

Activité antibactérienne des huiles essentielles de plantes aromatiques sur les souches bactériennes résistantes aux antibiotiques à Kisangani, RD Congo. Cas d'*Allium sativum* L., *Cinnamomum zeylanicum* et *Eugenia caryophyllata*.

Antibacterial activity of essential oils from aromatic plants against antibiotic-resistant bacterial strains in Kisangani, Democratic Republic of the Congo: A case study of *Allium sativum* L., *Cinnamomum zeylanicum*, and *Eugenia caryophyllata*.

Gabriel MONGULU MONATU^{1*}, Aimé Jospin MONGULU BILUKI², Robert KABEMBA SALIBOKO¹, Sarah MISSIMBU MAYINDU¹, René IYOKWA BOYOKO¹, Bernard MALEMO LOFUTU¹, César MONGULU MOIDJA³, Raymond ASSANI RAMAZANI¹, Martin ASUMANI KAMUSOSE⁴, Didy ONAUTSHU ODIMBA⁴, Jean-Paul IYOMBE ENGEMBE⁵

¹Département de Biologie Médicale, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kisangani, RD Congo ;

²Section Sciences Infirmières, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bumba, RD Congo ;

³Département des Sciences Agronomiques, Institut Supérieur Pédagogique de Bumba, RD Congo ;

⁴Département de Biotechnologie, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, RD Congo ;

⁵Section Biologie Médicale, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kinshasa, RD Congo ;

RESUME:

La résistance aux antibiotiques limite l'efficacité des traitements, augmente la morbidité, la mortalité et les coûts associés aux infections bactériennes. Les plantes médicinales jouent un rôle essentiel dans le traitement des maladies et deviennent ainsi une voie importante pour les soins de santé. Cette étude vise à évaluer *in vitro* l'activité antibactérienne des huiles essentielles des plantes aromatiques (*Allium sativum* L., *Cinnamomum zeylanicum* et *Eugenia caryophyllata*) sur les souches bactériennes résistantes aux antibiotiques couramment utilisés dans la région de Kisangani. Il s'agit d'une étude descriptive analytique menée à Kisangani, portant sur l'analyse en laboratoire, à la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani, des huiles essentielles extraites de trois plantes aromatiques précitées, dont les échantillons ont été prélevés au Marché central de Kisangani. Trois essais cliniques ont été faits sur chaque échantillon. Les activités inhibitrices ont été déterminées par la méthode d'hydrodistillation, et l'antibiogramme a permis de déterminer les concentrations minimales inhibitrices. L'ANOVA nous a permis de comparer la somme des moyennes de différentes valeurs prélevées des huiles essentielles des plantes aromatiques ciblées. Les résultats de cette étude ouvrent la voie à la réalisation d'études *in vivo* pour évaluer la dépendance et l'efficacité clinique des huiles essentielles. Ils permettent également l'évaluation de l'activité antibactérienne en combinaison avec des antibiotiques classiques, afin d'explorer des effets synergiques et de réduire les doses d'antibiotiques utilisées.

Mots-clés : Activité antibactérienne, huiles essentielles, plantes aromatiques, souches bactériennes, résistance aux antibiotiques.

ABSTRACT :

Antibiotic resistance limits treatment efficacy and increases the morbidity, mortality, and costs associated with bacterial infections. Medicinal plants play a vital role in treating diseases and represent an important avenue for healthcare. This study aims to evaluate *in vitro* the antibacterial activity of essential oils from aromatic plants (*Allium sativum* L., *Cinnamomum zeylanicum*, and *Eugenia caryophyllata*) against bacterial strains resistant to antibiotics commonly used in the Kisangani region. This descriptive-analytical study was conducted in Kisangani and involved laboratory analysis at the Faculty of Science, University of Kisangani, of aromatic plants obtained from the Kisangani Central Market. Three trials were performed on each sample. Inhibitory activities were determined following hydrodistillation, and susceptibility testing was used to establish minimum inhibitory concentrations. ANOVA was used to compare the mean values obtained for the essential oils of the targeted aromatic plants. The study results pave the way for *in vivo* research to evaluate the clinical efficacy of these essential oils. They also enable the assessment of antibacterial activity when combined with conventional antibiotics, offering a means to explore synergistic effects and potentially reduce antibiotic dosages.

Keywords: Antibacterial activity, essential oils, aromatic plants, bacterial strains, antibiotic resistance.

*Adresse des Auteur(s)

Gabriel MONGULU MONATU, Département de Biologie Médicale, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kisangani, RD Congo ;

E-mail : gabrielmongulu17@gmail.com

Tél : +243812389776

Aimé Jospin MONGULU BILUKI Section Sciences Infirmières, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bumba, RD Congo ;

Robert KABEMBA SALIBOKO, Département de Biologie Médicale, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kisangani, RD Congo ;

Sarah MISSIMBU MAYINDU, Département de Biologie Médicale, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kisangani, RD Congo ;

René IYOKWA BOYOKO, Département de Biologie Médicale, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kisangani, RD Congo ;

Bernard MALEMO LOFUTU, Département de Biologie Médicale, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kisangani, RD Congo ;

César MONGULU MOIDJA, Institut Supérieur Pédagogique de Bumba, RD Congo ;

Raymond ASSANI RAMAZANI, Département de Biologie Médicale, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kisangani, RD Congo ;

Martin ASUMANI KAMUSOSE, Département de Biotechnologie, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, RD Congo ;

Didy ONAUTSHU ODIMBA, Département de Biotechnologie, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, RD Congo ;

 <https://orcid.org/0000-0003-3291-0351>

Jean-Paul IYOMBE ENGEMBE, Section Biologie médicale, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kinshasa, RD Congo.

 <https://orcid.org/0000-0003-3967-5606>

I. INTRODUCTION

L'augmentation mondiale de la résistance des bactéries aux antibiotiques conventionnels constitue un défi majeur pour la santé publique. La vitesse d'adaptation des bactéries dépasse désormais le rythme de développement de nouvelles molécules antibiotiques de synthèse. Cette résistance des bactéries aux antibiotiques limite l'efficacité des traitements, augmentant la morbidité, la mortalité et les coûts associés aux infections bactériennes. Les programmes de contrôle de la résistance aux antibiotiques, conjugués à une utilisation rationnelle des antimicrobiens, sont indispensables, mais ne suffisent pas à résoudre seul ce problème (World Health Organization, 2021).

Les plantes médicinales jouent un rôle essentiel dans le traitement des maladies, devenant ainsi une voie importante pour les soins de santé (Mbula et al, 2023 ; Mbadiko et al., 2020). Leur composition riche en métabolites secondaires offre un potentiel inexploré de substances bénéfiques. De plus, les plantes aromatiques produisent des molécules odorantes qui sont à la base des huiles essentielles, connues pour leurs propriétés thérapeutiques (Chagra, 2019 ; Tshibangu et al., 2020).

Dans ce contexte, la recherche de nouvelles molécules antimicrobiennes, notamment d'origine naturelle, est devenue une priorité (Lukuzu et al., 2024). Les plantes aromatiques et médicinales, utilisées depuis des siècles dans les traditions thérapeutiques, représentent une ressource importante de composés bioactifs (Fontanay et al., 2015). Parmi ces composés, les huiles essentielles, riches en métabolites secondaires (phénols, terpènes, composés soufrés, etc.), possèdent des propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales documentées (Radaelli et al., 2018 ; Tshilanda et al., 2020).

L'ail (*Allium sativum*), le clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) et la cannelle (*Cinnamomum* spp.) sont trois plantes aromatiques largement utilisées dans les pratiques alimentaires et médicinales, notamment en Afrique et en Asie (Rhayour et al., 2003 ; Harrison, 2008 ; Lengbiye et al., 2020). Leur huile essentielle contient respectivement des composés sulfurés (allicine), l'eugénol et le cinnamaldéhyde, dont les activités antimicrobiennes ont été mises en évidence dans plusieurs études (Ismail et al., 2015).

En Afrique subsaharienne, et plus particulièrement en République démocratique du Congo (RDC), la prévalence des bactéries multirésistantes (BMR), *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline (SARM) ou les entérobactéries productrices de bêta-lactamases à spectre élargi (E-BLSE), connaît une trajectoire alarmante. A Kisangani, ce phénomène est exacerbé par l'automédication systémique, la

vente illicite de molécules de contrefaçon et la précarité des plateaux techniques d'identification biologique. Face à l'épuisement thérapeutique des antibiotiques conventionnels, l'exploration de la biodiversité végétale locale représente une stratégie majeure de la recherche médicale moderne. La recherche de nouvelles entités chimiques d'origine végétale dotées de propriétés antimicrobiennes représente ainsi une filière scientifique en pleine expansion.

Les huiles essentielles (HE) des plantes aromatiques agissent via des mécanismes d'action multi-cibles (Bhatt et al., 2018). Elles altèrent de façon irréversible la perméabilité de la membrane plasmique bactérienne, inhibent les systèmes enzymatiques vitaux et bloquent la formation des biofilms pathogènes.

C'est dans ce paradigme de rupture thérapeutique, exploitant la flore aromatique disponible dans la province de la Tshopo, que se positionne la présente étude microbiologique.

Contrairement aux antibiotiques conventionnels qui ciblent un site biochimique bactérien unique (comme la paroi cellulaire ou la synthèse des protéines), les huiles essentielles de plantes aromatiques se caractérisent par un polymorphisme chimique complexe (Karuppaiyil et al., 2014). La littérature scientifique s'accorde sur le fait que cette composition plurielle (mélange de terpènes, d'aldéhydes, de phénols) induit des mécanismes d'action multi-cibles. Les huiles essentielles agissent de manière synergique en altérant la perméabilité de la membrane plasmique bactérienne, en désorganisant la chaîne de transport des électrons et en inhibant les pompes à efflux qui permettent normalement aux bactéries de rejeter les antibiotiques. Par conséquent, la probabilité pour une bactérie de développer une résistance simultanée contre l'ensemble de ces composés volatils est extrêmement faible (Bouhdid et al., 2006 ; Bhatt et al., 2018).

C'est dans ce cadre qu'une investigation sur les huiles essentielles de trois plantes médicinales, *Allium sativum* L., *Cinnamomum zeylanicum* et *Eugenia caryophyllata* a été menée. Cette étude vise à évaluer *in vitro* l'activité antibactérienne des huiles essentielles de trois plantes aromatiques (sur les souches bactériennes résistantes aux antibiotiques couramment utilisés dans la région de Kisangani).

Spécifiquement, les objectifs assignés pour aboutir à la réalisation de ladite recherche sont les suivants :

- Extraire les huiles essentielles à partir du matériel végétal collecté à Kisangani (*Allium sativum* L., *Cinnamomum zeylanicum*, *Eugenia caryophyllata*) et déterminer leurs rendements quantitatifs ;

- Tester *in vitro* l'activité inhibitrice des huiles essentielles des plantes aromatiques sur les souches bactériennes notamment, de la famille d'*Enterobacteriaceae* et celle des *Staphylococcaceae* dans la région de Kisangani ;
- Comparer l'activité inhibitrice des huiles essentielles des plantes aromatiques médicinales testées sur les souches bactériennes ;
- Déterminer la concentration minimale inhibitrice de chaque huile essentielle.

II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Milieu d'étude

Cette étude a été réalisée dans la ville de Kisangani au laboratoire de Microbiologie et Phytopathologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani. Kisangani est une ville de la République Démocratique du Congo, situé au Nord-Est, chef-lieu de la province de la Tshopo ; elle se trouve en pleine cuvette centrale du bassin du fleuve Congo avec une superficie de 1910 km² ou 191 000 ha avec une population estimée à 1 366 000 et une densité de plus au moins 715, 2 habitants/km² en 2022.

II.2. Plantes

Les gousses d'*Allium sativum* L., *Cinnamomum zeylanicum* et *Eugenia caryophyllata*, seront débarrassées de tous éléments étrangers puis récoltées dans la région de Kisangani ; les huiles essentielles seront par la suite extraites et vont servir à réaliser la suite cette étude. Toutes les plantes seront emballées dans des sacs et transportées directement au laboratoire de microbiologie et phytopathologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani après leur récolte, pour extraction.

II.3. Milieux de culture

L'extraction a été réalisée par la technique d'hydrodistillation. Avant l'emploi, le dispositif est préalablement nettoyé à l'acétone puis rincé à l'eau distillée afin d'éliminer les poussières et les graisses probablement présentes dans le dispositif pour éviter toute contamination de l'huile au cours de l'extraction. Broyer et peser 500 g des poudres végétales, placées dans un ballon à fond rond, y ajouter 6 litres d'eau et l'ensemble a été porté à l'ébullition. La vapeur d'eau entraînant les molécules d'huile essentielle a été ensuite condensée dans le réfrigérant fixé par un support approprié à position inclinée lié au ballon pour faciliter l'écoulement du distillat (Daouda, 2015).

Le distillat obtenu a été récupéré dans un petit ballon à fond rond. Le mélange était laissé au repos pendant quelques

minutes. Deux phases sont observées : une phase organique et une phase aqueuse. L'huile essentielle soutirée à l'aide d'une seringue stérile était gardée dans un flacon en verre hermétiquement fermé et mise au réfrigérateur (Daouda, 2015).

II.4. Rendement d'extraction

Le rendement en huile essentielle est le rapport entre le volume de l'huile essentielle obtenue après extraction et la masse de la matière végétale utilisée, selon la norme (Afnor, 1986).

Il est donné par la formule : $RHE = \frac{M'}{M} \times 100$

Où :

- RHE : Rendement en huile essentielle.
- M' : masse de l'huile essentielle obtenue en gr ;
- M : masse de la matière végétale utilisée en gr ;

II.5. Analyses statistiques

II.5.1. Statistique descriptive

Ces analyses ont permis de résumer les caractéristiques des données de manière simple et compréhensible en réalisant la moyenne, la médiane et l'écart-type pour résumer les données continues.

III.5.2. Statistique différentielle

Pour tester les différences statistiquement significatives observées entre des groupes, nous avons réalisé l'analyse de variance (ANOVA), pour comparer les proportions dans des variables catégorielles d'huile essentielle et le Tukey HSD en vue de dégager la sensibilité des souches bactériennes.

III. RESULTATS

III.1. Rendement en extraction de l'huile essentielle

L'extraction de l'huile essentielle a été réalisée par hydrodistillation, la méthode prédominante pour obtenir des huiles essentielles de haute qualité et pureté. Cette technique est largement préférée et utilisée car elle est simple, économique et permet d'obtenir des rendements plus élevés.

Il ressort de la figure 1 suivante que les graines d'*Eugenia caryophyllata* ont montré le rendement le plus élevé en huile essentielles après l'hydrodistillation, soit 16,2% ; l'écorce de *Cinnamomum zeylanicum* et les gousses *Allium sativum* L. ont montré des rendements moyens, soit respectivement 7,23% et 0,32%.

Activité antibactérienne des huiles essentielles de plantes ...

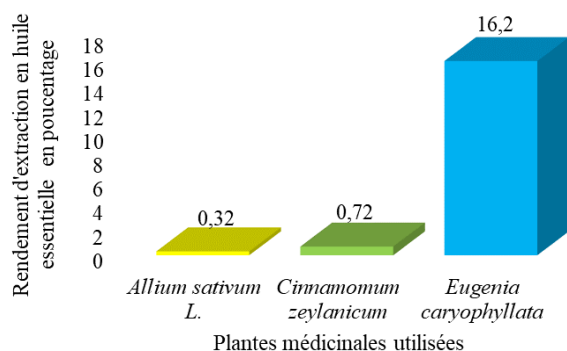


Figure 1. Rendement d'extraction d'huile essentielle

III.2. Paramètres organoleptiques des huiles essentielles

Le tableau 1 suivant présente les paramètres organoleptiques des trois huiles essentielles.

Tableau 1. Paramètres organoleptiques des huiles essentielles

Plantes médicinales	Paramètres d'huile essentielle				
	Aspect	Apparence	Couleur	Odeur	Saveur
<i>Allium sativum</i> L.	Jaune clair	Liquide fluide	Jaune foncé	Très puissante	Brûlante
<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Jaune	Liquide	Brun orangé	Piquante	Aromatique
<i>Eugenia caryophyllata</i>	Fluide	Jaune doré	Jaune pâle	puissante	Aromatique

Ce tableau renseigne que les huiles essentielles utilisées dans cette étude ont des paramètres organoleptiques quasiment similaires. En effet, *Allium sativum* L. et *Cinnamomum zeylanicum* sont d'aspect jaune clair et fluide, de saveur brûlante et aromatique.

III.3. Caractérisations physico-chimiques des huiles essentielles

III.3.1. Densité à 20°C

Après détermination de la densité des huiles essentielles à l'aide de la méthode du pycnomètre, les valeurs obtenues pour les différentes plantes médicinales étudiées sont présentées dans la figure 2.

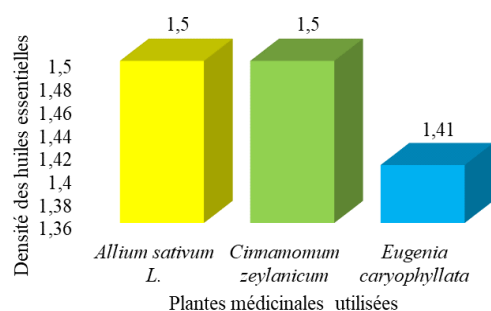


Figure 2. Densité à 20°C des huiles essentielles des plantes médicinales

La figure 2 montre que les huiles essentielles d'*Allium sativum* L. et de *Cinnamomum zeylanicum* présentent la

densité la plus élevée (1,50 pour chacune), tandis que celle d'*Eugenia caryophyllata* est légèrement inférieure (1,41). Ces résultats indiquent une variation de la densité des huiles essentielles selon l'espèce végétale. Cette différence pourrait être liée à leur composition chimique, notamment à la nature et aux proportions relatives des constituants volatils qui les composent.

III.3.2. pH

Les valeurs du potentiel d'hydrogène (pH) des huiles essentielles des plantes aromatiques étudiées sont illustrées dans la figure 3.

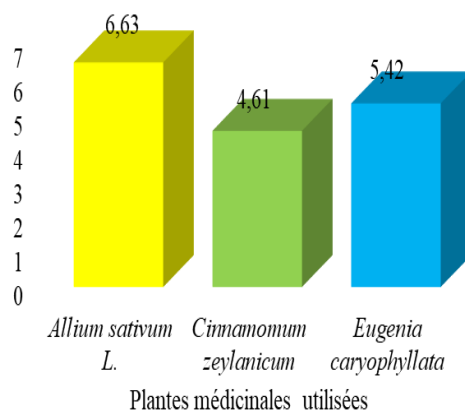


Figure 3. Potentiel d'hydrogène des huiles essentielles

Cette figure montre que le potentiel d'hydrogène des huiles essentielles obtenu après hydrodistillation est à la normale pour *Allium sativum* L. avec 6,63 ; *Cinnamomum zeylanicum* avec 4,61 et *Eugenia caryophyllata* avec 5,42.

III.3.3. Miscibilité des huiles essentielles dans l'eau et dans l'éthanol à 70%

Les résultats de la miscibilité des huiles essentielles dans l'eau et l'éthanol à 70% sont consignés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. Description de la miscibilité des huiles essentielles

Huile essentielle	Eau	Ethanol
<i>Allium sativum L.</i>	Miscible	Miscible
<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Miscible	Miscible
<i>Eugenia caryophyllata</i>	Non miscible	Miscible

Il se dégage de ce tableau que les huiles essentielles d'*Allium sativum L.* et *Cinnamomum zeylanicum* sont miscibles dans l'eau et l'éthanol à 70%. Par contre *Eugenia caryophyllata* est non miscible dans l'eau mais miscible dans l'éthanol à 70%.

III.3.4. Indice de réfraction

Les valeurs de l'indice de réfraction d'huiles essentielles des plantes aromatiques étudiées sont illustrées par la figure 4.

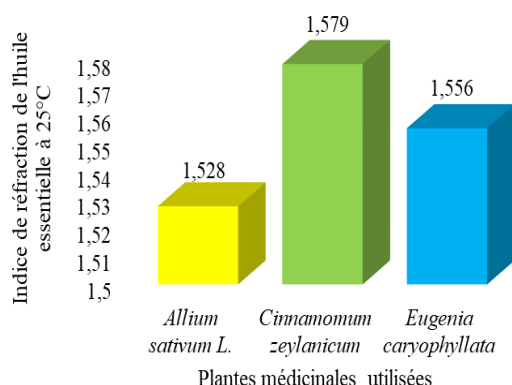


Figure 4. Indice de réfraction des huiles essentielles des plantes médicinales

L'analyse de cette figure montre qu'il existe une diversité des valeurs d'indice de réfraction à 25°C entre les huiles essentielles d'espèces végétales étudiées. L'espèce *Cinnamomum zeylanicum* présente la valeur plus élevée, soit 1,579 et *Allium sativum L.*, présente la plus faible valeur, soit 1,528.

III.4. Sensibilité des souches bactériennes

III.4.1. Souches d'*Escherichia coli*

La sensibilité des huiles essentielles et d'antibiotiques témoins face aux souches d'*Escherichia coli* est illustrée par la figure 5.

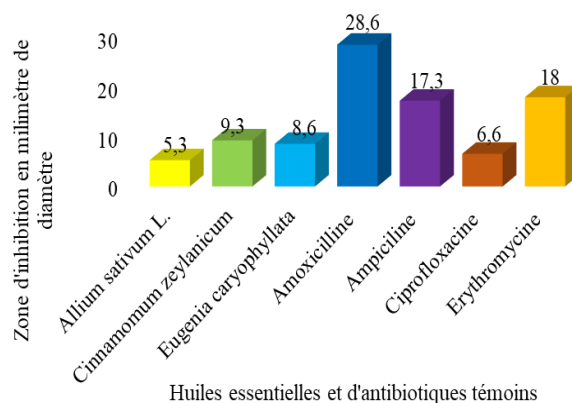


Figure 5. Sensibilité aux souches d'*Escherichia coli*

Cette figure montre que les souches d'*Escherichia coli* étaient sensibles aux huiles essentielles d'*Allium sativum L.* et de *Cinnamomum zeylanicum* avec les différents degrés de diamètres d'inhibition respectifs, soit 5,3 et 9,3 mmø respectivement ; les antibiotiques témoins ont réagi à des différents degrés de diamètres d'inhibition observés pour l'erythromycine et l'amoxicilline, soit 18 et 28,3 mmø.

III.4.2. Sensibilité des souches de *Citrobacter diversis*

La sensibilité des huiles essentielles et d'antibiotiques témoins face aux souches de *Citrobacter diversis* est illustrée par la figure 6.

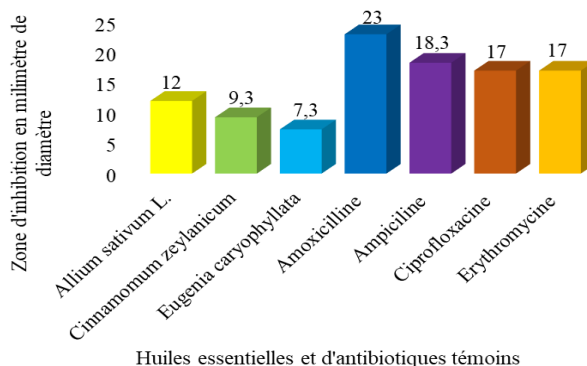


Figure 6. Sensibilité aux souches de *Citrobacter diversis*

L'observation de la figure ci-dessus laisse entrevoir que les souches de *Citrobacter diversis* sont sensibles aux huiles essentielles d'*Eugenia caryophyllata* et d'*Allium sativum L.* à de différents degrés de diamètres d'inhibition mesurés, soit

7,3 et 12 mmø respectivement. Par contre, les antibiotiques témoins ont montré d'activités vis-à-vis des souches bactériennes à différents degrés de diamètres d'inhibition observés pour l'ampicilline et l'amoxicilline, soit 18,3 et 23 mmø.

III.4.3. Sensibilité des souches de *Salmonella* spp

La figure 7 illustre la sensibilité des huiles essentielles et d'antibiotiques témoins face aux souches bactériennes de *Salmonella* spp.

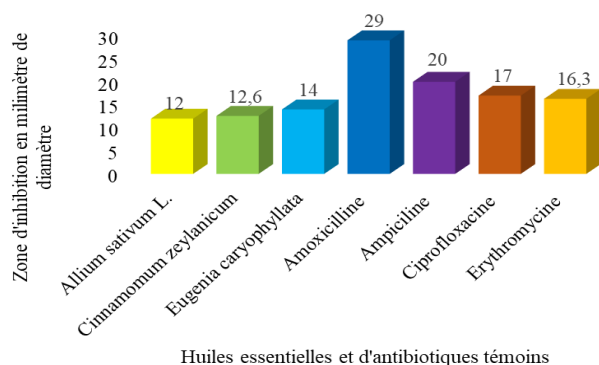


Figure 7. Sensibilité aux souches de *Salmonella* spp.

Les huiles essentielles analysées ont montré une activité antibactérienne inférieure par rapport aux antibiotiques témoins qui ont réagi différemment en diamètres d'inhibition mesurés vis-à-vis des souches bactériennes *Salmonella* spp, soit 12 et 14 mmø pour l'*Allium sativum* L. et *Eugenia caryophyllata*; 20 et 29 mmø pour l'amoxicilline et l'ampicilline consécutivement.

III.4.4. Sensibilité de *Pseudomonas aeruginosa*

La sensibilité d'huiles essentielles et d'antibiotiques témoins face aux souches bactériennes de *Pseudomonas aeruginosa* est illustrée par la figure 8.

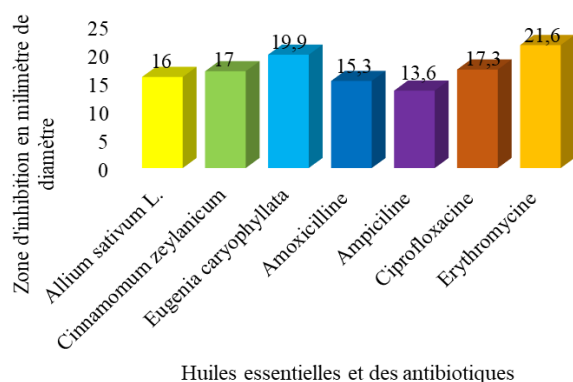


Figure 8. Sensibilité aux souches de *Pseudomonas aeruginosa*

L'action des huiles essentielles des plantes aromatiques testées sur les souches bactériennes a permis d'avoir les

diamètres des zones d'inhibition sur les souches de *Pseudomonas aeruginosa* qui varient de 16 à 19,9 mmø respectivement pendant 24 heures d'incubation à l'étuve à 37°C, pour *Allium sativum* L. et *Eugenia caryophyllata*. L'érythromycine est l'unique antibiotique témoin qui a montré une activité bactéricide supérieure aux autres, soit 21,6 mmø.

III.4.5. Sensibilité de *Klebsiella oxytoca*

La sensibilité d'huiles essentielles et d'antibiotiques témoins face aux souches bactériennes est illustrée figure 9.

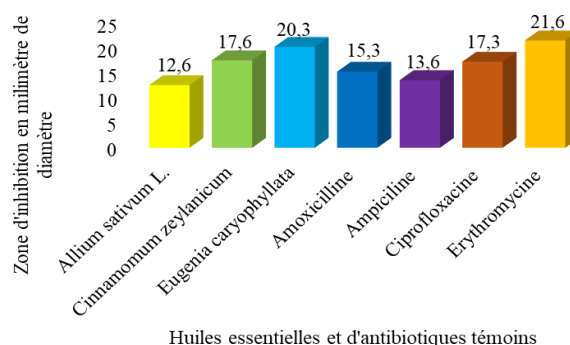


Figure 9. Sensibilité des souches de *Klebsiella oxytoca*

L'action inhibitrice des huiles essentielles de plantes aromatiques testées sur les souches bactériennes de *Klebsiella oxytoca* a permis d'observer les diamètres des zones d'inhibition qui varient de 12,6 à 20,3 mmø respectivement pendant le temps maximal d'incubation, pour *Allium sativum* L. et *Eugenia caryophyllata*. Par contre, l'érythromycine a montré une activité bactéricide supérieure aux autres, soit 21,6 mmø.

III.4.6. Sensibilité de *Staphylococcus aureus*

La sensibilité d'huiles essentielles et d'antibiotiques témoins face aux souches bactériennes de *Staphylococcus aureus* est illustrée par la figure 10.

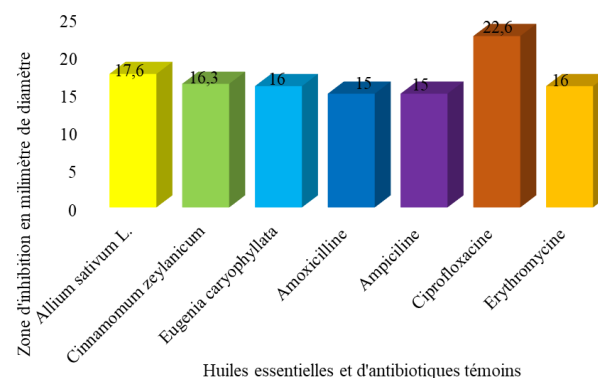


Figure 10. Sensibilité des souches de *Staphylococcus aureus*

A la lumière de cette figure, il ressort que l'action inhibitrice d'huiles essentielles des plantes aromatiques testées sur les souches bactériennes de *Staphylococcus aureus* présentent des diamètres des zones d'inhibition variant entre 16 et 17,6 mmø lors d'incubation, pour *Eugenia caryophyllata* et *Allium sativum* L. Par contre, la ciprofloxacine a montré une activité bactéricide supérieure aux autres, soit 22,6 mmø.

III.5. Analyses statistiques

III.5.1. Diamètres d'inhibition des huiles essentielles sur les souches d'*Escherichia coli*

Tableau 3. Diamètres d'inhibition des huiles essentielles sur les souches d'*Escherichia coli*

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	f	p-value
Traitement	6	1215.33	202.56	7.295	0.0015
Résidus	14	388.67	27.76	-	-
Total	20	1604.00	-	-	-

L'analyse de variance (ANOVA) réalisée sous R montre un effet hautement significatif des traitements effectués sur le diamètre d'inhibition des souches d'*Escherichia coli* ($p = 0,0015$). Le boxplot représentant les résultats Tukey HSD pour les souches d'*Escherichia coli* selon sept traitements (figure 11).

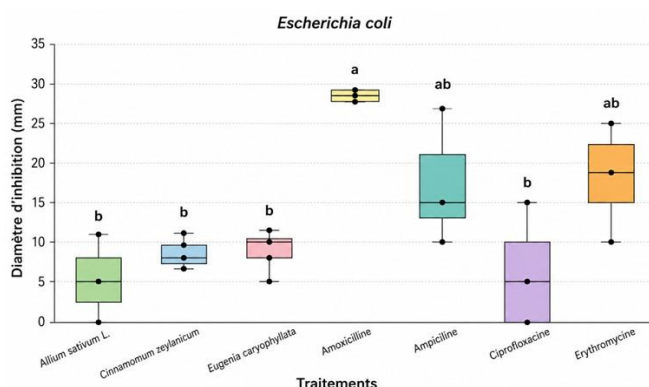


Figure 11. Résultats Tukey HSD sur les souches d'*Escherichia coli*

Le boxplot met en évidence des différences en diamètres d'inhibition entre les traitements testés contre les souches d'*Escherichia coli*. L'amoxicilline présente les diamètres d'inhibition les plus élevés et constitue un groupe statistiquement distinct (groupe a), traduisant une activité antibactérienne significativement supérieure à celle de plusieurs autres traitements.

L'ampicilline et l'érythromycine occupent une position intermédiaire (groupe ab), leurs effets sur les souches

d'*Escherichia coli* n'étant pas significativement différents de ceux d'amoxicilline ni des traitements les moins actifs.

En revanche, *Allium sativum*, *Cinnamomum zeylanicum*, *Eugenia caryophyllata* et la ciprofloxacine appartiennent au groupe b, indiquant des activités antibactériennes statistiquement similaires entre eux. La faible dispersion des valeurs observées pour certains traitements traduit une bonne reproductibilité des mesures, tandis que l'amoxicilline se distingue comme le traitement le plus efficace contre les souches d'*Escherichia coli* dans les conditions expérimentales de cette étude.

III.5.2. Analyse des huiles essentielles et d'antibiotiques sur les souches *Citrobacter diversus*

Tableau 4. Analyse des huiles essentielles et d'antibiotiques sur les souches *Citrobacter diversus*

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	f	p-value
Traitements	6	719,24	119,87	2,18	0,107
Résidus	14	771,33	55,10	-	-
Total	20	1490,57	-	-	-

L'analyse de la variance montre que l'effet des traitements sur le diamètre d'inhibition des souches *Citrobacter diversus* n'est pas statistiquement significatif [$f(6,14) = 2,18$; $p = 0,107$]. Comme la valeur de p est supérieure à 0,05, l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes ne peut pas être rejetée.

Ainsi, les différences observées entre les traitements peuvent être attribuées à la variabilité expérimentale et il n'existe pas de preuve statistique suffisante permettant d'affirmer qu'un traitement est plus efficace qu'un autre contre les souches de *Citrobacter diversus* dans les conditions de cette expérience.

III.5.3. Analyse des huiles essentielles et d'antibiotiques sur les souches de *Salmonella spp*

Tableau 5. Analyse des huiles essentielles et d'antibiotiques sur les souches de *Salmonella spp*.

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	f	p-value
Traitements	6	344,67	57,44	1,95	0,137
Résidus	14	412,00	29,43	-	-
Total	20	756,67	-	-	-

L'analyse de la variance montre que les différences observées entre les traitements contre les souches de *Salmonella spp*. ne sont pas statistiquement significatives [$f(6,14) = 1,95$; $p = 0,137$]. La valeur de p étant supérieure au seuil de signification de 5%, l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes est conservée.

Bien que l'amoxicilline présente la moyenne de diamètre d'inhibition la plus élevée (25,67 mm), cette supériorité n'est pas statistiquement démontrée avec les données disponibles. Les variations observées entre ces traitements peuvent donc être attribuées à la variabilité expérimentale.

III.5.4. Analyse des huiles essentielles et d'antibiotiques sur les souches de *Pseudomonas aeruginosa*

Tableau 6. Analyse des HE et d'antibiotiques sur les souches de *Pseudomonas aeruginosa*

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	f	p-value
Traitements	6	85,90	14,32	0,69	0,664
Résidus	14	290,67	20,76	-	-
Total	20	376,57	-	-	-

L'analyse de la variance montre que les différences entre les traitements testés contre les souches de *Pseudomonas aeruginosa* ne sont pas statistiquement significatives [$f(6,14) = 0,69$; $p = 0,664$]. La valeur de p, largement supérieure à 0,05, indique que les variations observées entre les moyennes des diamètres d'inhibition peuvent être attribuées à la variabilité expérimentale plutôt qu'à un effet réel des traitements.

Bien que l'erythromycine présente la moyenne la plus élevée (21,67 mm), cette différence n'est pas suffisamment importante pour être considérée statistiquement significative.

III.5.5. Analyse des huiles essentielles et d'antibiotiques sur les souches de *Klebsiella oxytoca*

Tableau 7. Analyse des huiles essentielles et d'antibiotiques sur les souches de *Klebsiella oxytoca*

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	f	p-value
Traitements	6	135,43	22,57	1,16	0,381
Résidus	14	273,33	19,52	-	-
Total	20	408,76	-	-	-

L'analyse de variance indique que les différences observées entre les traitements effectués contre les souches de *Klebsiella oxytoca* ne sont pas statistiquement significatives [$f(6,14) = 1,16$; $p = 0,381$]. La valeur de p est supérieure au seuil de 5%, cela montre que les variations des diamètres moyens d'inhibition entre les traitements peuvent être expliquées par la variabilité expérimentale.

Bien que l'huile essentielle d'*Eugenia caryophyllata* présente la moyenne la plus élevée (20,33 mm), suivi de l'erythromycine (20,00 mm) et de l'ampicilline (19,00 mm) ; ces différences ne sont pas suffisamment importantes pour conclure à une efficacité statistiquement supérieure.

III.5.6. Analyse des huiles essentielles et d'antibiotiques sur les souches de *Staphylococcus aureus*

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	f	p-value
Traitements	6	152,67	25,44	1,04	0,444
Résidus	14	343,33	24,52	-	-
Total	20	496,00	-	-	-

L'analyse de la variance montre que les différences observées entre les traitements testés contre les souches de *Staphylococcus aureus* ne sont pas statistiquement significatives [$f(6,14) = 1,04$; $p = 0,444$]. La valeur de p est supérieure au seuil de signification de 5%, cette situation indique que les écarts entre les moyennes des diamètres d'inhibition peuvent être attribués à la variabilité expérimentale.

Bien que l'amoxicilline et l'erythromycine présentent les moyennes les plus élevées (23,33 mm), suivi de ciprofloxacine (22,33 mm), ces différences ne sont pas statistiquement démontrées.

IV. DISCUSSION

IV.1. Rendement en extraction de l'huile essentielle

Dans cette série, les grains d'*Eugenia caryophyllata* ont montré un rendement plus élevé en huile essentielle après hydrodistillation, soit 16,2% ; l'écorce de *Cinnamomum zeylanicum* et les gousses *Allium sativum* L. ont montré des rendements moyens, soit respectivement 7,23% et 0,32%. Ces résultats corroborent ceux trouvés dans différentes études. C'est le cas d'une étude initiée par Nana et al. (2015), qui ont trouvé 10,54% de rendement des huiles essentielles *Syzygium aromaticum* obtenu après hydrodistillation, de même Maggini et al. (2024) qui rapportent le rendement de 10,15% pour *Syzygium aromaticum* ; mais Bouzaa et al. (2022) ont trouvé un faible rendement en huile essentielle de *Syzygium aromaticum*, soit 3,67%. Concernant l'analyse de *Cinnamomum zeylanicum*, une étude menée par Kasim et al. (2014) avaient trouvé un rendement d'huile essentielle variant de 1,3% à 2,8%.

L'activité antibactérienne d'une huile essentielle ne dépend non seulement de son rendement d'extraction mais de sa composition biochimique ou chimiotype ; une plante médicinale avec un rendement faible peut donner une huile essentielle très concentrée en principes actifs, les phénols ; son efficacité dépend du type de bactérie Gram positif ou négatif et de sa sensibilité via la méthode de l'aromatogramme. Il fait référence au pourcentage de matière première obtenue par rapport à la masse végétale traitée par hydrodistillation qui varie considérablement selon la plante médicinale et le climat, se situant généralement. Cependant,

la puissance antimicrobienne est intrinsèquement liée aux molécules actives, le carvacrol, le thymol ou l'eugénol et leur capacité à perturber la membrane plasmique et le métabolisme du microorganisme (Fares et al., 2026).

Cette nette différence dans les rendements en huiles essentielles est probablement associée à plusieurs facteurs, tels que l'origine de l'espèce végétale, la période de récolte et la manière de séchage de l'espèce végétale, le climat, la région et la nature du sol, la méthode et la durée d'extraction des huiles essentielles.

En général, le rendement d'extraction est plus élevé pour les plantes séchées que fraîches ; dans notre étude, nous avons utilisé des clous de girofle séchés par la non dégradation des poches à essence pour les plantes fraîches et la concentration de la matière sèche combinée à la perméabilité cellulaire accrue pour les plantes séchées.

IV.2. Paramètres organoleptiques de l'huile essentielle

Dans cette étude, les huiles essentielles utilisées présentent des paramètres organoleptiques qui sont presque similaires d'*Allium sativum* L. et *Cinnamomum zeylanicum* sont d'aspect jaune clair et fluide, de saveur brûlante et aromatique. Selon Maggini et collaborateurs (2024), l'aspect, la couleur et l'odeur de l'huile essentielle obtenu par hydrodistillation étaient les caractéristiques identiques décrites par les normes d'AFNOR 200. La qualité des huiles essentielles est mesurée par sa conformité aux normes qui peuvent varier selon l'utilisation, les normes AFNOR NFT 7 et ISO 9235 sont les barèmes utilisés pour juger la qualité des huiles essentielles dans les secteurs des parfums (AFNOR, 2000). En phytothérapie, elle peut être assurée par la présence d'une certaine quantité de substances des parfums ; et, en pratique, la qualité des huiles essentielles est évaluée par des analyses chimiques et physico-chimiques, puis des analyses organoleptiques de l'huile essentielle (Mohamdi, 2005).

Cela suggère que la méthode d'hydrodistillation permet d'obtenir des rendements similaires dans cette application, ces différents rendements s'expliquent par le fait qu'une partie de l'huile essentielle était solubilisée dans la phase aqueuse et à la simplicité relative et opérationnelle de notre dispositif d'hydrodistillation.

IV.3 Densité à 20°C

Les huiles essentielles étudiées ont des densités supérieures à 1 avec une différence en termes de densités prélevées de 0,09 ; *Allium sativum* L. et *Cinnamomum zeylanicum* soit 1,5 suivi d'*Eugenia caryophyllata* 1,41 respectivement. La densité relative ou la densité à 20°C constitue un critère très important pour évaluer la qualité d'une huile essentielle dans différents domaines (cosmétique, pharmacie,

agroalimentaire, etc.) ; elle peut facilement donner un aperçu sur la naturalité des produits et l'altération, les valeurs obtenues pour nos huiles essentielles sont en commun accord aux normes AFNOR NFT 7, et en commun accord à la valeur rapportée par les auteurs. Au laboratoire et en aromathérapie, la densité de l'huile essentielle est souvent exprimée à 20°C, c'est une grandeur physique essentielle qui sert de critère de pureté et permettant de garantir qu'une huile essentielle n'a pas été coupée avec une huile végétale ou un diluant synthétique ; et, celles qui ont une densité inférieure à 1 ou autour de 0,9 flottent à la surface de l'eau (Bakkali et al., 2008).

IV.4. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène des huiles essentielles obtenus après hydrodistillation est à la normale pour *Allium sativum* L. avec 6,63 ; *Cinnamomum zeylanicum* avec 4,61 suivi d'*Eugenia caryophyllata* avec 5,42 respectivement. Le potentiel d'hydrogène mesure l'acidité ou la basicité d'une solution, le tester pour les huiles essentielles permet principalement de vérifier la pureté du produit et de garantir la sécurité lors de l'application. Il permet de détecter les adultérations ou les falsifications, même si les huiles essentielles sont hydrophobes ou non miscibles dans l'eau, certaines pratiques frauduleuses impliquent l'ajout d'eau, d'alcools ou d'acides pendant l'hydrodistillation car un potentiel d'hydrogène modifié trahit une altération de la composition des huiles essentielles. Contrôler la qualité physicochimique, une huile essentielle pure et non altérée affiche généralement un potentiel d'hydrogène neutre proche de 7 ; et, les variations du potentiel d'hydrogène trop acide indiquent une oxydation, une dégradation des molécules ou une mauvaise méthode d'extraction des huiles essentielles (Sørensen, 2021).

IV.5. Miscibilité des huiles essentielles dans l'eau et dans l'éthanol à 70%

Le résultat montre que les huiles essentielles d'*Allium sativum* L. et *Cinnamomum zeylanicum* sont miscibles dans l'eau et l'éthanol à 70%, et *Eugenia caryophyllata* qui est non miscible dans l'eau mais miscible dans l'éthanol. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par plusieurs études antérieures décrivant la non-solubilité des huiles essentielles dans l'eau et leur solubilité dans les solvants organiques polaires comme l'éthanol, permettant de lier les huiles essentielles et l'eau pour créer des mélanges homogènes, limpides et stables offrant des avantages majeurs en cosmétique, en parfumerie et en aromathérapie (Bouhdid et al., 2006 ; Bhatt et al., 2018 ; Kalemba et al., 2003).

Selon l'étude de Burt (2004), les huiles essentielles sont lipophiles et hydrophobes ce qui les rend non miscibles dans

l'eau ; en revanche, l'éthanol à 70% et d'éthanol 30% sont d'excellents solvants organiques permettant de se lier avec les composés des huiles essentielles pour former une solution homogène, ce qui est crucial pour formuler des parfums ou des sprays sans séparation de phases d'hydrodistillation.

IV.6. Indice de réfraction

Il est démontré dans cette série une diversité des valeurs d'indice de réfraction à 25°C entre les huiles essentielles d'espèces végétales étudiées, avec la valeur plus élevée observée chez l'espèce *Cinnamomum zeylanicum* soit 1,579 et la valeur plus faible observée chez l'espèce *Allium sativum* L., soit 1,528. Selon Boukhatem et al., (2010), l'indice de réfraction dépend de la composition chimique de l'huile essentielle qui augmente en fonction des longueurs des chaînes d'acides, de leurs degrés d'insaturation et de la température. Il varie essentiellement avec la teneur en monoterpènes et les dérivés oxygénés, la forte teneur en monoterpènes donnera un indice élevé.

C'est un paramètre optique fondamental utilisé pour garantir la pureté et l'identité d'une huile essentielle ; il permet de détecter rapidement des adulterations ou des falsifications et de valider les conditions d'extraction d'huile essentielle car toute modification chimique affecte la façon dont l'huile dévie la lumière, définissant le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et sa vitesse dans l'huile essentielle (Kanko, 2014).

IV.7. Souches d'*Escherichia coli*

Les souches d'*Escherichia coli* étaient sensibles aux huiles essentielles d'*Allium sativum* L. et de *Cinnamomum zeylanicum* à de différents degrés de diamètres d'inhibition respectifs, soit 5,3 et 9,3 mmø respectivement ; les antibiotiques témoins ont réagi à des différents degrés de diamètres d'inhibition observés pour l'érythromycine et l'amoxicilline, soit 18 et 28,3 mmø. Le même constat a été fait par Farida (2009) qui a trouvé dans son étude un effet antimicrobien de l'huile essentielle d'*Allium sativum* sur les souches bactériennes d'*Escherichia coli*, soit 14 mmø. Par ailleurs, Laaradj et al (2018) rapportent que les souches bactériennes d'*Escherichia coli* avaient une faible sensibilité vis-à-vis de l'huile essentielle de *Cinnamomum cassia*, soit 1,25%.

Les résultats contraires aux nôtres ont été trouvés par Sembaito en 2021, le ciprofloxacine et le chloramphénicol avaient présentait plus d'activité bactérienne sur les souches d'*Escherichia coli* soit 30 et 28 mmø. Dans son étude, Mpala (2022) a trouvé que l'huile essentielle de *Curcuma longa* présente une activité antibactérienne sur les souches d'*Escherichia coli*, soit 6,6 mmø.

IV.8. Sensibilité des souches de *Citrobacter diversis*

Les souches de *Citrobacter diversis* sont sensibles aux huiles essentielles d'*Eugenia caryophyllata* et d'*Allium sativum* L. à différents degrés de diamètres d'inhibition mesurés, soit 7,3 et 12 mmø respectivement ; les antibiotiques témoins ont montré d'activités vis-à-vis des souches bactériennes en différents degrés de diamètres d'inhibition observés pour l'ampicilline et l'amoxicilline, soit 18,3 et 23 mmø. En Côte d'Ivoire, Kouamé et al., (2004) ont trouvé les souches bactériennes de *Citrobacter koseri* très sensibles à l'essence d'*Ocimum canum*, soit 3,5 mmø.

Les principes actifs des huiles essentielles agissent en modifiant la perméabilité et l'intégrité de la membrane bactérienne externe entraînant une fuite d'ions, d'acides nucléiques et d'adénosine triphosphate qui provoque la mort de la cellule. L'avantage majeur de ces huiles essentielles est qu'ils peuvent contourner les mécanismes de multirésistance classiques aux antibiotiques

IV.9. Sensibilité des souches de *Salmonella spp*

Nous avons observé que l'activité antibactérienne des huiles essentielles testées est inférieure par rapport à celle produit par les antibiotiques témoins qui ont réagi différemment en diamètres d'inhibition mesurés vis-à-vis des souches bactériennes *Salmonella spp*, soit 12 et 14 mmø pour l'*Allium sativum* L. et *Eugenia caryophyllata* ; 20 et 29 mmø pour l'amoxicilline et l'ampicilline consécutivement.

Nous estimons que l'utilisation des huiles essentielles en synergie avec les antibiotiques s'avère prometteuse, car certaines molécules végétales parviennent à restaurer l'efficacité des traitements ; les antibiotiques restent le traitement de référence pour les infections sévères en raison de leur action spécifique, de leur standardisation et de leur diffusion dans l'organisme. Des essais cliniques et de laboratoire de phytothérapie explorent l'utilisation combinée des huiles essentielles avec les antibiotiques pour réduire les doses nécessaires d'antibiotiques et de bloquer les pompes d'efflux par lesquelles les bactéries rejettent les médicaments même les dosages d'huiles essentielles pour être efficaces sont parfois proches de seuils de toxicité.

IV.10. Sensibilité de *Pseudomonas aeruginosa*

Dans cette étude, l'action des huiles essentielles de ces plantes aromatiques testées sur les souches bactériennes a permis d'avoir les diamètres des zones d'inhibition sur les souches de *Pseudomonas aeruginosa* qui varient de 16 - 19,9 mmø respectivement pendant 24 heures d'incubation à l'étuve à 37°C, pour *Allium sativum* L. et *Eugenia caryophyllata*. Par ailleurs, l'érythromycine est l'unique

antibiotique témoin qui a montré une activité bactéricide supérieure aux autres, soit 21,6 mmø.

Pseudomonas aeruginosa est une bactérie naturellement résistante à de nombreux antibiotiques en raison de sa membrane imperméable et de ses pompes à efflux, certaines huiles essentielles montrent une activité inhibitrice avec interaction complexe et antagoniste nécessitant de la prudence. L'exposition aux huiles essentielles peut induire des mécanismes de défense chez bactéries lui rendant moins sensible à certains antibiotiques ; ainsi il n'est pas bon de le mélanger s'ils n'ont pas des doses spécifiques (Eline, 2024 ; Lola, 2026).

L'association d'antibiotiques et d'huiles essentielles contre *Pseudomonas aeruginosa* permet contourner sa forte résistance naturelle ou l'imperméabilité membranaire et les pompes à efflux. Les huiles essentielles peuvent agir comme un potentialisateur en fragilisant la membrane bactérienne ou en inhibant les pompes qui rejettent l'antibiotique bien qu'un antagonisme ou la diminution de l'efficacité ou observé selon la combinaison (Lola, 2024).

IV.10. Sensibilité de *Klebsiella oxytoca*

L'action inhibitrice des huiles essentielles des plantes aromatiques testées sur les souches bactériennes de *Klebsiella oxytoca* a permis d'observer les diamètres des zones d'inhibition qui varient de 12,6 à 20,3 mmø respectivement pendant le temps maximal d'incubation, pour *Allium sativum* L. et *Eugenia caryophyllata*. L'érythromycine a montré une activité bactéricide supérieure aux autres, soit 21,6 mmø. D'après l'étude de Farida (2009), l'effet antimicrobien de l'huile essentielle d'*Allium sativum* sur les souches de bactériennes de *Klebsiella pneumoniae*, soit 28 mmø. Les résultats de cette étude sont encourageants et confirment l'intérêt de l'utilisation des huiles essentielles de l'ail en médecine comme agent antimicrobien naturel.

IV.11. Sensibilité de *Staphylococcus aureus*

Il s'observe que lors d'incubation les huiles essentielles des plantes aromatiques testées sur les souches bactériennes de *Staphylococcus aureus* ont montré les diamètres des zones d'inhibition qui varient de 16 à 17,6 mmø, pour *Eugenia caryophyllata* et *Allium sativum* L. respectivement. Le ciprofloxacine a montré une activité bactéricide supérieure aux autres, soit 22,6 mmø.

V. CONCLUSION

Cette étude a permis d'évaluer l'activité antibactérienne des huiles essentielles d'ail (*Allium sativum*), de clou de girofle (*Syzygium spiceum*) et de cannelle (*Cinnamomum spp.*) sur

des souches bactériennes, à savoir *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa*. Les activités inhibitrices ont été déterminées par la méthode d'hydrodistillation, tandis que l'antibiogramme a permis de déterminer les concentrations minimales inhibitrices, conformément aux recommandations internationales en matière de test de sensibilité bactérienne.

Il ressort de cette étude que :

- L'extraction des huiles essentielles à partir du matériel végétal collecté à Kisangani (*Allium sativum* L., *Cinnamomum zeylanicum*, *Eugenia caryophyllata*) a montré les rendements quantitatifs significatifs ;
- En testant *in vitro* l'activité inhibitrice des huiles essentielles des plantes aromatiques sur les souches bactériennes, la famille d'*Enterobacteriaceae* a produit une activité significative avec *E. coli* dans la région de Kisangani ;
- En comparant l'activité inhibitrice des huiles essentielles des plantes aromatiques médicinales testées sur les souches bactériennes, l'analyse a mis en évidence des différences en diamètres d'inhibition entre les traitements testés contre les souches d'*Escherichia coli* ;
- En déterminant la concentration minimale inhibitrice de chaque huile essentielle, il se révèle que les souches d'*Escherichia coli* étaient sensibles aux huiles essentielles d'*Allium sativum* L. et de *Cinnamomum zeylanicum* ; les souches de *Citrobacter diversis* sont sensibles aux huiles essentielles d'*Eugenia caryophyllata* et d'*Allium sativum* L.

Par ailleurs, *Allium sativum* L. et *Eugenia caryophyllata* étaient sensibles vis-à-vis des souches bactériennes de *Salmonella spp.* ; et *Klebsiella oxytoca* respectivement pour l'amoxicilline et l'ampicilline et l'érythromycine ; *Staphylococcus aureus* pour ciprofloxacine.

En définitive, bien que cette étude ne permette pas, à elle seule, de valider l'usage thérapeutique des huiles essentielles d'ail, de clou de girofle et de cannelle, elle apporte des données expérimentales cohérentes avec les travaux existants et ouvre des pistes pour leur utilisation potentielle dans des stratégies de lutte contre la résistance aux antibiotiques.

REFERENCES

1. AFNOR. (2000). Huiles essentielles : Monographies relatives aux huiles essentielles, Ed 6, Tome 2, Paris.

2. Burt, S. (2004). Essential oils: a review. *International Journal of Food Microbiology* 2,223- 253.
3. Chagra, K. (2019). Etude les propriétés physico-chimiques et biologique de clou du girofle (*Syzygium aromaticum* (L). Université Mohamed Khider de Biskra.
4. Eline, D. (2024). Impact des huiles essentielles sur l'antibiorésistance de *Pseudomonas aeruginosa* cultivé seul ou en co-culture. Université Bourgogne Franche-Comté.
5. Fares, N.H.E., Chenikher, N.E., Boucorra, N.E.H., Zahi, I., Heni, S. (2026). Sensibilité Bactérienne à l'extrait bio-actif d'*Eucalyptus globulus*.
6. Farida, S. (2009). Effet antimicrobien de l'huile essentielle de l'ail, *Allium sativum* variété 'Germidour' sur les souches bactériennes (*Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli*).
7. Kanko, C., Sawaliho, B.E., Kone, S., Koukoua, G., N'Guessan, Y.T. et al., (2004). Etude des propriétés physico-chimiques des huiles essentielles de *Lippia multiflora*, *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus*, *Cymbopogon giganteus*. *C.R. Chimie*.7, 10-11, 1039-1042. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2003.12.030>.
8. Kasim, N.N., Ismail, S.N.A.S, Masdar, N.D., Abhamid, F., et Nawawi W.I. (2014). Extraction and potential of cinnamon essential oil towards repellency and insecticidal activity. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(7), 2250-3153.
9. Kouamé, R.O., Kanko, C., Guessend, N., Youlu, S., Dosso, M. et al. (2004). Activités antibactériennes des huiles essentielles de trois plantes aromatiques de Côte-d'Ivoire. *C.R. Chimie*.7, 10-11, 1081-1086. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2003.12.034>.
10. Lengbiye, E.M., Mbadiko, C.M., Falanga, C.M., Matondo, A., Inkoto, C.L. et al. (2020). Antiviral activity, phytochemistry and toxicology of some medically interesting *Allium* species: A mini review. *Int. J. Pathog. Res*, 5 (4), 64-77.
11. Lola, F. (2024). Potentiel de l'eugénol (HE de girofle) et des antibiotiques sur les souches à Gram négatif comme *P. aeruginosa*. Thèse de Doctorat.
12. Lukuzu, T., Bala, N.E., Kavira, R., Nyampondo, N., Mulumba, B. et al. (2024). In vitro screening, molecular docking, and ADME-Tox investigations for the design of novel beta-lactam antibiotics (Ampicillin and Ceftriaxone) derivatives as PBP2a inhibitors. *Journal of Applied Biosciences* 197, 20864-20885. <https://doi.org/10.35759/JABs.197.6>.
13. Maggini, V., Semenzato, G., Gallo, E., Nunziata, A., Fani, R., et al. (2024). Antimicrobial Activity of *Syzygium aromaticum* Essential Oil in Human Health Treatment. *Molecules* 2024, 29(5), 999. <https://doi.org/10.3390/molecules29050999>
14. Mbadiko, C.M., Inkoto, C.L., Gbolo, B.Z., Lengbiye, E.M., Kilembe, J.T. (2020). A mini review on the phytochemistry, toxicology and antiviral activity of some medically interesting Zingiberaceae species. *Journal of Complementary and Alternative Medical Research*, 9(4), 44-56. DOI:10.9734/JOCAMR/2020/v9i430150.
15. Mbula, J.P., Kasiama, G.N., Matondo, A., Bete, J., Ngbolua, K.T.N. et al (2023). Etude bibliographique sur la phytochimie et les activités biologiques de *Eucalyptus globulus* L.(Myrtaceae). *Rev. Cong. Sc. Tech*. 2(1), 220-232. <https://doi.org/10.59228/rcst.023.v2.i1.28>.
16. Mpala, I. (2022). Evaluation *in vitro* de l'activité antifongique des huiles essentielles de quelques plantes médicinales dans la région de Kisangani (RDC). TFE inédit, Unikis.
17. O.M.S. (2002). Rapport sur la médecine traditionnelle : Besoins et potentiel. n°4. 6 p.
18. WHO. (2016). Model List of Essential Medicines.
19. Raynaud, S. (2021). L'ail : quels sont ses bienfaits sur la santé. Revue stratégique d'efficacité clinique des huiles essentielles, 2024. Action antimicrobienne des huiles essentielles contre les bactéries pathogènes prioritaires, soulignant leur potentiel pour détruire les biofilms et moduler les cibles cellulaires.
20. Sembaito, A. (2021). Contribution à l'étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de deux plantes médicinales (*Eucalyptus globulus* et *Curcuma longa*) sur les souches de *Staphylococcus aureus* et *Salmonella typhi* dans la région de Kisangani (RDC). TFE inédit, Unikis.

21. Sörensen, S.P.L. (2021). Über die Messung und Bedeutung der Wasserstoffionen-konzentration bei biologischen Prozessen, *Ergebnisse der Physiologie*, vol. 12, n° 1, décembre 1912, p. 393–532 (ISSN 0303-4240 et 1433-0474, DOI 10.1007/bf01968801.

22. Tshibangu, D.S.T., Matondo, A., Lengbiye, E.M., Inkoto, C.L., Ngoyi, E.M. (2020). Possible effect of aromatic plants and essential oils against COVID-19: Review of their antiviral activity. *Journal of Complementary and Alternative Medical Research*, 11(1), 10-22.

23. Tshilanda, D.D., Ngoyi, E.M., Kabengele, C.N., Matondo, A., Bongo, G.N. et al. (2020). Ocimum species as potential bioresources against COVID-19: a review of their phytochemistry and antiviral activity. *Int. J. Pathog. Res*, 5 (4), 42-54.