratiquant pas.

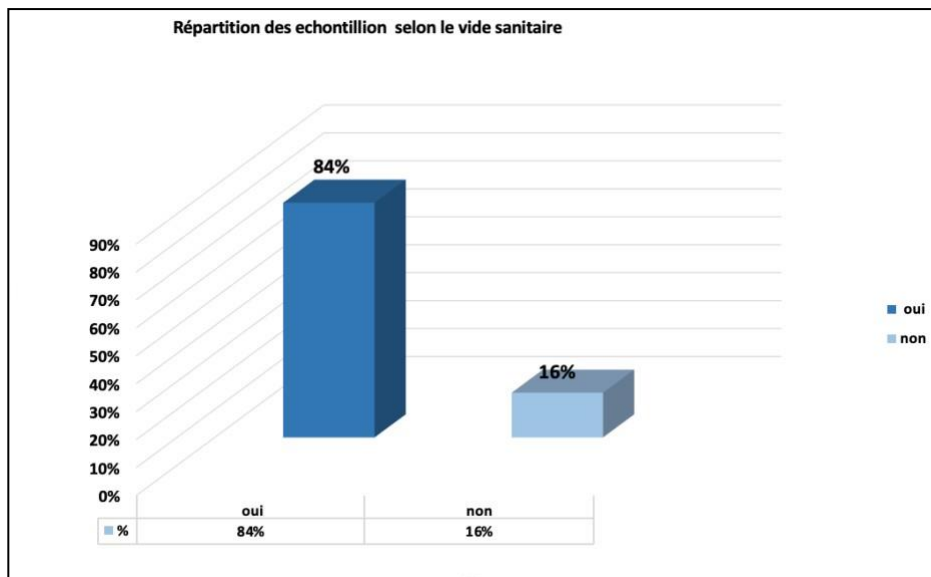


Figure 29 : Pourcentage des souches prélevées en fonction de la mise en œuvre du vide sanitaire.

1.2.3. Répartition des échantillons en fonction de la souche

Selon les statistiques obtenues, une proportion significative des souches sont observée dans les élevages d'Arbor Acres et Cobb 500, avec respectivement 48% et 44%, tandis que seulement 8 % des souches provient des élevages Efficiency.

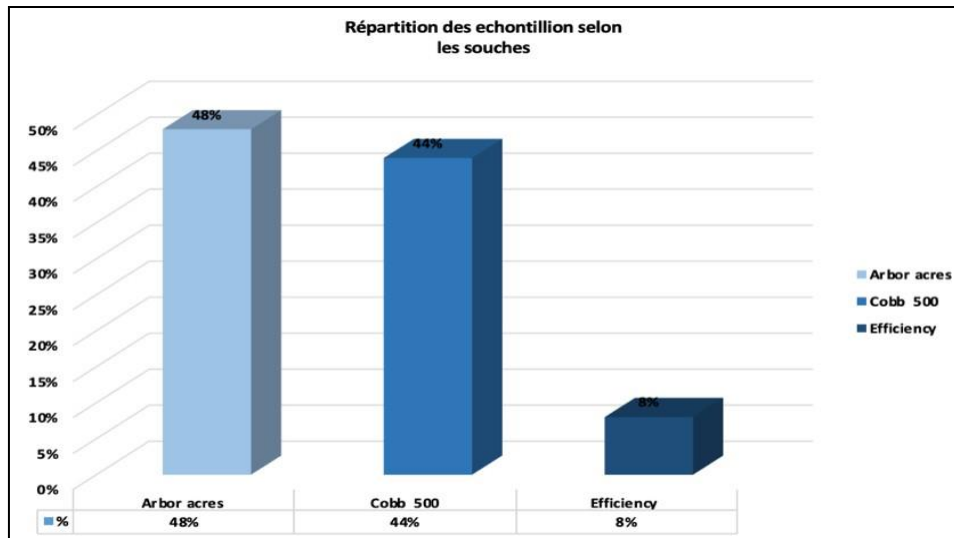


Figure 30 : Répartition des souches prélevées en fonction de la souche aviaires.

1.2.4. Répartition des échantillons en fonction du type de sol

D'après les résultats obtenus, 72 % des élevages disposent d'un sol en béton, tandis que 28 % ont un sol en terre.

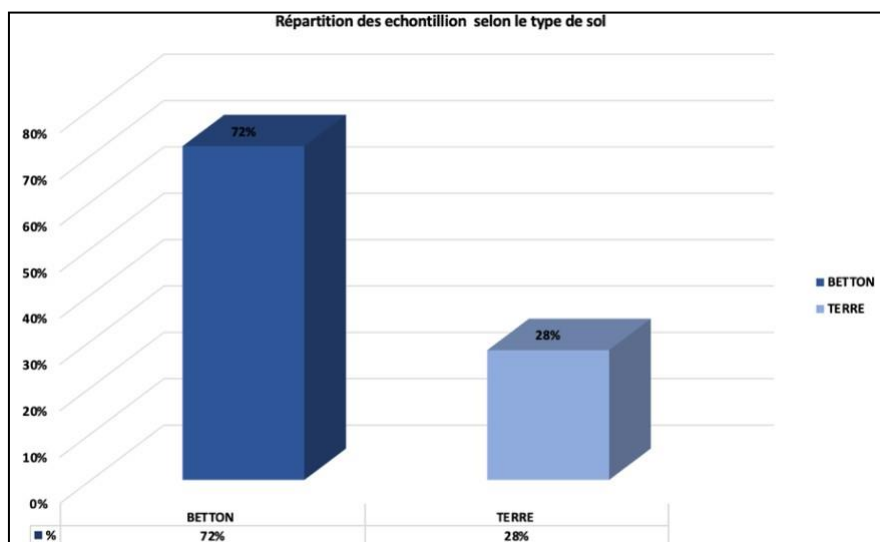


Figure 31: Répartition des souches prélevées en fonction des types de sol.

1.2.3. Répartition des échantillons en fonction du type de bâtiment

Selon les résultats obtenus, 76 % des élevages possèdent des bâtiments en dure, tandis que 24 % utilisent des structures en serre.

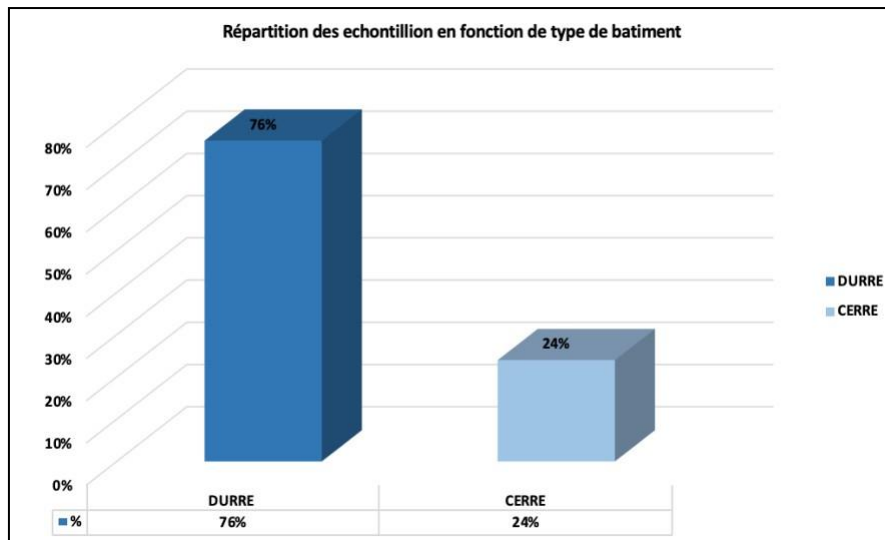


Figure 32 : Distribution des souches prélevées en fonction du type de bâtiment.

1.2.4. Répartition des échantillons en fonction de l'effectif

L'étude révèle que 68 % des souches proviennent d'élevages comptant entre 2000 et 6000 sujets. En revanche, les souches issues d'élevages de petite taille (moins de 2000 sujets) et celles provenant d'élevages de grande taille (plus de 6000 sujets) sont réparties équitablement, avec 16 % chacune.

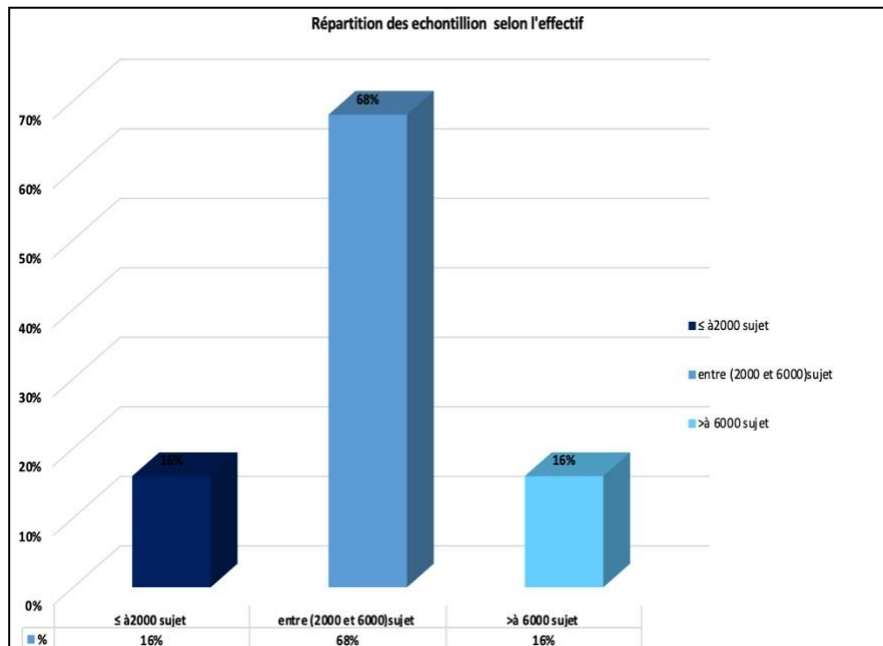


Figure 33 : Répartition des Échantillons Prélevés selon l'Effectif.

1.2.5. Répartition des échantillons en fonction de la mortalité

Dans cette étude, la majorité des échantillons se répartissent entre des taux de mortalité faible et élevé, avec 48 % des échantillons affichant une mortalité faible et 36 % une mortalité élevée. À l'inverse, la mortalité moyenne est peu fréquente, ne représentant que 16 % des échantillons.

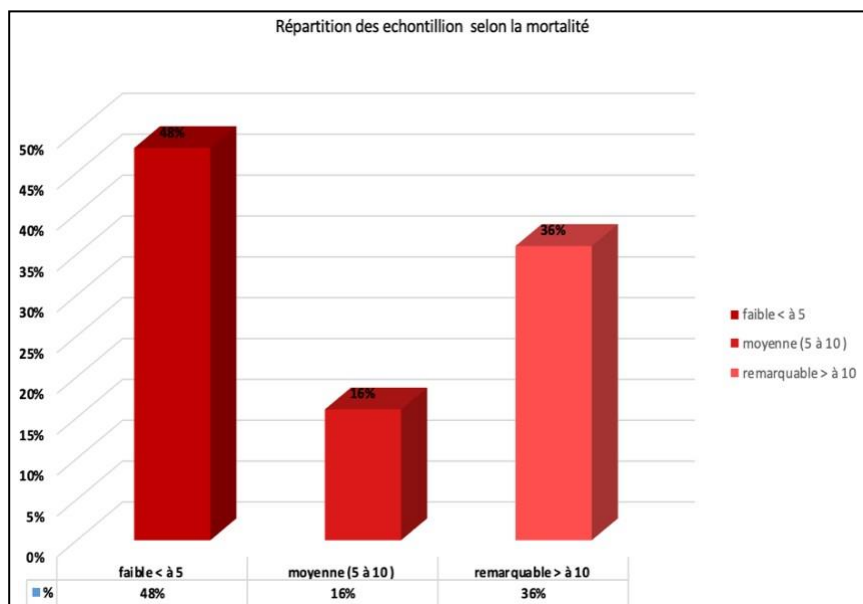
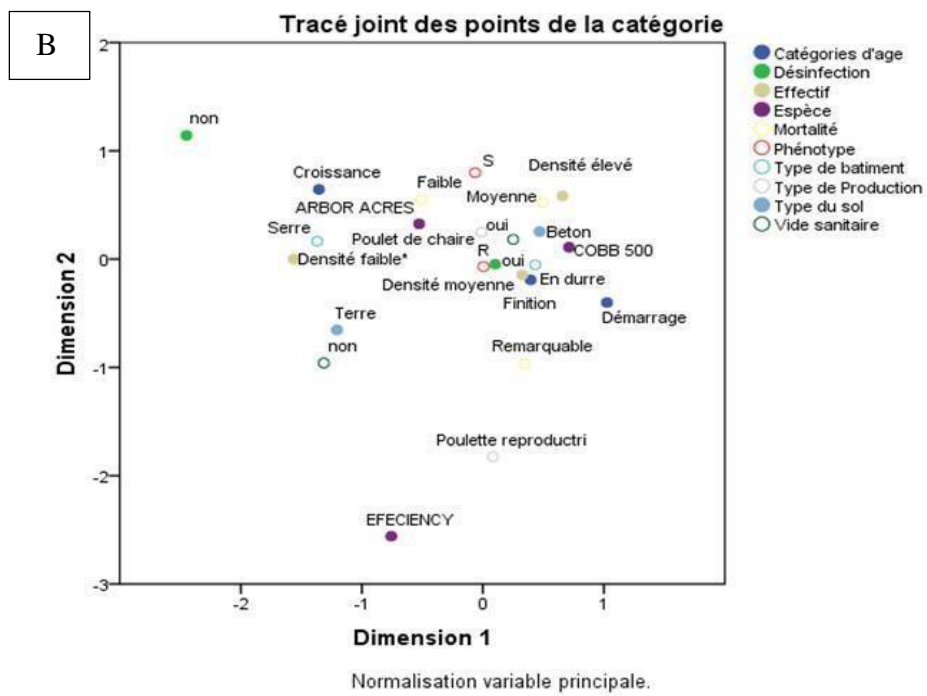
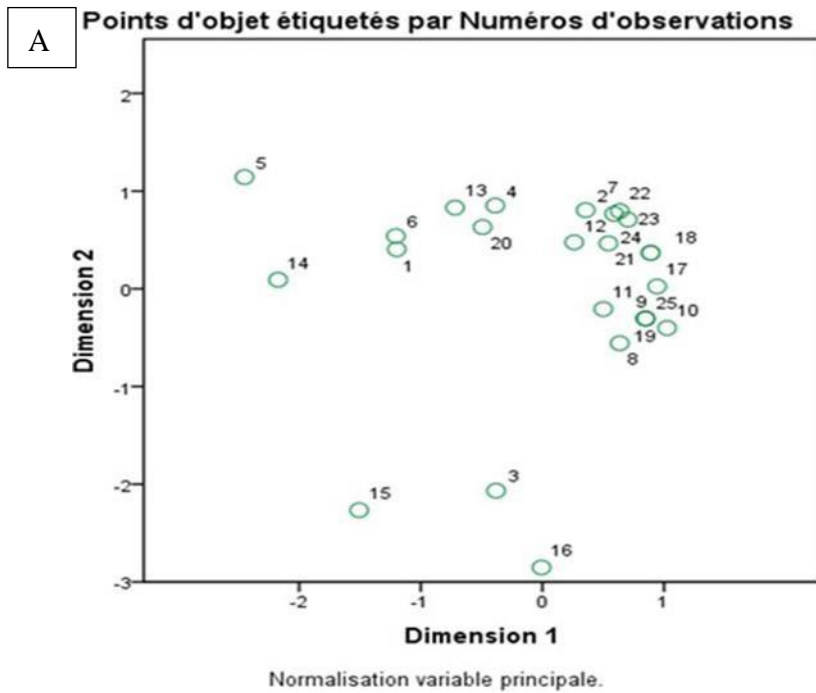


Figure 34 : Distribution des Échantillons Prélevés selon le Taux de Mortalité.

1.2.6. Analyse des Correspondances Multiples (ACM)



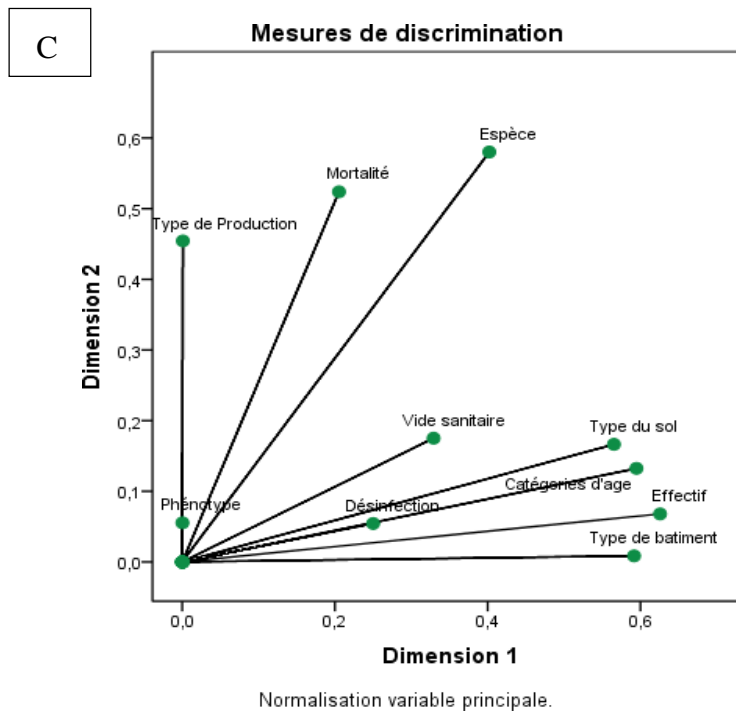


Figure 35 : Analyse des Correspondances Multiples.

- (A) Points d'objet étiquetés par les numéros d'observation.
- (B) Graphique conjoint des points de catégorie
- (C) Mesures de discrimination

Les résultats de l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) montrent que les phénotypes de résistance ne sont pas corrélés avec les facteurs épidémiologiques étudiés. En revanche, des associations significatives ont été observées : la mortalité est fortement corrélée avec l'espèce étudiée, et de manière moins prononcée avec le type de production. De plus, des liens ont été identifiés entre le type de sol, l'effectif, l'âge et le type de bâtiment. Enfin, l'ACM révèle une faible corrélation entre la désinfection et le vide sanitaire.

2. Discussion

La résistance croissante aux antimicrobiens dans la filière avicole est une préoccupation majeure, impactant gravement la santé animale et publique. Ces élevages, avec leur forte densité de population et leurs conditions de confinement, créent un environnement idéal pour la propagation rapide des infections. Pour prévenir ces infections, les antimicrobiens sont largement utilisés, non seulement pour traiter des maladies comme la colibacillose aviaire, mais aussi pour améliorer la productivité et les taux de conversion alimentaire. Ces bactéries résistantes peuvent se transmettre aux humains via la chaîne alimentaire, constituant ainsi une menace sérieuse pour la santé publique.

Sur un total de 35 prélèvements de fientes de poulets, 25 isolats se sont avérés être des souches d'*Escherichia coli*, soit 71,42 %. Un taux plus élevé a été trouvé par SHOBRAK *et al.* (2014) en Arabie Saoudite, atteignant 92 % sur 82 isolats d'*Escherichia coli*, ainsi que par ZOUBAIR *et al.* (2014) avec un taux de 100 %.

L'analyse des profils de résistance aux antibiotiques de 25 souches d'*Escherichia coli* à potentiel zoonotique a révélé une multirésistance dans 92 % des cas, confirmant ainsi la cohérence des résultats obtenus par DUBE et MBANGA en 2018, où toutes les souches d'*Escherichia coli* isolées ont montré une multirésistance, ainsi que celle de KAZIBWE *et al.* (2020) avec un taux de 89 %.

Selon les résultats obtenus lors du test de diffusion sur disques, les taux de résistance les plus élevés ont été observés pour l'ampicilline, avec un taux de 92 %, et pour la tétracycline, avec un taux de 96 %. Des études similaires menées par ADZITEY *et al.* (2013) ont rapporté un taux de résistance respectif de 72,7% et 92,7% pour ces deux antibiotiques.

Quant à l'amoxicilline et à l'association amoxicilline-acide clavulanique, les taux de résistance atteignaient respectivement 80 % et 76 %. Ces résultats concordent avec ceux obtenus en Éthiopie par EDILU *et al.* (2019), qui avait signalé une résistance totale. Cependant, ils diffèrent considérablement de ceux de l'étude de BENAMEUR, (2011), qui avaient rapporté un taux de résistance bien plus faible, à seulement 45,21%.

L'acide nalidixique présente un taux de résistance de 72 %, en accord avec les résultats obtenus par HUSSEIN *et al.* (2013) en Égypte et BENAMEUR, (2011) en Algérie, qui avaient respectivement trouvé des taux de 80 % et 94,78 %.

Cependant, ces résultats diffèrent de ceux rapportés par LAAREM *et al.* (2017) qui n'ont signalé aucune résistance pour cet antibiotique.

Ces taux élevés peuvent s'expliquer par l'utilisation fréquente et parfois inappropriée de ces antibiotiques dans le traitement des infections vétérinaires ainsi que leur utilisation en tant que promoteurs de croissance. En effet, la pression sélective exercée par ces antibiotiques favorise la prolifération de bactéries résistantes. (GRANADOS *et al.*, 2017).

Une résistance modérée a été observée pour les fluoroquinolones, des taux de 32 % ont été rapportés pour la ciprofloxacine, ce qui est relativement compatible avec LAAREM *et al.* (2017), qui ont retrouvé un taux de 51,7 %. Des taux nettement plus significatifs ont été observés chez BOUTAIBA, (2023) avec un taux de 82,75%.

Dans notre étude, le triméthoprime sulfaméthoxazole s'est avéré relativement efficace avec 60 % de résistance, retrouvé également chez ZIANAH *et al.* (2008) avec un taux de 67,56 % et ADZITEY *et al.* (2013) avec un taux de 67,3 %.

Une tendance à la hausse a été observée en 2017 par LAAREM *et al.*, avec 96 % et en 2020 par HUSSEIN *et al.* (2013) avec 80 %. En revanche, aucune résistance n'a été observée pour cet antibiotique en Éthiopie par EDILU *et al.* (2019).

Concernant le chloramphénicol, les résultats ont montré une résistance de 28 %, ce qui est comparable aux taux observés en Algérie par ABERKANE *et al.* (2023), qui ont trouvé des résistances de 27,5 %. En revanche, HUSSEIN *et al.* (2013) en Égypte ont observé des résistances plus élevées pour cet antibiotique avec 85%.

Dans notre étude, les aminosides ont démontré une activité antimicrobienne remarquable, avec seulement 8 % de résistance pour la gentamicine. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus en 2011 par BENAMEUR et par KAZIBWE *et al.*, en 2020, qui ont relevé des résistances de 15,62 % et 10,7 % respectivement. En revanche, ADZITEY *et al.* (2013) et BENAMEUR *et al.* (2014) ont rapporté des taux de résistance beaucoup plus faibles, de 1,8 %. Cela pourrait être dû à une utilisation

inadéquate, puisque cet antibiotique est interdit en médecine vétérinaire en Algérie (MEGUENNI *et al.*, 2019). En comparant nos résultats avec des études antérieures, une tendance croissante de la résistance aux antimicrobiens semble se dessiner. Cependant, pour confirmer cette tendance, il est nécessaire d'effectuer une analyse approfondie des données et de prendre en compte les facteurs contextuels propres à chaque étude.

Quant à la tobramycine, aucune résistance n'a été détectée dans notre étude, des résultats similaires à ceux de LAAREM *et al.* (2017) qui ont observé un taux de résistance de 3,4 %.

Les céphalosporines de troisième génération se distinguent par leur sensibilité notable, notamment la ceftazidime qui affiche un taux de résistance minimale de 8 %. Cette observation concorde avec les conclusions de LARREM *et al.* (2017), qui ont souligné une sensibilité quasi totale. En Éthiopie, toutefois, des taux de résistance bien plus élevés ont été documentés en 2019 par EDILU *et al.*, atteignant respectivement 15,4 % pour la ceftazidime et 92,7 % pour la cefotaxime.

En ce qui concerne la cefoxitine, notre recherche a révélé une résistance inexistante à cet antibiotique. Ce constat est en parfaite harmonie avec les résultats obtenus par HUSSEIN *et al.* (2013) en Égypte.

La raison pour laquelle tous les isolats sont sensibles au céfixime pourrait être attribuée au fait que c'est un antibiotique récemment mis sur le marché, relativement coûteux et pas facilement accessible pour les éleveurs. Cette observation concorde avec une étude menée par DOU *et al.* (2016) qui a constaté une faible résistance aux médicaments récemment développés. (ZOUBAIR *et al.*, 2014).

Les carbapénèmes, en particulier l'imipénème et l'ertapénème, ont prouvé leur efficacité absolue contre les 25 isolats à potentiel zoonotique testés, ne montrant aucune résistance. Ces antibiotiques se distinguent ainsi comme des thérapies performantes de choix, confirmant nos résultats et s'alignant avec la conclusion de l'étude de LAAREM *et al.* (2017).

Cela pourrait s'expliquer par le fait que ces composés ne sont pas utilisés pour traiter les maladies aviaires. (BANIK *et al.*, 2022).

Parmi les souches testées, seulement trois ont été identifiées comme productrices de BLSE, ce qui concorde avec les résultats de BENKLAOUZ *et al.* (2020). La présence d'*Escherichia coli* producteurs de BLSE chez les poulets de chair en Algérie pourrait être attribuée à la sélection de souches résistantes en raison de l'utilisation excessive d'autres antibiotiques, tels que les quinolones, dans certains élevages avicoles (BENKLAOUZ *et al.*, 2020).

Cette résistance peut se propager horizontalement entre les animaux et être sélectionnée chez les reproducteurs, puis transmise verticalement dans la chaîne de production avicole, comme l'ont suggéré DIERIKX *et al.* (2013). En effet, des cas d'*Escherichia coli* résistants aux céphalosporines ont récemment été détectés dans les ovaires de reproducteurs sains de poulets de chair en Algérie (BENAMEUR *et al.*, 2019). De plus, l'utilisation de l'ampicilline pourrait favoriser le développement de mutations conduisant à l'émergence des variant d'*Escherichia coli* produisant des BLSE (BAQUERO, *et al.*, 2021).

Depuis des millénaires, les huiles essentielles de plantes ont été utilisées pour la médecine, la conservation des aliments et la parfumerie. Face à la résistance croissante des microbes aux traitements actuels, ces huiles, grâce à leur diversité biologique, offrent une source précieuse de nouveaux agents antimicrobiens. (SAKKAS et PAPADOPOULOU, 2017).

L'étude de l'activité antimicrobienne a révélé que seule l'huile essentielle de cannelle de Chine présente des résultats convaincants. En effet, elle a démontré une inhibition de la croissance des trois souches testées, avec des zones d'inhibition allant jusqu'à 38 mm pour l'huile pure, et une CMI de 1/16, soit une inhibition de 11 mm. Des résultats similaires ont été rapportés par OULKHEIR *et al.* (2017), avec une zone d'inhibition de 28 mM.

En ce qui concerne les autres huiles essentielles testées, à savoir l'huile essentielle de palmarosa (*Cymbopogon martini*) et l'huile essentielle de lavande (*Lavandula stoechas*), les résultats se sont révélés peu convaincants et demeurent négligeables. Cela contraste avec les observations de LODGIA *et al.*, en 2009, qui ont rapporté une zone d'inhibition de 29,7 mm pour une concentration de 100% d'huile essentielle de

palmarosa, et avec les résultats de BACHIRI *et al.* (2016), qui ont noté une activité modérée de l'huile essentielle de *Lavandula stoechas*, avec un diamètre de 12 mM pour une concentration de 20 μ L d'HE.

Les résultats obtenus pourraient être attribués à des variations dans la qualité des huiles essentielles utilisées. Il est important de noter que l'huile essentielle utilisée dans notre étude est commerciale et industrielle, ce qui peut entraîner une diminution des polyphénols par rapport à l'état sauvage. Les plantes cultivées à des fins industrielles peuvent subir des modifications génétiques et des processus de culture intensifs qui peuvent affecter la composition chimique de leurs extraits. En revanche, les huiles essentielles provenant de plantes sauvages sont souvent plus riches en composés actifs, tels que les polyphénols, en raison de leur adaptation aux conditions environnementales variées. Ainsi, la diminution des polyphénols dans les huiles essentielles commerciales pourrait contribuer à une activité antimicrobienne moindre par rapport aux résultats obtenus avec des extraits provenant de plantes sauvages (BENTAHAR *et al.*, 2020).

Les résultats de l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) révèlent que les phénotypes de résistance n'affichent aucune corrélation avec les facteurs épidémiologiques étudiés. Cette observation contraste avec les travaux de SACI *et al.* (2024), qui ont démontré une corrélation presque totale entre la résistance et les facteurs épidémiologiques.

L'étude a mis en lumière une corrélation entre la mortalité et l'espèce, tandis que cette corrélation est moins marquée avec le type de production. En revanche, SACI *et al.* (2024) ont observé que l'âge joue un rôle crucial dans la mortalité au sein des élevages, en notant que les volailles en phase de démarrage sont particulièrement vulnérables aux infections, ce qui se traduit par un taux de mortalité plus élevé.

Une corrélation entre le type de sol, l'effectif, l'âge et le type de bâtiment a également été identifiée, ce qui rejoint les observations de SACI *et al.* (2024), qui ont souligné une forte présence de souches pathogènes chez les volailles en phase de démarrage et de croissance. Par ailleurs, HECKERT *et al.* (2002) ainsi qu'ABO-AL-ELA *et al.* (2021) ont rapporté que des espaces restreints dans les bâtiments

conduisent à un surpeuplement, induisant du stress chez les volailles et affectant leur système immunitaire.

Une corrélation entre le type de sol et les pratiques de désinfection a également été établie, en accord avec les travaux de ISMAIL *et al.* (2013), ARTASENSI *et al.* (2021) et CAPRIA *et al.* (2022). Ces études expliquent que les sols durs, avec leur surface rigide et poreuse, sont difficiles à nettoyer efficacement, favorisant ainsi l'accumulation de saletés, de débris organiques et de bactéries, ainsi que la formation de biofilms qui protègent les bactéries contre les procédures de nettoyage et de désinfection.

Les élevages avicoles dotés de bâtiments solides avec une conception inadaptée présentent une prévalence accrue de maladies en raison d'une ventilation insuffisante, ce qui favorise l'accumulation d'humidité et de gaz ammoniac, comme le rapportent WLAZLAK *et al.* (2023).



CONCLUSION

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer la résistance aux antibiotiques des souches d'*Escherichia coli* prélevées dans 35 échantillons de fientes collectés principalement dans la région de Freha à Tizi-Ouzou, en Algérie. Les résultats offrent des informations importantes afin de garantir la sécurité alimentaire et la santé animale et humaine.

Les constatations de l'étude révèlent une résistance étendue d'*Escherichia coli* à plusieurs familles d'antibiotiques. Les tétracyclines ont montré le taux de résistance le plus élevé, atteignant 96%, suivi par l'ampicilline à 92% et l'amoxicilline-acide clavulanique. Des taux de résistance moyens ont été observés pour le chloramphénicol, le triméthoprim-sulfaméthoxazole, la lévofloxacine, la ciprofloxacine et la kanamycine, tandis que les résistances les plus faibles ont été constatées pour la gentamicine, l'amikacine, l'aztréonam et la céfalotine, ainsi que pour les céphalosporines de 3ème génération (céftazidime, céfixime, ceftriaxone).

La majorité des souches isolées ont montré une résistance à 8 antibiotiques (21,7%), et 13,1% étaient résistantes à 6 antibiotiques. Aucune souche n'a présenté de résistance à 12, 13 ou 14 antibiotiques. Le principal mécanisme de résistance aux bêta-lactamines était la production de bêta-lactamases, avec trois souches identifiées comme produisant des bêta-lactamases à spectre étendu (BLSE).

L'étude souligne l'usage excessif et non régulé des antibiotiques par les éleveurs, sans consultation préalable d'un vétérinaire, favorisant l'émergence et la propagation de souches résistantes, voire multirésistantes. L'évaluation de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de cannelle de Chine a démontré son efficacité contre deux souches d'*Escherichia coli*, suggérant son potentiel comme agent antimicrobien naturel.

L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) n'a pas révélé de corrélation entre les phénotypes de résistance et les facteurs épidémiologiques étudiés, mais a mis en évidence des corrélations significatives entre ces facteurs. Ces résultats indiquent que la résistance aux antibiotiques chez *Escherichia coli* est influencée par plusieurs facteurs environnementaux et de gestion.

Pour contrer l'évolution et la propagation des souches multirésistantes, il est crucial de promouvoir :

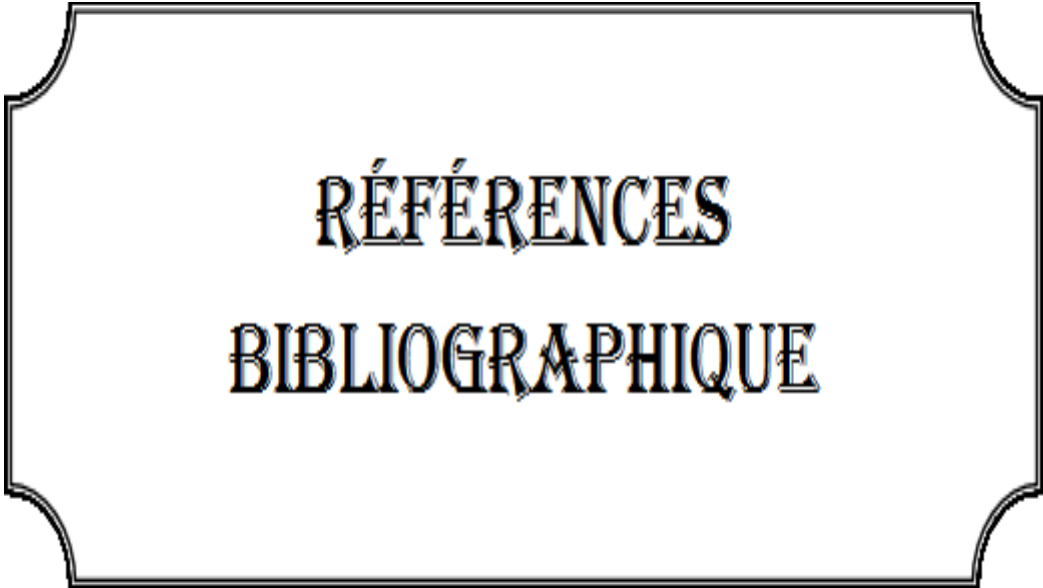
- ✓ Une utilisation responsable des antibiotiques.
- ✓ L'élaboration de nouvelles stratégies innovantes.

Conclusion

- ✓ Une sensibilisation étendue impliquant les vétérinaires, médecins et le grand public sur l'importance de restreindre l'usage des antibiotiques aux cas nécessaires, en respectant strictement les directives de prescription.
- ✓ L'intégration de pratiques de prévention et de contrôle des infections dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire, telles que la réalisation systématique de tests d'antibiogramme avant toute prescription d'antibiotiques, et l'application de principes d'hygiène rigoureux tels que la séparation des animaux par classe d'âge, la désinfection, le nettoyage régulier et les périodes de vide sanitaire.

En combinant ces mesures préventives avec une surveillance continue de la résistance aux antibiotiques et une collaboration étroite entre les professionnels de la santé et les éleveurs, nous pouvons espérer ralentir efficacement l'émergence et la diffusion des souches multirésistantes.

En perspectives futures, les BLSE isolées dans cette étude devraient faire l'objet d'autres études sérologiques et génétiques pour mieux caractériser leurs propriétés pathogènes et leurs mécanismes de résistance aux antibiotiques à l'échelle régionale et mondiale.



**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

A

- **Abraham, E. P., & Chain, E. (1940).** Accumulation in Bivalve Shellfish. *Estuaries and Coasts*, 36(4), 834-853.
- **Adzitey, F., Ali, G. R. R., Huda, N., & Ting, S. L. (2013).** Antibiotic resistance and plasmid profile of *Escherichia coli* isolated from ducks in Penang, Malaysia. *International Food Research Journal*, 20(3).
- **Alfandari, S. (2014).** Antibiothérapie curative. Commission des anti-infectieux.
- **Aljaafari, M., Alhosani, M.S., Abushelaibi, A., Lai, K.S., & Lim, S.H.E. (2019).** Essential Oils: Partnering with Antibiotics. In H. A. El-Shemy (Ed.), *Essential Oils - Oils of Nature*. IntechOpen.
- **Allen, V. M., Bull, S. A., Corry, J. E. L., Domingue, G., Jørgensen, F., Frost, J. A., Whyte, R., Gonzalez, A., Elviss, N., & Humphrey, T. J. (2007).** Campylobacter spp. contamination of chicken carcasses during processing in relation to flock colonisation. *International Journal of Food Microbiology*, 113, 54-61.
- **Amairi, T. (2021).** Résistance aux antibiotiques des *Escherichia coli* isolés des abattoirs et élevages de poulet de chair au Nord-Est d'Algérie. Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider de Biskra.
- **Ammon, A. (1997).** Surveillance des infections à *E. coli* entérohémorragiques (EHEC) et du syndrome hémolytique et urémique (SHU) en Europe. *Eurosurveillance*, 2(12), 91-96.
- **An J., & Pan A. (Year).** An Overview of Main Characteristics.
- **Arriaza, P. (2010).** Topic 7 essential oil. In: *Industrial Utilization of Medicinal and Aromatic Plants*. Madrid, Spain: OpenCourseWare of the Polytechnic University of Madrid.
- **Artasensi A., Mazzotta S., Fumagalli L. (2021).** Back to basics: Choosing the appropriate surface disinfectant. *Antibiotics*, 10(6), 613.
- **ASQUIER C. (2009).** Bactériologie et virologie pratique. 11e édition. De Boeck s.a, Bruxelles, p.128.
- **Ayers, S., ..., & Meng, J. (2003).** Isolation of antimicrobial-resistant *Escherichia coli* from retail meats purchased in Greater Washington, DC, US.
- **Abbad, L., Hamadouche, Y., Gouda, N., & Hamiche, K. (2019).** Détermination du portage nasal de *Staphylococcus aureus* chez les étudiants de la faculté de médecine de Tizi-Ouzou et impact du microbiote des non porteurs sur la culture des souches de portage.

• **Afset, J. E., Bergh, K., & Bevanger, L. (2003).** High prevalence of atypical enteropathogenic *Escherichia coli* (EPEC) in Norwegian children with diarrhoea. *Journal of Medical Microbiology*, 52(11), 1015-1019.

B

- **Bachiri, L., Echchegadda, G., Ibjibijen, J., & Nassiri, L. (2016).** Etude phytochimique et activité antibactérienne de deux espèces de Lavande Autochtones Au Maroc: « *Lavandula stoechas* L. et *Lavandula dentata* L. ». *European Scientific Journal*, 12(30), 313-333.
- **Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008).** Biological effects of essential oils: a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.
- **Balz, R. (1999).** The power of essential oils, 1st ed. Lotus Press: Twin Lakes, WI, USA. Pp 27-80.
- **Baquero, F., Martínez, J. L., Novais, Â., Rodríguez-Beltrán, J., Martínez-García, L., Coque, T. M., & Galán, J. C. (2021).** Allogenous selection of mutational collateral resistance: old drugs select for new resistance within antibiotic families. *Frontiers in Microbiology*, 12, 757833.
- **Barber, M., & Rozwadowska-Dowzenko, M. (1948).** Infection by Penicillin-Resistant *Staphylocoeci*. *Lancet*, 641-644.
- **Basavaraju, M., & Gunashree, B. S. (2022).** *Escherichia coli*: An overview of main characteristics. In *Escherichia coli - Old and New Insights*.
- **Baudoux, D. (2015).** Antibiotiques: Pharmacologie et Thérapeutique. Collection Pharma.
- **Bekhechi, C., Arthur, M., Duval, J., Courvalin, P., & Leclercq, R. (1993).** Overproduction of 3'-aminoglycoside phosphotransferase type I confers resistance to tobramycin in *Escherichia coli*.
- **Benabdelkader, T. (2012).** Biodiversité, bioactivité et biosynthèse des composés terpéniques volatils des lavandes ailées, *Lavandula stoechas* sensu lato, un complexe d'espèces méditerranéennes d'intérêt pharmacologique. Doctoral dissertation, Université Jean Monnet-Saint-Etienne; Ecole normale supérieure de Kouba (Alger).
- **BENAMEUR, Q. (2011).** ANTIBIORESISTANCE DES ENTEROBACTERIES D'ORIGINE AVIAIRE (Doctoral dissertation, Tiaret).
- **BENAMEUR, Q., Guemour, D., Hammoudi, A., Aoudia, H., Aggad, H., Humblet, M. H., & Saegermang, C. (2014).** Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* isolated from chickens in West of Algeria. *Int. J. Sci. Basic Appl. Res*, 13(1), 366-370.
- **Benameur, Q., Tali-Maamar, H., Assaous, F., Guettouc, B., Rahal, K., & Ben Mahdi, M. H. (2019).** Detection of multidrug-resistant *Escherichia coli* in the ovaries of healthy broiler breeders with emphasis on extended-spectrum β -lactamases producers. *Comparative Immunology, Microbiology & Infectious Diseases*, 64(6), 163-167.
- **Benklaouz MB, Aggad H, Benameur Q. (2020).** Resistance to multiple first-line antibiotics among *Escherichia coli* from poultry in Western Algeria. *Veterinary World*. [Internet]. 13(2):290–295.

- **Bentahar, A., Bouaziz, A., Djidel, S., & Khennouf, S. (2020).** Phenolic content and antioxidant activity of ethanolic extracts from *Citrus sinensis L.* and *Citrus reticulata L.* fruits. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 10(5-s), 308-313.
- **Betts, T.J. (2001).** Chemical characterisation of the different types of volatile oil constituents by various solute retention ratios with the use of conventional and novel commercial gas chromatographic stationary phases. *Journal of Chromatography A*, 936, 33-46.
- **Beutin, L., & Fach, P. (2014).** Detection of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* from Nonhuman Sources and Strain Typing. *Microbiology Spectrum*, 2(3), 1-23.
- **Bidet, P., & Bonacorsi, S. (2019).** *Escherichia coli*/Shigella. Société Française de Microbiologie.
- **Boerlin, P., & White, D. G. (2006).** Allemagne) : NECESSITE D'UNE COORDINATION, L. Robino, R. Suarez, Algérie, Algérie, Alm, L. M. Calhoun, J. M. Mladonicky, and T. S. Whittam. 2007. Genetic diversity and population structure of *Escherichia coli* isolated from freshwater beaches. *Environmental Microbiology*, 9(9), 2274-2288.
- **Bonnet, J. (2014).** Utilisation raisonnée des antibiotiques en élevage porcin. Démarche d'accompagnement dans sept élevages. Doctoral dissertation, Ecole vétérinaire de Maisons-Antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory activities of essential oils from five selected herbs. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 75(10), 1977-1983.
- **Bonnet, M., Lagier, J.C., Raoult, D., & Khelaifia, S. (2019).** Bacterial culture through selective and non-selective conditions: The evolution of culture media in clinical microbiology. *New Microbes and New Infections*, 34, 100622.
- **Bonomo, M. G., Calabrone, L., Saturnino, C., Sinicropi, M. S., Capasso, A., & Salzano, G. (2019).** Antibacterial activity of new β -lactam compound. *PharmacologyOnLine*, 3, 185-194.
- **Bonomo, R. A. (2017).** β -Lactamases: a focus on current challenges. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 7(1), a025239.
- **Bourel, C. (1993).** Analyse chimique, activités biostatistiques et antioxydantes d'extraits de plantes aromatiques sélectionnées. (Doctoral dissertation, Toulouse, INPT).
- **BOUTAIBA BENKLAOUZ, M. (2017).** Antibiorésistance des entérobactéries d'origine aviaire au niveau de l'ouest Algérien (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun-Tiaret-).
- **Bozcal, E. (2016).** Distribution and virulence properties of extra-intestinal pathogenic *Escherichia coli* in Turkey. *Microbiologia Medica*, 31.
- **Bradford, P. A. (2019).** Chitosan nano-encapsulation improves the effects of mint, thyme, and cinnamon essential oils in broiler chickens. *British Poultry Science*, 60(5), 530-538.
- **Bréchet MA. (2003).** Entérobactéries : Systématiques et méthodes de diagnostic. Ed. TEC & DOC. Paris, pp.4(28), 2(29-30), 3(31-37, 38).

- **Buchanan B.B., Gruissem W., Jones R.L. (2000).** Biochemistry & Molecular Biology of plants.
- **Burt, S. (2004).** Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253.

C

- **Campos, C. J. A. A. (1979).** Un nouveau formalisme pour la permittivite diélectrique dans le cas d'une distribution gaussienne des temps de relaxation. *Eurosurveillance*, 2(12), 91-96.
- **Campos, C. J., Kershaw, S. R., & Lee, R. J. (2013).** Environmental influences on faecal indicator organisms in coastal waters and their accumulation in bivalve shellfish. *Estuaries and Coasts*, 36, 834-853.
- **Canadian Journal of Microbiology 52 (3), 169-181 Frederic Zakhia ; Philippe de Lajudie (2006).**
- **Capria VM, Fernandez MO, Walker MM, Bergdall VK. (2022).** Comparison of floor cleaning and disinfection processes in a research animal facility. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 61(6), 644–649.
- **Capria, V. M., Fernandez, M. O., Walker, M. M., & Bergdall, V. K. (2022).** Comparison of floor cleaning and disinfection processes in a research animal facility. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 61(6), 644–649.
- **Carle, S. (2009).** La résistance aux antibiotiques: un enjeu de santé publique important. *Pharmactuel*, 42(2), 6-21.
- **Carle, S. (2009).** La résistance aux antibiotiques: un enjeu de santé publique important. *Pharmactuel*, 42(2), 6-21.
- **Cattoir, V. (2004).** Pompes d'efflux et résistance aux antibiotiques chez les bactéries. *Pathologie Biologie*, 52(10), 607-616.
- **Chen, H. D., & Frankel, G. (2005).** Enteropathogenic Escherichia coli: unravelling pathogenesis. *FEMS Microbiology Reviews*, 29(1), 83-98.
- **Chouhan, S., Sharma, K., & Guleria, S. (2017).** Antimicrobial Activity of Some Essential Oils-Present Status and Future Perspectives. *Medicines*, 4(58).
- **Chouhan, S., Sharma, K., & Guleria, S. (2017).** Utilisation des antibiotiques en élevage et impact sur la santé publique (Doctoral dissertation, Université Laarbi Tebessi Tebessa).
- **Christian, R. (2014).** Do prophylactic antibiotics reduce UTI risk after urodynamic studies? *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 37(1), 78–.

- **Clement RP., 2005.** Antimicrobial drug-resistant *Escherichia coli* in wild birds and free-range poultry, Bangladesh. *Emerging Infectious Diseases*, 18(12), 2055.
- **Cohen, AH M. (2007).** Inhibitory effects of selected plant essential oils on *Pseudomonas putida* growth, a bacterial spoilage meat. *Meat Science*, 73, 236-244.
- **COHEN, N., & KARIB, H. (2006).** Risque hygiénique lié à la présence des *Escherichia coli* dans les viandes et les produits carnés: Un réel problème de santé publique? *Les Technologies de Laboratoire*, 1(1).
- **Cohen, N., K. (2007).** Aminoglycoside modifying enzymes. *Drug Resistance Updates: Reviews and Commentaries in Antimicrobial and Anticancer Chemotherapy*, 13(6), 151–171.
- **Coimbra RS, Grimont F, Lenormand P, Burguière P, Beutin L, Grimont PA. (2003).** High prevalence of atypical enteropathogenic *Escherichia coli* (EPEC) in Norwegian children with diarrhoea. *Journal of Medical Microbiology*, 52(11), 1015-1019.
- **Couic-Marinier, D. F. (2017).** Advances in molecular relaxation and interaction processes, 14(3), 235-242.
- **Croteau, R., Kutchan, T.M., & Lewis, N.G. (2000).** Natural products (secondary metabolites). In: Buchanan, B., Grissein, W., & Jones, R. (Eds.), *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists.
- **Croxen, M. A., Nadir, M., & J. la Rech. A polymerase. (2018).** Biochimica et Biophysica Acta - PROTEIN STRUCTURE AND MOLECULAR ENZYMOLOGY: A review on the medicinal and aromatic Plant-Cymbopogon martinii (Roxb.) Watson (Palmarosa).
- **Croxen, M. A., R. J. Law, R. Scholz, K. M. Keeney, M. Wlodarska, and B. B. Finlay. (2013).** Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, 26(4), 822-880.

D

- **Davis, R., Paoli, G., & Mauer, L. J. (2012).** Evaluation of Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy and chemometrics as a rapid approach for subtyping *Escherichia coli* O157 isolates. *Food Microbiology*, 81–90.
- **De Silva, T. U. L. E. Y., Kershaw, S. R., Lee, R. J., et al. (2015).** Development of essential oil industries in developing countries. *Environmental Influences on Faecal Indicator Organisms in Coastal Waters and Their Quantitative analysis of commensal Escherichia coli populations reveals host-specific enterotypes at the intra-species level. MicrobiologyOpen*, 4(4), 604-615.
- **Dho-Moulin, M., & Fairbrother, J. M. (1999).** Avian pathogenic *Escherichia coli* (APEC). *Veterinary Research*, 30(2-3), 299-316.

- **Dierikx, C. M., Van der Goot, J. A., Smith, H. E., Kant, A., & Mevius, D. J. (2013).** Presence of ESBL AmpC-producing *Escherichia coli* in the broiler production pyramid: a descriptive study. *PLoS One*, 8(11), e79005.
- **Dorman, H. D., & Deans, S. G. (2000).** Application of natural antimicrobials for food preservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(14), 5987-6000.
- **Dou, X., Gong, J., Han, X., Xu, M., Shen, H., Zhang, D., Zhuang, L., Liu, J., & Zou, J. (2016).** Characterization of avian pathogenic *Escherichia coli* isolated in eastern China. *Gene*, 576(1 Pt 2), 244–248.
- **Dube, N., & Mbanga, J. (2018).** Molecular characterization and antibiotic resistance patterns of avian fecal *Escherichia coli* from turkeys, geese, and ducks. *Veterinary World*, 11(6), 859–867.
- **Ducluzeau, R., & Raibaud, P. (2011).** Microbial ecology of the digestive system. *Avian pathogenic Escherichia coli (Avic. algérienne, 2011 ; MAvic. algérienne, 2011)*.

E

- **Eckenko, R., Maiboroda, O., Muzyka, N., Stegnyy, B., Mezinov, O., Rula, O., & Muzyka, D. (2024).** Circulation of Agriculture, 99(8), 4019-4028.
- **Elbing, K.L., & Brent, R. (2019).** Recipes and tools for culture of *Escherichia coli*. *Current Protocols in Molecular Biology*, 125(1), 83. DOI: 10.1002/cpmb.83.

F

- **Food and Agriculture Organization (FAO).**
- **Foster-Nyarko, E. and Pallen, M.J. (2022).** The microbial ecology of *Escherichia coli* in the vertebrate gut. *FEMS Microbiology Reviews*, 46: fuac008.
- **Fotadar, U., Zaveloff, P., & Terracio, L. (2005).** Growth of *Escherichia coli* at elevated temperatures. *Journal of Basic Microbiology*, 45(5), 403-404.
- **Franchomme, P., Jollois, R., & Péroël, D. (1990).** *L'aromathérapie exactement: encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles: fondements, démonstration, illustration et applications d'une science médicale naturelle*. Roger Jollois Editeur.

G

- **Gaudy, C., Buxeraud, J., & Mereghetti, L. (2005).** A. 2006.- A. Bleibtreu, F. Fourreau, A. D., Carle, S., Fayolle, C., Lenormand, P., Loudet, D., ... & Thiberge, J. M. (1989). Origine et répartition en sérovars des souches de *Salmonella* isolées en France continentale au cours des années 1984 à 1987. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 19(1), 12-17.

- **Gibbons, S. (2008).** Phytochemicals for bacterial resistance-strengths, weaknesses and opportunities. *Planta medica*, 74(06), 594-602.
- **Grohs, P., Taieb, G., Morand, P., Kaibi, I., Podglajen, I., Lavollay, M., ... & Compain, F. (2017).** In vitro activity of ceftolozane-tazobactam against multidrug resistant nonfermenting Gram-negative bacilli isolated from patients with cystic fibrosis. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 61(4), 10-1128.
- **Grosjean, J., Clavé, D., Archambaud, M., & Pasquier, C. (2009).** Bactériologie et Virologie pratique. *Groupe de Boeck*.
- **Guetiya Wadoum, R., Zambou, N., Anyangwe, F., Njimou, J., Coman, M., Verdenelli, M., Cecchini, C., Silvi, S., Orpianesi, C., & Cresci, A. (2016).** Abusive use of antibiotics in poultry farming in Cameroon and the public health implications. *British Poultry Science*, 57(4), 483–493.

H

- **HAMOUDI, A., & Aggad, H. (2008).** Antibioresistance of *Escherichia coli* strains isolated from chicken colibacillosis in Western Algeria. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 32(2), 123-126.
- **Harbottle, H., Thakur, S., Zhao, S., & White, D. G. (2006).** Genetics of antimicrobial resistance. *Animal Protection*, 2022, Surconsommation d'antibiotiques chez les animaux d'élevage, *Syndia SAnn Med Vet*, 147(2), 105-26.
- **Hasan, B., Sandegren, L., Melhus, Å., Drobni, M., Hernandez, J., Waldenström, J., ... & Olsen, B. (2012).** *Animal health research reviews*, 9(2), 149-158.
- **Hussein, A. H., Ghanem, I. A., Eid, A. A., Ali, M. A., Sherwood, J. S., Li, G., ... & Logue, C. M. (2013).** Molecular and phenotypic characterization of *Escherichia coli* isolated from broiler chicken flocks in Egypt. *Avian Diseases*, 57(3), 602-611.

I

- **Ishii, S., Ksoll, W. B., Hicks, R. E., & Sadowsky, M. J. (2006).** Presence and growth of naturalized *Escherichia coli* in temperate soils from Lake Superior watersheds. *Antimicrobial Resistance and its Epidemiology, Antimicrobial resistance in selected bacteria from poultry. Antimicrobial resistance of Escherichia coli isolated from poultry feed, poultry farm and*.
- **Ismail R., Aviat F., Michel V., Le Bayon I., Gay-Perret P., Kutnik M., Fédérighi M.** Methods for recovering microorganisms from solid surfaces used in the food industry: a review of the literature. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, 2013; 10(11):6169–6183.
- **ISO 9235:2013(fr): matières premières aromatiques naturelles, vocabulaire [en ligne, consulter le 26 avril 2024 à 19:24].**

- **JEAN F., FRANÇOIS R., ROLAND L., And PHILIPPE R. (2007).** *Précis de Bactériologie clinique* 2ème édition, ESKA.
- **Johnston, A.Q, la consommation de viande, J Robitaille (2012).** *ARANCHE DU POULET DE CHARIB H. (2006).* Risque hygiénique lié à la présence des *Escherichia coli* dans les viandes et les produits carnés : un réel problème de santé publique. *Institut Aromathérapie scientifique.*
- **JOLY B., et REYNA. M. Svennerholm, A. Navarro, M. C. Pirez, and F. Schelotto. (2015).** *Enteropathogens associated with acute diarrhea in children from households with high socioeconomic level in Uruguay. International Journal of Microbiology,* 2015.

K

- **Kaci, A. (2016).** La production et la mise en marché du poulet de chair dans la wilaya de Médéa (Algérie) : nécessité d'une coordination entre acteurs = *The production and marketing of broiler chickens in the wilaya of Médéa (Algeria): necessity of a coordination between actors.*
- **Kalemba, D. A. (2006).** Influence d'un traitement oral à la Fluméquine sur la résistance aux quinolones des souches d'*Escherichia coli* dans la flore fécale du poulet de chair.
- **Kalemba, D., & Kunicka, A. (2003).** Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current Medicinal Chemistry,* 10, 813-829.
- **Kaul, P. N., & Bhattacharya.** Antibacterial resistance worldwide: causes, challenges and responses. *Nature medicine,* 10(Suppl 12), S122-S129.
- **KEMA. K., & Kunicka, A. L. K., & Long, H. (2022).** Evolution and emergence of antibiotic resistance in given ecosystems: possible strategies for addressing the challenge of antibiotic resistance. *A. M. (1998). Use of antimicrobial drugs in veterinary practice. Bmj,* 317(7159), 665-667.
- **Khoddami, M., Hosseini, M.S., & Hassanshahian, M. (2018).** Antibacterial Activity of *Semenovia suffruticosa* (Essential Oil) Against Pathogenic Bacteria and Determination of Chemical Composition of Essential Oils by Gas Chromatography-Mass Spectrometry Analysis in Four Regions of Kerman. *Journal of Dietary Supplements,* 1-11.
- **Kunert Filho, H.C., Brito, K.C.T., Cavalli, L.S., & Brito, B.G. (2015).** Avian pathogenic *Escherichia coli* (APEC)-an update on the control. *The Battle Against Microbial Pathogens: Basic Science, Technological Advances and Educational Programs,* 2, 598-618.

L

- **Lane, M.C., Lockatell, V., Monterosso, G., Lamphier, D., Weinert, J., Hebel, J. R., et al. (2005).** Role of motility in the colonization of uropathogenic *Escherichia coli* in the urinary tract. *Infection and Immunity,* 73, 7644-7656.

- **Le Bouguéneq, C. (1999).** Diagnostic des différents pathovars de *Escherichia coli* responsables de diarrhées chez l'homme. *Revue Française des Laboratoires*, 1999(314), 33-37.
- **Le Minor, L., Grimont, P. A. D., Carle, S., Fayolle, C., Lenormand, P., Loudet, D., ... & Thiberge, J. M. (1989).** Origine et répartition en sérovars des souches de *Salmonella* isolées en France continentale au cours des années 1984 à 1987. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 19(1), 12-17.
- **Levy SB et Marshall B. (2004).** A (A DE MEDEA F. A FLORE COMMENSA LETTRE DE L'INSTITUT PA methylases responsable for resistance to aminoglycosides. *Journal of molecular biology*, 193(4), 661–671.
- **Levy, S. B., & Marshall, B. (2004).** A. D., Garrity, G. M., & Euzéby, J. P. (2005). Nomenclature and taxonomy of the genus *Salmonella*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 55(1), 521-524.
- **Lezzar, N., & Benmakhlouf, A. (2006).** Influence d'un traitement oral à la Fluméquine sur la résistance aux quinolones des souches d'*Escherichia coli* dans la flore fécale du poulet de chair.
- **Livermore, D. M. (1995).** β -lactamase in laboratory and clinical resistance. *Clin Microbiol Rev*, 8, 557-584.
- **Lodhia, M. H., Bhatt, K. R., & Thaker, V. S. (2009).** Antibacterial activity of essential oils from palmarosa, evening primrose, lavender and tuberose. *Indian journal of pharmaceutical sciences*, 71(2), 134–136.
- **LOURENÇO Sandra (2021).** ETUDE PHENOTYPIQUE DES RESISTA. (2017). β -Lactamases: a focus on current challenges. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 7(1), a025239.
- **Lymberopoulos, M. (2004).** Identification, Caractérisation et Distribution Phylogénétique du Fimbriae IR Chez *Escherichia Coli*. *Institut National de la Recherche Scientifique (Canada)*.

M

- **Mainil, J. (2003).** Facteurs de virulence et propriétés spécifiques des souches invasives d'*Escherichia coli*: I) les adhésines et facteurs de colonisation. *Ann Med Vet*, 147(2), 105-26.
- **Mainil, J. (2003).** Facteurs de virulence et propriétés spécifiques des souches invasives d'*Escherichia coli* : les adhésines et facteurs de colonisation. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 147, 105–126.
- **Marston, H. D., Dixon, D. M., Knisely, J. M., Palmore, T. N., & Fauci, A. ANONYME. (2021).** Histoire des antibiotiques : la bataille entre l'homme et les bactéries. *ANS LANS LAnthony TOUBOUL. Le Guide Terre Vivante des Huiles Essentielles. Beauclerk, Antibacterial activity of essential oil of Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current medicinal chemistry*, 10(10), 813-829.

- **Martinez, J. L., & Baquero, F. (2000).** Mutation frequencies and antibiotic resistance. *Antimicrobial therapy in Veterinary Medicine 4th Ed S Giguère, JF Prescott, JD Baggot, RD Walker and PM Dowling, Eds.*
- **Marwa, A., Smith, J., & Lee, K. (2021).** Evaluation of essential oils as potential sources of new antibacterial substances, food preservatives, and alternative treatment options for transmissible diseases. *Journal of Essential Oil Research*, 33(2), 123-135.
- **Mazars, G. (2003).** Les phytomédicaments ayurvédiques. *Phytothérapie*, 1(6), 162-168.
- **Meguenni, N. (2016).** Caractérisation phénotypique et génotypique de la résistance aux antibiotiques et aux métaux lourds chez des souches d'*Escherichia coli* pathogènes aviaires (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Meguenni, N., Chanteloup, N., Tourtereau, A., Ahmed, C. A., Bounar-Kechih, S., & Schouler, C. (2019).** Virulence and antibiotic resistance profile of avian *Escherichia coli* strains isolated from colibacillosis lesions in central of Algeria. *Veterinary World*, 12(11), 1840.
- **Menard, R., Molinas, C.** Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of applied microbiology*, 88(2), 308-316.
- **Meyer-Warnod, B. (1984).** Natural essential oils. Extraction processes and application to some major oils.
- **Michael, C.** *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 49(6), 2474-2478.
- **Millet, F. (2015).** Le grand guide des huiles essentielles: Santé-hygiène beauté-bien-être-maison-cuisine. *Marabout*.
- **Mirian, B., Kumar, R., & Lopez, G. (2021).** Global assessment of essential oils as potential sources of new antibacterial substances, food preservatives, and alternative treatment options for infectious diseases. *International Journal of Essential Oil Therapeutics*, 12(4), 456-472.
- **Möller, K. (2008).** La distillation à l'alambic: un art à la portée de tous. *Editorial Unico*.
- **Muller, A. (2017).** Bon usage des antibiotiques: résultats d'actions dans différents types d'établissements de santé (Doctoral dissertation, Université Bourgogne Franche-Comté).
- **Muteeb, G., Rehman, M.T., Shahwan, M., & Aatif, M. (2023).** Origin of Antibiotics and Antibiotic Resistance, and Their Impacts on Drug Development: A Narrative Review. *Pharmaceuticals (Basel)*, 16(11), 1615. Published online Nov 15, 2023. doi: 10.3390/ph16111615. PMID: 38004480.

N

- **Nadir, A. (2011).** Situation actuelle et perspectives de modernisation de la filière avicole en Algérie. *J. la Rech. Avic. algérienne*.

- **Nazzar, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013).** Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451-1474.
- **Nixon, M., & McCaw, M. (2001).** The Compleat distiller. *New Zealand: The A., R. J. Law, R. Scholz, K. M. Keeney, M. Wlodarska, and B. B. Finlay. 2013. Recent advances in understanding enteric pathogenic Escherichia coli. Clinical Microbiology Reviews. 26(4):822-880.*
- **Nouri, A. (2019).** A review. *International Immunopharmacology*, 73, 293-303.
- **Nouri, An enzyme from bacteria able to destroy penicillin.** *Nature*, 146(3713), 837-837.

O

- **Opatowski, M. (2020).** Résistance bactérienne aux antibiotiques, apport du système national des données de santé. *Doctoral dissertation, Université ParisSaclay.*
- **Oulkheir, S., Aghrouch, M., El Mourabit, F., Dalha, F., Graich, H., Amouch, F., ... & Chadli, S. (2017).** Antibacterial activity of essential oils extracts from cinnamon, thyme, clove and geranium against a gram negative and gram positive pathogenic bacteria. *J. Dis. Med. Plants*, 3, 1-5.
- **OUSSALAH M. (2007).** Inhibitory effects of selected plant essential oils on *Pseudomonas putida* growth, a bacterial spoilage meat. *Meat Science.*, vol 73, 236-244.
- **Oussou, K. R. (2009).** Etude chimique et activités biologiques des huiles essentielles de sept plantes aromatiques de la pharmacopée ivoirienne. *Doctorat de l'Université de Cocody-AI 2014*
• N°85 • LAIN LORS DE L'AINIL J., 2006, 150, 108-124.

P

- **Palumbi, S. R. (2001).** Humans as the world's greatest evolutionary force. *Science*, 293(5536), 1786-1790.
- **Payros, D. (2012).** Etude de l'effet de la colonisation des nouveau-nés par des souches d'*Escherichia coli* génotoxiques sur le développement et la fonctionnalité de la barrière intestinale. *Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.*
- **Pereira, E. P. V., Van Tilburg, M. F., Florean, E. O. P. T., & Guedes, M. I. F. (2019).** Egg yolk antibodies (IgY) and their applications in human and veterinary health: A review. *International immunopharmacology*, 73, 293-303.
- **Pichersky, E., Noel, J.P., & Dudareva, N. (2006).** Biosynthesis of plant volatiles: nature's diversity and ingenuity. *Science*, 311, 808-811.
- **Piddock, L. J. (1996).** Does the use of antimicrobial agents in veterinary medicine and animal husbandry select antibiotic-resistant bacteria that infect man and compromise antimicrobial chemotherapy?. *The Journal of antimicrobial chemotherapy*, 38(1), 1-3.

- **Power, M. L., J. Littlefield-Wyer, D. M. Gordon, D. Africa. (2006).** Journal of Paleolimnology, 36, 189-209.
- **Promila, P. (2018).** A review on the medicinal and aromatic Plant *Cymbopogon martinii* (Roxb.) Watson (Palmarosa). *Int. J. Chem. Stud.*, 6, 1311-1315.

Q

- **Qadri, F.** Aux racines de la phytothérapie : entre tradition et modernité. *Phytothérapie*, 4, 171-175.
- **Qadri, F., A. M. Svennerholm, A. S. Faruque, and R. B. Sack. (2005).** Enterotoxigenic *Escherichia coli* in developing countries: epidemiology, microbiology, clinical features, treatment, and prevention. *Clinical Microbiology Reviews*, 18(3), 465-483.
- **Qu, S., Dai, C., Shen, Z., Tang, Q., Wang, H., Zhai, B., Zhao, L., & Hao, Z. (2019).** Mechanism of Synergy Between Tetracycline and Quercetin Against Antibiotic Resistant *Escherichia coli*. *Frontiers in microbiology*, 10, 2536.

R

- **Rahhal, R., El Hajjouji, H., Sattar, S., Hsaine, M., Fougrach, H., & Badri, W. (2016).** A. S., Lezzar, K. E., Cole, J., Dettman, D., Ellis, G. S., Gonnee, M. E., ... & Zilifi, D. (2006). Late Holocene linkages between decade–century scale climate variability and productivity at Lake Tanganyika, A. T. (2002). 10.321/eid0805. Typical and A. V. Semenov, R. Costa, and J. T. Trevors. 2011. Survival of *Escherichia coli* in the environment: fundamental and public health aspects. *The Isme Journal*, 5(2), 173-183.
- **Ramirez, M. S., & Tolmasky, M. E. (2010).** *Anvillea radiata* Coss. et Dur AO, 2022, LAoust, 2005 ; Tardieu, 2011.
- **Ravindran, P. N., Nirmal-Babu, K., & Shylaja, M. (Eds.). (2003).** *Cinnamon and cassia: the genus Cinnamomum*. CRC press.
- **Raza S., Matuła, K., Karoń, S., & Paczesny, J. (2021).** Resistance and adaptation of bacteria to non-antibiotic antibacterial agents: Physical stressors, nanoparticles, and bacteriophages. *Antibiotique et antibioresistances*.
- **Robitaille, J. (2012).** La consommation de viande. Évolution et perspectives de croissance. *Bioclips plus*, 15(1).

S

- **Saby, L. (2022).** Aminov, R. I. (2009). The role of antibiotics and antibiotic resistance in nature. *Environmental microbiology*, 11(12), 2970-2988.

- **Sadikalay, S. (2018).** Influence des rejets humains et animaux sur la diffusion de l'antibiorésistance à l'homme, aux animaux et à l'environnement en Guadeloupe. *Doctoral dissertation, Antilles.*
- **Sakkas, H., & Papadopoulou, C. (2017).** Antimicrobial Activity of Basil, Oregano, and Thyme Essential Oils. *Journal of microbiology and biotechnology*, 27(3), 429–438.
- **Sanders, P., Perrin-Guyomard, A., & Moulin, G. (2017).** Évolution de l'utilisation des antibiotiques en production animale. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 52(6), 301-311.
- **Sarba, E. J., Kelbesa, K. A., Bayu, M. D., Gebremedhin, E. Z., Borena, B. M., & Teshale, A. (2019).** Identification and antimicrobial susceptibility profile of *Escherichia coli* isolated from backyard chicken in and around ambo, Central Ethiopia. *BMC veterinary research*, 15(1), 85.
- **Savita, J., Beniwal, V., Chhokar, V., & Saini, S. S. (2007).** A., Dominey-Howes, D., & Labbate, M. (2014). The antimicrobial resistance crisis: causes, consequences, and management. *Frontiers in public health*, 2, 110657.
- **Schmieder, R., & Edwards, R. (2012).** Insights into antibiotic resistance through metagenomic approaches. *Future microbiology*, 7(1), 73-89.
- **Schroeder, C. M., White, D. G., Ge, B., Zhang, Y., McDermott, P. F. (2016).** Antimicrobial resistance. *Jama*, 316(11), 1193-1204.
- **Schroeder, G. N., and H. Hilbi. (2008).** Molecular pathogenesis of *Shigella* spp.: controlling host cell signaling, invasion, and death by type III secretion. *Clinical Microbiology Reviews*, 21(1), 134-156.
- **Selvarajan, R., Obize, C., Sibanda, T., A. K. (1998).** *Cymbopogon martinii* (Roxb') Wats' Yar. *Indian Perfumer*.
- **Shobrak, M. Y., & Abo-Amer, A. E. (2014).** Role of wild birds as carriers of multi-drug resistant *Escherichia coli* and *Escherichia vulneris*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45, 1199-1209.
- **Sipailiene, A.** Antibiotics from Salvarsan to Cephalosporins. *J. Investig Surg.*, 25, 67–77.
- **Sipailiene, A., Venskutonis P.R., Baranauskiene R. & Sarkinas A. (2006).** Antimicrobial Activity of commercial samples of thyme and marjoram oils. *Journal of Essential Oil Research*, 18: 698-703.
- **Smati, M., O. Clermont. (2015).** Activité antibactérienne de l'huile essentielle de l'AD. Identification of *Escherichia coli* O-serogroups by restriction of the amplified O-antigen gene cluster (rfb-RFLP).
- **Subedi, M., Luitel, H., Devkota, B., Bhattarai, R.K., Phuyal, S., Panthi, P., Shrestha, A., & Chaudhary, D.K. (2018).** Antibiotic resistance pattern and virulence genes content in avian

pathogenic *Escherichia coli* (APEC) from broiler chickens in Chitwan, Nepal. *BMC Veterinary Research*, 14, 113.

T

- **Tenaillon, O., Skurnik, D., Picard, B., & Denamur, E. (2010).** The population genetics of commensal *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*, 8, 207–217.
- **Thai, T. H., Hirai, T., Lan, N. T., & Yamaguchi, R. (2012).** ABDELOUHIB D.E. (2008). Composition et activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Origanum glandulosum* d'Abia, Abidjan, 241p.
- **Tindall, B. J., Grimont, P.** Antibiotic-Resistant *Escherichia coli* in Wild and Domestic Waterfowl in Ukraine. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 24(1), 1726.
- **Tiwari, B. K., Valdramidis, V. P., O'Donnell, C. P., Muthukumarappan, K., Bourke, P., & Cullen, P. J. (2009).** A. David, A. *International journal of food microbiology*, 85(1-2), 197-202.
- **Tomi, F., & Casanova, J. (2006).** ¹³C NMR as a tool for identification of individual components of essential oils from Labiatae - a review. *Acta Horticulturae*, 723, 185-192.
- **Trabulsi, L. R., Keller, R., & Gomes, T. (2002).** *Applied and Environmental Microbiology*. 72(1), 612-621.
- **Trombetta, D., Castelli, F., Sarpietro, M. G., Venuti, V., Cristani, M., Daniele, C., ... & Bisignano, G. (2005).** Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *AU B., MAUD AUD F., LECLERCQ R et RIEGEL P. (2007). Précis de bactériologie clinique. Ed. ESKA* Australian lakes. *Environmental Microbiology*, 7(5), 631-640.
- **Tsai, M. L., Lin, C. C., Lin, W. C., & Yang, C. H. (2011).** Antimicrobial agents and chemotherapy, 4u4(7), 1771-1777.

V

- **Van den Beld, M. J., and F. A. Reusaet. (2012).** Differentiation between *Shigella*, enteroinvasive *Escherichia coli* (EIEC) and noninvasive *Escherichia coli*. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 31 (6), 899-904.
- **Van den Beld, M. J., and F. Anvillea radiata Coss. and Dur.** *Proceedings RSE*, 1(2016), 27-31.
- **Van Elsas, J. D., A. S. (2016).** A. S. Faruque, and R. B. Sack. 2005. Enterotoxigenic *Escherichia coli* in developing countries: epidemiology, microbiology, clinical features, treatment, and prevention. *Clinical Microbiology Reviews*, 18(3), 465-483.
- **Vandaële, E. (2012).** Le lien entre l'usage d'antibiotiques et l'antibiorésistance est-il établi. *Point Vet*, 331, 8-9.

- **Varela, G., L. Batthyany, M. N. Bianco, W. Pérez, L. Pardo, G. A. Veal, and M. B. Slade. (2005).** Phenotypic and genotypic characterization of encapsulated *Escherichia coli* isolated from blooms in two Australian lakes. *Environmental Microbiology*, 7(5), 631-640.
- **Veysière, A. (2019).** La résistance aux antibiotiques des bactéries les plus communément rencontrées dans les infections communautaires: état des lieux en 2019. *Sciences du Vivant [q-bio]*.

W

- **Walk, S. T., & Reubsaet, E. W. A. (2012).** Differentiation between *Shigella*, enteroinvasive *Escherichia coli* (EIEC) and noninvasive *Escherichia coli*. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 31(6), 899-904.
- **Walk, S. T., Alm, E. W., Calhoun, L. M., Mladonicky, J. M., & Whittam, T. S. (2007).** Genetic diversity and population structure of *Escherichia coli* isolated from freshwater beaches. *Environmental microbiology*, 9(9), 2274-2288.
- **Wang, L., Zhang, Y., Fan, G., Ren, J. N., Zhang, L. L., & Pan, S. Y. (2019).** Effects of orange essential oil on intestinal microflora in mice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(8), 4019-4028.
- **Wehrli, W., Nüesch, J., Knüsel, F., & Staehelin, M. (1968).** Agronomie et Vétérinaire Hassan II. Les technologies de laboratoire. 1, 5-9.
- **Wilkinson, J. M. (2006).** Methods for testing the antimicrobial activity of extracts. In Ahmad I., Aqil F. and Owais M. (Eds.), *Modern Phytomedicine: Turning Medicinal Plants into Drugs*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 157-165.
- **Wilson, M. (2010).** *Huiles essentielles pour la cuisine et le bien-être*. Montréal: Fides.
- **Wise, Abou-Donia. (1975).** Sulfonamide resistance mechanism in *Escherichia coli*: R plasmids can determine sulfonamide-resistant dihydropteroate synthases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 72(7), 2621–2625.
- **Wright, G. D. (2011).** Molecular mechanisms of antibiotic resistance. *Chemical communications*, 47(14), 4055-4061.

X

- **Xu, J., Sangthong, R., McNeil, E., Tang, R., & Chongsuvivatwong, V. (2020).** Antibiotic use in chicken farms in northwestern China. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, 9, 1–9.

Z

- **Zaffiri, L.; Gardner, J.; Toledo-Pereyra, L. H. (2006).** History of Algeriephytotherapie, 6, 153-159.
- **Zgurskaya, H. I., & Nikaido, H. (2000).** Multidrug resistance mechanisms: drug efflux across two membranes. *Molecular microbiology*, 37(2), 219-225.

Webographie

- **Algérie Eco. (2024).** Algérie Eco. Consulté le 23/02/2024, à partir de <https://www.algerie-eco.com>.
- **Chardon, H., & Brugère, H. (2014).** Usages des antibiotiques en élevage et filières viandes. Consulté en ligne : www.civ-viande.org.
- **JILANI, A., & DICKO, A. (2012).** The therapeutic benefits of essential oils. In: *Nutrition, Well-Being and Health* [Internet]. Croatia: InTech. Available from: https://www.researchgate.net/publication/221925405_The_Therapeutic_Benefits_of_Essential_Oils.
- **JOLY B. et REYNAUD A. (2006).** Entérobactéries: Systématiques et méthodes de diagnostic. Ed. TEC & DOC. Paris, pp.4(28), 2(29-30), 3(31-37,38). Consulté le 20 juillet 2021 à partir de <https://aboutsmallruminants.com/fr/histoire-antibiotiques-evolution-chronologie/>.
- **World Animal Protection. (2024).** Surconsommation d'antibiotiques chez les animaux d'élevage. Consulté le 24/02/2024, à partir de <https://fr.worldanimalprotection.ca/nouvelles/surconsommation-dantibiotiques-animaux-delevage>.

Annexe 01

Tableau 04 : Tableau Comparatif des Antibiotiques : Mode d'Action, Effet Antibactérien, et Spectre d'Activité.

Antibiotique	Mode d'action	Effet antimicrobien	Spectre d'activité	Référence
Bêtalactamines . Pénicillines . Céphalosporines . Carbapénème	<p>Les β-lactamines partagent un mécanisme d'action commun : elles inhibent la synthèse du peptidoglycane de la paroi bactérienne en se liant de manière covalente à certaines enzymes responsables de la transpeptidation, une étape cruciale dans la formation du peptidoglycane, les empêchant ainsi de remplir leurs fonctions. Ces enzymes, situées sur la face externe de la membrane interne, sont appelées protéines liant les pénicillines (PLP). Le nombre de PLP varie selon les espèces bactériennes, allant de 3 à plus de 8, et elles présentent des affinités différentes pour chaque famille de β-lactamines</p>	Bactéricide	<p>Large éventail de bactéries à gram positive et négative</p> <p>Notamment.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Staphylococcus</i> ➤ <i>Pseudomonas</i> ➤ <i>Acinetobacter</i> <i>Haemophilus</i> 	<p>Cavallo <i>et al.</i>, 2004.</p> <p>Fauchère et Avril, 2002</p> <p>Fisher et Meroueh, 2005.</p>

<p>Aminoside</p>	<p>Ces molécules perturbent la traduction des acides ribonucléiques messagers (ARNm) et la synthèse des protéines. Une fois qu'elles pénètrent passivement dans la bactérie, elles sont acheminées vers les ribosomes, où elles interfèrent avec la sous-unité 30S, essentielle pour la lecture de l'ARNm lors de la synthèse des peptides. Cela entraîne la production de protéines défectueuses appelées « protéines non-sens », qui provoquent la mort des bactéries.</p>	<p>Bactéricide</p>	<p>Les aminosides sont principalement actifs contre les bactéries à Gram négatif aérobies, incluant les bacilles, Cocci et coccobacilles. Ils sont également efficaces contre les staphylocoques et certains bacilles à Gram positif.</p>	<p>Robert, 2013 Toumi <i>et al</i> 2008</p>
<p>Rifamycine</p>	<p>Ces molécules se lient à la sous-unité β de l'ARN polymérase dépendante de l'ADN, ce qui empêche l'initiation de la transcription de l'ADN bactérien en ARN messager</p>	<p>Bactéricide</p>	<p><i>Staphylococcus</i>, <i>Enterococcus</i>, <i>Mycobacterium</i></p>	<p>Robert, 2013</p>

<p>.Tétracyclines . Doxycycline . Tétracycline . Minocycline</p>	<p>Se fixe à la sous- unité 30S du ribosome empêche l'attachement de l'ARN de transfert (ARNt) au site A, inhibant ainsi la synthèse protéique.</p>	<p>Bactéricide et bactériostatique</p>	<p>Comprennent des genres tels que Chlamydia, Brucella, Rickettsia, De plus, elles incluent des bactéries à Gram positif comme Neisseria, Bacillus anthracis, Yersinia pestis</p>	<p>Yala <i>et al.</i>, 2001</p>
<p>Quinolone .Ciprofloxacin . Levofloxacin . Moxifloxacin</p>	<p>Se fixe à la sous- unité 30S du ribosome empêche l'attachement de l'ARN de transfert (ARNt) au site A, inhibant ainsi la synthèse protéique.</p>	<p>Bactéricide et bactériostatique</p>	<p>Les Quinolone de Première génération sont actives sur la plupart des entérobactéries : <i>Escherichia coli</i>, <i>Klebsiella</i> <i>Citrobacter</i> Les Quinolone de deuxième génération : Le spectre élargi <i>Pseudomonas aeruginosa</i></p>	<p>Cécile enguehard et Alain gueiffier, 2005 Gaudy <i>et al.</i>, (2005) Mammeri <i>et al.</i>, (2013)</p>

Fosfomycine	La fosfomycine inhibe la synthèse de la paroi bactérienne en bloquant l'enzyme pyruvyl-transférase, ce qui empêche la formation de l'acide N-acétylmuramique, un composant essentiel du peptidoglycane.	bactéricide	large spectre sur les gram + (et les bacille a <i>staphylococcus aureus</i> gram –(les entérobactérie sauf <i>morganella morganii</i>	Alfandari, 2014
Les macrolides	Les macrolides provoquent une terminaison prématurée de lasynthèse polypeptidique. Ils se lient à la peptidyltransférase et ils peuvent, dans certaines conditions, inhiberla transpeptidation,et/ou déclencher une translocation abortive, conduisant à la libération d'un polypeptide incomplet	bactéricide	Bactéries à Gram négatif et positif <i>Streptococcus pneumoniae</i> (<i>pneumocoque</i>) <i>Streptococcus pyogenes</i>	SINGLETON, 2005)

Les sulfamides et triméthoprim	Ils entrent en compétition avec le PAB, bloquant ainsi l'action de la dihydroptéroate synthétase et inhibant la synthèse de l'acide tétrahydrofolique (THF).	Bactériostatique	Les sulfamides ont un spectre large (ils sont cependant inactifs sur <i>Enterococcus spp.</i> les mycobactéries, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , Les germes anaérobies, les spirochètes)	YALA et al., 2001
---	--	------------------	--	-------------------

Annexe 02 : Enquête épidémiologique

Q1. Type de volaille :

P.C P.P P.R Autre

Q2. Age de la volaille :.....

Q3. Espèce :.....

Q7. Quel est le nombre de bâtiments ?

- a. Un
- b. Plusieurs

Q9. Quel est l'effectif de l'élevage ?

Q10. Quelle est la nature du sol ?

- a. En béton
- b. Terre battue
- c. Sol grillage

Q11. Durée du vide sanitaire :.....

Q12. La désinfection est-elle pratiquée ?.....

Q13. Le type d'alimentation donné aux volailles : (forme)

Q14. Quelle est la durée de stockage des aliments ?

Q15. La qualité de l'eau ?.....

Q16. Quelle est l'origine de l'eau ?.....

- a. Puits
- b. Adduction urbaine

Q17. Quels sont les traitements réalisés ? (Avant prélèvement)

.....

Q19. Quel est le taux de production ? (Poules pondeuses)

.....

Q21. Quel est le taux de mortalité ?.....

Annexe 03 : Équipements et milieux utilisés au laboratoire de microbiologie

➤ **Appareils**

- Autoclave à 120°C.
- Bain Marie.
- Vortex.
- Étuve 37°C.
- Spectrophotomètre.
- Séchoir.
- Réfrigérateur.
- Microscope optique.

➤ **Verreries**

- Tubes à essai.
- pipettes Pasteur.
- Erlenmeyer.
- Flacons.
- Lames.
- Pipettes graduées.
- Macro pipette.

➤ **Outils**

- Micropipettes (1000µl et 100µl).
- Macropipette.
- Embouts stérile.
- Anse à boucle (Anse de platine).
- Boites de Pétri.
- Cryotubes.
- Écouvillons.
- Pince métallique.
- Bec bunsen.

➤ **Milieux de culture et réactifs**

- Eau peptonée tamponnée.
- Bouillon BHIB (Brain Heart Infusion Broth).
- Milieu Hektoen.
- Milieu Muller-Hinton.
- Milieu GN (gélose nutritive).
- Milieu TSI (triple sugar iron).
- Milieu urée indole.
- Milieu Mannitol-Mobilitéé-Nitrate.
- Milieu citrate de Simmons.
- Eau physiologique stérile et eau distillée stérile.
- Violet de Gentiane Lugol, alcool, fushine.
- Glycérol.
- disques oxydases.
- Peroxyde d'hydrogène.
- Éthanol.
- Huile de vaseline.
- Kovacs.

Annexe 04 : Les étapes de la coloration de gram

1. Préparation du frottis

Une colonie bactérienne caractéristique d'*Escherichia coli* est prélevée et déposée sur la lame qui contient une goutte d'eau physiologique, le frottis est ensuite fixé en passant la lame au-dessus d'une flamme de bec Bunsen pour un chauffage léger.

2. Coloration primaire

Quelques gouttes de cristal violet ou de bleu de méthylène sont appliquées sur le frottis pendant environ une minute. Ensuite, le colorant primaire est éliminé en rinçant abondamment à l'eau courante.

3. Fixation (mordançage)

Quelques gouttes de solution de Lugol sont ajoutées sur le frottis et laissées en contact pendant environ une minute. Ensuite, l'excès de Lugol est éliminé par un rinçage abondant à l'eau courante.

4. Décoloration

Le frottis est ensuite rincé avec de l'éthanol à 96 % pendant quelques secondes (environ 1 à 10 secondes), puis il est rincé à l'eau. Cette étape permet de décolorer certaines bactéries tout en préservant d'autres intactes.

5. Contre coloration

Appliquée La fuchsine sur le frottis pendant environ 1 minute. Ce qui contre colore le cytoplasme des bactéries gram négatif en rose puis séchez à l'Aire libre.

6. Observation microscopique

Une goutte l'huile d'immersion est ajoutée sur La lame avant l'observation. L'observation est effectuée sous l'objectif 100.

Annexe 05 : Les étapes de la réalisation d'un antibiogramme

1. Le choix du milieu

Mueller-Hinton (MH) agar est le milieu de culture utilisé pour les tests de sensibilité aux antibiotiques, Sa composition est spécialement formulée pour favoriser une croissance uniforme des bactéries sans interférer avec l'efficacité des antibiotiques testés. La gélose Mueller-Hinton est coulée dans les boîtes de Pétri à une épaisseur de 4 mm et doit être séché avant utilisation.

2. Préparation de l'inoculum

La suspension bactérienne est préparée en diluant quelques colonies bactériennes caractéristiques d'*Escherichia coli* provenant d'une culture pure incubée pendant 18 heures à 37°C sur milieu d'isolement approprié (GN) , dans de l'eau physiologique stérile à l'aide d'une pipette Pasteur. Après homogénéisation à l'aide d'un vortex, le densité optique de la suspension bactérienne est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre classique, elle doit être ajustée pour obtenir une valeur comprise entre 0.08 et 0.1 à une longueur d'onde de $\lambda=625$ nm.

3. Ensemencement

L'ensemencement est réalisé à l'aide d'un écouvillon stérile préalablement imprégné de la suspension bactérienne. Après avoir été essoré délicatement contre la paroi du tube, des stries serrées sont appliquées de haut en bas sur toute la surface de la gélose Muller Hilton, en tournant la boîte de Pétri de 60 degrés à chaque série de stries pour assurer une répartition uniforme des bactéries. Cette opération est répétée trois fois. Pour finaliser l'ensemencement, l'écouvillon est glissé le long de la périphérie de la gélose. Cette procédure doit être réalisée dans les 15 minutes suivant la préparation de l'inoculum pour garantir l'efficacité de l'ensemencement bactérien.

4. Dépôt des disques d'antibiotique

À l'aide d'une pince stérile, les disques d'antibiotiques sont déposés avec précaution à la surface de la gélose préalablementensemencée. Après le dépôt, chaque disque est légèrement pressé sur la gélose pour assurer un bon contact. Les disques sont espacés d'environ 3 cm afin d'éviter toute interférence entre les zones d'inhibition des différents antibiotiques. Les boîtes sont ensuite laissées à température ambiante pour permettre aux antibiotiques de diffuser dans le milieu avant le début de la croissance bactérienne, facilitant ainsi l'observation des zones d'inhibition et l'interprétation des résultats d'antibiogramme.

5. Incubation

Après la pré-diffusion des antibiotiques sur la gélose, les boîtes sont incubées à 37°C pendant 18 à 24 heures.

6. Lecture

Les zones d'inhibition sont mesurées avec précision à l'aide d'un pied à coulisse ou d'une règle calibrée. Ces mesures sont cruciales pour interpréter les résultats en fonction des diamètres critiques établis par les recommandations du Clinical and Laboratory Standard Institute (CLSI) 2023. Les résultats sont ensuite classés en trois catégories : sensible, résistant ou intermédiaire.

7. Contrôle de qualité

Pour interpréter correctement les résultats obtenus lors de notre expérimentation, une souche de référence spécifique, *Escherichia coli* ATCC 25922, (selon les normes du CLSI 2023) est utilisée. Les diamètres des zones d'inhibition mesurées sont comparés aux valeurs de référence pour assurer la validité de la technique et la fiabilité des résultats ainsi que l'efficacité des disques d'antibiotiques

Annexe 06: Compositions des milieux de culture utilisés en g/L

Bouillon cœur-cerveille (BHIB)

- Protéase-peptone..... 10g
- Infusion de cervelle de veau.....12,5g
- Infusion de cœur de bœuf..... 5,0g
- Glucose..... 2,0g
- Chlorure de sodium.....5g
- Hydrogénophosphate de sodium.....2,5g
- pH 7,4

Gélose Hektöen

- Protéase peptone.....12g
- Extrait de levure..... 3,0g
- Désoxycholate de sodium..... 9,0g
- Lactose..... 12g
- Saccharose.....12g
- Salicine.....2,0g
- Bleu de bromothymol.....65mg
- Fuchsine acide..... 100mg
- Thiosulfate de sodium..... 5,0g
- Citrate ferrique ammoniacal.....1,5g
- Chlorure de sodium..... 5,0g
- Agar.....15g
- ph=7,5

Gélose Mueller Hinton

- Hydrolysate acide de caséine (peptone)..... 17,5 g
- Extrait de viande..... 2g
- Amidon.....1,5g
- Calcium..... 20 à 25g
- Magnésium..... 10 à 12,5g
- Agar.....15g
- pH 7,4± 0,2

Milieu urée indole

- L-Tryptophane..... 3g
- KH₂PO..... 1g
- Chlorure de sodium..... 5g
- Urée..... 20g
- Alcool à 95°.....10ml
- Rouge de phénol.....0,025mg
- pH final : 6,8± 0,2

Milieu citrate de Simons :

- Citrate de sodium.....2,0 g
- Phosphate d'ammonium dihydrogéné.....1,0 g
- Sulfate de magnésium.....0,2 g
- Chlorure de sodium.....5,0 g
- Bromothymol bleu (indicateur de pH).....0,08 g
- Agar.....15,0 g
- pH 6,9 ± 0,2

Milieu Mannitol mobilité

- Peptone : 10 g
- Extrait de viande : 3 g
- Manitol : 10 g
- Rouge neutre (indicateur de pH) : 0,025 g
- Agar : 0,3 g
- pH 7,2 ± 0,2