



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريش

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Intitulé :

**L'activité antibactérienne des extraits de gingembre
(*zingiber officinale*) contre les bactéries pathogènes**

Présenté par :

Fandi Zouina & Mekhoukh Raounak

Soutenu le 10/06/2025, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président:	Mme. BOUSSAHEL Soulef	MCA	Université de Bordj Bou Arreridj
Encadrant:	Mme. ABED Hanene	MCA	Université de Bordj Bou Arreridj
Examineur:	Mme. BOUGUERRA Asma	MCA	Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا
فِي الْمَجَالِسِ فَافْسَحُوا يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ وَإِذَا
قِيلَ انشُرُوا فانشُرُوا يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا
مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا
تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ﴾

.سورة الجادلة، الآية 11.

صدق الله العظيم

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude envers ALLAH, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la santé, le courage et la patience nécessaires à l'accomplissement de ce travail. Nous remercions également nos parents, qui se sont sacrifiés sans compter pour notre réussite.

*Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements et notre profonde gratitude à notre promotrice, Madame **ABED Hanene** l'encadrement rigoureux et le soutien constant qu'elle nous a apportés tout au long de ce travail.*

Nous la remercions chaleureusement pour : Sa gentillesse et sa disponibilité à chaque étape de ce projet ; Ses précieux conseils, qui nous ont été d'une aide inestimable ; La confiance qu'elle nous a accordée, nous permettant de mener à bien ce travail.

*Je remercie les membres du jury : madame **BOUSSAHEL Soulef** (MCA) en tant que présidente du jury et madame **BOUGUERRA Asma** (MCA) en tant qu'examinatrice, d'avoir bien voulu accepter de juger ce travail, je vous en suis très reconnaissante et en espérant être à la hauteur de votre confiance.*

Nous tenons à remercier tous nos enseignants pour leurs efforts, leurs savoirs, leurs acquis scientifiques durant toute la durée de nos études universitaires.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance aux ingénieurs du laboratoire pédagogique de biologie, Sabrina, Ouassima et Amel, pour leur précieux soutien et leur aide tout au long de nos travaux pratiques.

Et A toutes personnes qui ont participé de près ou de loin, directement ou Indirectement à la réalisation de ce travail.

Merci à vous tous

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Tout d'abord louange à Allah qui m'a guidé sur le droit Chemin tout au long de mes études et m'a inspiré les bons pas.

À toi, Maman, Pour ton amour inconditionnel, tes sacrifices silencieux et ta présence qui a été mon refuge dans les moments les plus difficiles. Merci pour tes encouragements, ta patience et cette force que tu m'as transmise sans jamais douter de moi.

À toi, Papa, Pour ta sagesse, ton soutien indéfectible et cette confiance que tu as toujours placée en moi. Merci de m'avoir appris à me battre pour mes rêves et à avancer avec détermination, peu importe les obstacles.

A mon petit frère Abdelhamide et à Mes sœurs : Achouak ; Rima et son fils mignon Yasser

A mon binôme Raounek : qui sont partagé avec moi tous les moments de joie et De bonheur, je me remercie pour votre amitié et votre soutient, sans elles ce Travail n'aurait pas été accompli.

A mes adorables amies : Roufaïda, Khadidja, Nesrine, Ines, et Imen. A mes cousines : khadidja, Ines, Asma.

Qui ont partagées avec moi tous les moments de joie et de bonheur, je vous remercie pour votre amitié et votre soutient.

A tout le membre de ma famille Fandi et Hammache et a tout personnes qui m'ont encouragé ou aidé au long de mes études.

Zouina wissem

Dédicace

Avant tout, je remercie Allah qui m'a éclairé le chemin et m'a donné le courage et la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

La lumière de mes yeux et le bonheur de ma vie à mes chers parents pour leurs soutiens durant le long chemin de mes études, qui ont toujours été là pour moi, et qui ont beaucoup sacrifié pour que j'atteins ce niveau, qu'ils trouvent ici tous mes profonds remerciements, et j'espère qu'ils sont fiers de leur fille et que dieu vous bénisse pour moi.

À ma chère sœur Marwa, et sa fille adorable chifaa

À Mes très chers frères Yasser et noufel

À tous les membres de ma grande famille Mekhoukh et Athmani et à tous les mes oncles, tantes et cousines maternelle et Paternelle.

À mon adorable binôme Zouina qui a partagé avec moi tous les Moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

À mes chères amies Nesrine, Roufaida, et Khadidja merci pour l'encouragement, les grands efforts, d'être compréhensive et très gentille.

A tous et a toutes, ceux que j'aime.

Raounek

Table des matières

<i>Remerciments</i>	Erreur ! Signet non défini.
<i>Dédicace</i>	Erreur ! Signet non défini.
<i>Table des matières</i>	6
<i>Liste des tableaux</i>	8
<i>Liste des figures</i>	9
<i>Liste des abréviations</i>	10
<i>Résumé</i>	11
<i>Introduction</i>	1
<i>Chapitre I : matériel et méthodes</i>	7
<i>I.1. Objectif de l'étude</i>	7
<i>I.2. Matériel d'étude</i>	7
<i>I.2.1. Matériel végétal</i>	7
<i>I.2.2. Matériel biologique</i>	7
<i>I.2.3. Matériels non biologiques</i>	8
<i>I.3. Méthodes</i>	8
<i>I.3.1. Méthodes d'extraction</i>	8
<i>I.4. Détermination du rendement d'extraction</i>	11
<i>I.5. L'activité antibactérienne aux extraits de gingembre</i>	11
<i>I.5.1 Protocole de l'activité antibactérienne</i>	12
<i>I.6. Détermination de la concentration minimale inhibitrice en milieu liquide</i>	13
<i>I.7. Tests phytochimiques</i>	14
<i>I.7.1. Dosage des polyphénols</i>	14
<i>I.7.2. Dosage des flavonoïdes</i>	15
<i>Chapitre II : Résultats et discussions</i>	17
<i>II.1. Résultats</i>	17
<i>II.1.1 Extraction</i>	17
<i>II.1.2. L'activité antibactérienne aux extraits de gingembre</i>	18
<i>II.1.3. Résultat de concentration minimale inhibitrice (CMI)</i>	19

<i>II.1.4. Les tests phytochimiques</i>	20
<i>II.1.4.1. Dosage des polyphénols totaux</i>	20
<i>II.1.4.2. Dosage des flavonoïdes</i>	22
<i>II.2. Discussions</i>	23
<i>Conclusion et perspectives</i>	29
<i>Références bibliographiques</i>	31
<i>Les annexes</i>	38

Liste des tableaux

<i>Tableau I : Rendements des extraits de gingembre frais et sec obtenus par trois méthodes d'extraction.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau II : les résultats de CMI.....</i>	<i>20</i>

Liste des figures

<i>Figure 1: Échantillons de gingembre frais et sec.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 2:Étapes de préparation des extraits aqueux (Infusion et Décoction).</i>	<i>9</i>
<i>Figure 3: Étapes d'extraction des extraits riches en huiles essentielles par Décantation.</i>	<i>10</i>
<i>Figure 4: Séparation des extraits riches en huiles essentielles de gingembre.</i>	<i>10</i>
<i>Figure 5: Diffusion d'un agent antimicrobien en milieu gélosé.</i>	<i>12</i>
<i>Figure 6: Schéma représentatif de la CMI.</i>	<i>13</i>
<i>Figure 7: Dosage des polyphénols.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 8: Dosage des flavonoïdes.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 9: Les rendement des extraits de gingembre frais et sec selon trois méthodes d'extraction</i>	<i>18</i>
<i>Figure 10: Résultats de l'activité antibactérienne des extraits de gingembre.</i>	<i>19</i>
<i>Figure 11: L'activité antibactériennes des extraits de gingembre sur les bactéries.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 12: Résultats de CMI, A : CMI de Bacillus sp. B : CMI de Pseudomonas sp.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 13: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 14: Variation de la concentration en polyphénols totaux selon le type d'extrait (infusion, décoction) et l'état du gingembre (frais, sec).</i>	<i>22</i>
<i>Figure 15: Courbe d'étalonnage de la quercétine</i>	<i>22</i>
<i>Figure 16:Variation de la concentration en flavonoïdes selon le type d'extrait (infusion, décoction) et l'état du gingembre (frais, sec</i>	<i>23</i>

Liste des abréviations

AlCl₃: Chlorure d'aluminium

BN: Bouillon nutritif

CMI: Concentration minimale inhibitrice

D: Décoction

Déc.S: Décoction sèche

DMSO: Diméthylsulfoxyde (solvant organique)

EdecF: Extraction par décoction frais

EdecS: Extraction par décoction sèche

EinfF: Extraction par infusion frais

EinfS: Extraction par infusion sèche

G (-): Bactéries Gram négatif

G.F: Gingembre frais

G.S: Gingembre sec

GC-MS : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

GN: Gélose nutritive

HF: Huiles fraîches

HS: Huiles sèches

I: Infusion

Inf.F: Infusion frais

Résumé

Le gingembre est largement utilisé comme plante médicinale, son rhizome est très employé dans la médecine traditionnelle pour le traitement et la prévention de nombreuses maladies. Notre travail a pour principal objectif d'évaluer l'activité antibactérienne et antioxydante du gingembre frais et sec, en utilisant trois méthodes d'extraction (infusion, décoction, décantation). La décoction et l'infusion du gingembre sec ont produit des rendements plus marqués (6.3% et 5.3% respectivement) comparativement à ceux obtenus avec l'infusion et décoction de gingembre frais (2.3% et 3.56% respectivement). En revanche les extraits riches en huiles essentielles issus du gingembre sec et frais ont présenté une activité plus faible (2.84% et 0.20%). L'analyse qualitative des extraits aqueux a révélé que *Zingiber officinale* sec est significativement plus riche en composés phénoliques que *Zingiber officinale* frais. L'activité antibactérienne a été évaluée par la méthode de diffusion sur disque. Les résultats obtenus montrent que les extraits (infusion, décoction) sec et frais de gingembre exercent une action inhibitrice modérée sur la croissance des bactéries testées (*Staphylococcus* sp, *E. coli*, *Salmonella* sp, *Bacillus* sp et *Pseudomonas* sp), avec des zones d'inhibition variant de (absence d'activité à 28mm), et la souche la plus sensibles est *Bacillus* sp., (29mm) en décoction et (27mm) en infusion. Par contre les extraits riches en huiles essentielles issues du gingembre sec et frais une action inhibitrice très faible (absence d'activité à 18mm), et la souche la plus sensible étant *Salmonella* sp (18mm) dans l'huile fraîche.

Le gingembre sec possède des propriétés antibactériennes et antioxydantes prometteuses, surtout lorsqu'il est préparé par décoction ou infusion, ce qui soutient son usage traditionnel et ses perspectives thérapeutiques futures.

Mots clés : Activité antibactérienne, Composés phénoliques, Extraction, Extrait aqueux, Huiles essentielles, *Zingiber officinale*.

Abstract

Ginger is widely used as a medicinal plant; its rhizome is extensively employed in traditional medicine for the treatment and prevention of numerous diseases. Our work primarily aims to evaluate the antibacterial and antioxidant activity of fresh and dried ginger, using three extraction methods (infusion, decoction, decantation). The decoction and infusion of dried ginger produced more pronounced yields (6.3% and 5.3% respectively) compared to those obtained with the infusion and decoction of fresh ginger (2.3% and 3.56% respectively). On the other hand, the extracts rich in essential oils from both dried and fresh ginger exhibited lower activity (2.84% and 0.20%). The qualitative analysis of the aqueous extracts revealed that dry *Zingiber officinale* is significantly richer in phenolic compounds than fresh *Zingiber officinale*. The antibacterial activity was evaluated using the disk diffusion method. The results obtained show that the extracts (infusion, decoction) of both dry and fresh ginger exert a moderate inhibitory action on the growth of the tested bacteria (*Staphylococcus* sp, *E. coli*, *Salmonella* sp, *Bacillus* sp, and *Pseudomonas* sp), with inhibition zones ranging from (no activity to 28mm), and the most sensitive strain being *Bacillus* sp., (29mm) in decoction and (27mm) in infusion. On the other hand, the essential oils from both dried and fresh ginger exhibit very weak inhibitory action (absence of activity up to 18mm), with the most sensitive strain being *Salmonella* sp (18mm) in fresh oil.

Dried ginger possesses promising antibacterial and antioxidant properties, especially when prepared by decoction or infusion, which supports its traditional use and future therapeutic prospects.

Keywords: Antibacterial activity, Aqueous extract, Essential oils, Extraction, Phenolic compounds, *Zingiber officinale*.

ملخص

يُستخدم الزنجبيل على نطاق واسع كعشبة طبية، حيث يُستخدم ريزومه بشكل كبير في الطب التقليدي لعلاج والوقاية من العديد من الأمراض. يهدف عملنا بشكل رئيسي إلى تقييم النشاط المضاد للبكتيريا ومضادات الأكسدة للزنجبيل الطازج والمجفف، باستخدام ثلاث طرق لاستخراجه (النقع، الغلي، الترسيب). الغليان والنقع للزنجبيل الجاف أنتجا عوائد أكثر وضوحًا (6.3% و5.3% على التوالي) مقارنة بتلك التي تم الحصول عليها من نقع وغليان الزنجبيل الطازج (2.3% و3.56% على التوالي). على العكس من ذلك، أظهرت المستخلصات الغنية بالزيوت الأساسية المستخرجة من الزنجبيل الجاف والطازج نشاطاً أقل (2.84% و0.20%). أن التحليل النوعي للمستخلصات المائية أظهر أن الزنجبيل الجاف يحتوي بشكل كبير على مركبات الفينول أكثر من الزنجبيل الطازج. تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا بطريقة الانتشار على القرص. تُظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن المستخلصات (النقع، الغلي) الجافة والطازجة من الزنجبيل تمارس تأثيراً مثبطاً معتدلاً على نمو البكتيريا المختبرية (*Staphylococcus sp*) ، *E. coli* ، *Salmonella sp* ، *Bacillus sp* و *Pseudomonas sp*) مع مناطق تثبيط تتراوح من (عدم النشاط إلى 28 مم)، والسلالة الأكثر حساسية هي *Bacillus sp* (29 مم) في الغلي و(27 مم) في النقع. من ناحية أخرى، فإن الزيوت الأساسية المستخلصة من الزنجبيل الجاف والطازج لها تأثير مثبط ضعيف جداً (عدم وجود نشاط حتى 18 مم)، والسلالة الأكثر حساسية هي *Salmonella sp* (18 مم) في الزيت الطازج. الزنجبيل الجاف يمتلك خصائص مضادة للبكتيريا ومضادة للأكسدة واعدة، خاصة عند تحضيره بالغلي أو النقع، مما يدعم استخدامه التقليدي وأفاقه العلاجية المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: الاستخراج، الزنجبيل، الزيوت الأساسية، النشاط المضاد للبكتيريا، المستخلص المائي، المركبات الفينولية.

Introduction

Introduction

Depuis des millénaires, les êtres humains ont développé diverses méthodes de soin, guidés par leur intelligence, leur ingéniosité, leur conception culturelle de la santé et de la maladie, ainsi que par leur relation étroite avec l'environnement (**Eddouks et al., 2007**).

Récemment, l'émergence croissante de souches bactériennes résistantes aux antibiotiques représente un défi majeur pour la santé publique mondiale. En effet, de nombreuses infections deviennent de plus en plus difficiles à traiter, voire, dans certains cas, presque impossibles à soigner (**Carattoli, 2013 ; Deng et al., 2019**). Face à cette problématique, l'intérêt pour les composés biologiquement actifs issus de sources naturelles s'est considérablement accru. Les extraits de plantes, par exemple, sont largement utilisés dans l'industrie agroalimentaire, non seulement pour leurs propriétés pharmacologiques, mais aussi pour leurs qualités aromatiques (**Suliman et al., 2023**). Depuis l'aube de l'humanité, les plantes médicinales ont été employées pour prévenir et traiter diverses maladies, marquant ainsi l'origine des pratiques thérapeutiques (**Eddouks et al., 2007**). Ces végétaux constituent un réservoir inépuisable de principes actifs aux propriétés biologiques et pharmacologiques variées (**Kaabour, 2009**). Leur usage, profondément ancré dans la médecine traditionnelle, s'est perpétué et enrichi au fil des siècles (**Eddouks et al., 2007**).

Parmi ces plantes médicinales, le gingembre (*Zingiber officinale*), l'une des plantes les plus représentatives des Zingibéracées, occupe une place particulière. Son rhizome, utilisé sous diverses formes (**Claire, 2012**), et employé depuis l'antiquité comme épice et aromate. Il reste aujourd'hui largement utilisé (**Gigon, 2012**).

Le mot « gingembre » est né il y a plus de 3 000 ans, il serait issu du sanskrit *shringavera* qui signifie « en forme de bois de cerf » ; il apparaîtra plus tard le terme grec *ziggiberis*, qui serait lui-même issu de l'arabe *Zanjabil*, puis viendra la forme latine *Zingiber*. Celle-ci, à son tour, donnera en vieux français « gingibre », qui au fil du temps, deviendra le « Gingembre » que nous connaissons, et qui fera sa première apparition à partir du XIII^e siècle. (**Claire, 2012**). Selon les informations dont nous disposons aujourd'hui.

Le gingembre (*Zingiber officinale*) est une plante vivace de la famille des Zingibéracées. Il est utilisé comme épice médicinale depuis plus de 3000 ans. Il est originaire d'Asie du Sud-Est. Aujourd'hui, il est cultivé dans le monde entier, en particulier en Chine, en

Inde et en Jamaïque. Depuis l'Antiquité, le gingembre est utilisé à des fins médicinales et dans le cadre de l'alimentation (**Aregawi, 2025**).

De nombreuses études ont été consacrées à des aspects spécifiques de l'efficacité du gingembre (**Ali et al., 2008**).

Les Indiens et les Chinois produisent du gingembre comme racine tonique depuis plus de 5000 ans en raison de son efficacité dans le traitement de nombreuses maladies (**Efferth & Greten, 2017**). L'Inde est le plus grand producteur avec des échanges en provenance de toute l'Asie du Sud-Est, jusqu'à l'Afrique de l'Ouest et aux Caraïbes. Cette épice orientale aurait d'abord traversé la Méditerranée grâce aux Phéniciens pour atteindre l'Europe au cours du premier siècle (**Gigon, 2012**).

Le gingembre est donc l'une des plus anciennes plantes connues de l'homme, et c'est aussi l'une des premières épices orientales (**Singh et al., 2015**).

La classification botanique du gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe) est établie selon la nomenclature scientifique suivante (**Amari, 2016**).

- **Sous-règne** : *Tracheobionta*
- **Division** : *Angiospermes*
- **Classe** : *Monocotyledones*
- **Sous-classe** : *Zingiberidees*
- **Ordre** : *Zingiberales*
- **Famille** : *Zingiberacees*
- **Sous-famille** : *Zingiberoidees*
- **Genre** : *Zingiber*
- **Nom latin** : *Zingiber officinale* (Roscoe)

Le genre *Zingiber* compte près d'une centaine d'espèces, *Z. officinale* se distingue comme l'espèce la plus cultivée et la plus largement utilisée. À l'état sauvage, cette espèce est devenue rare, notamment dans son aire d'origine située en Asie du Sud-Est, région tropicale dont elle est indigène (**Braga et al., 2006**). Le *Zingiber officinale* est divisé en deux parties principales :

Partie souterraine (rhizome) :

- Rhizome épais, horizontal.
- Constitué de tubercules globuleux ramifiés, évoquant des doigts.
- Peau beige pâle.
- Odeur aromatique.
- Saveur piquante (**Faivre et al., 2006**).

Partie aérienne :

- Feuilles linéaires lancéolées.
- Longueur : entre 15 et 20 cm.
- Largeur : environ 2,5 cm.
- Tige mesurant entre 1,5 m et 3 m (**Euring, 2015**).

Il existe deux types de tiges : les tiges hautes, stériles, assurent l'assimilation et portent des feuilles alternes, longues et étroites, alors que les tiges basses, dédiées à la reproduction, sont dépourvues de feuilles (**Braga et al., 2006**).

Les fleurs de cette plante sont parfumées, de couleur blanche et jaune, avec des rayures rouges sur les lèvres (**Faivre et al., 2006**). Lors de la floraison, elles produisent de petites graines noires (**Foine, 2017**). Les fruits qui en résultent sont des capsules trivalves renfermant également des graines noires (**Faivre et al., 2006**).

Le gingembre est une excellente source de molécules et de composés bioactifs importants. La majorité des composants chimiques se trouvent principalement dans le rhizome, qui est la partie utilisée en phytothérapie (**Cardenas, 2017**). Ces composants sont variés selon l'origine géographique, les conditions agronomiques, et selon que les rhizomes sont frais ou sec (**Mishra et al., 2012**).

Le rhizome contient principalement : de l'amidon, son constituant principal (60%) (**Adel & Prakash, 2010**) ; des vitamines (B1, B2, B3, C), des minéraux (fer, calcium, phosphore,

zinc, cuivre, chrome et manganèse) qui dynamisent l'organisme, des protéines et des lipides (10%), et une enzyme appelée zingibaine (**Faivre et al., 2006**).

Les composés phénoliques du gingembre, également appelés composants non volatils, incluent les gingérols et leurs dérivés (6-, 8- et 10-shogaol, zingérone, et paradol) responsables de son goût et de son odeur piquante.

La concentration en gingérol (constituant majeur du gingembre frais) diminue dans le gingembre séché, tandis que celle en shogaol augmente (**Jolad et al., 2004**).

Le gingembre contient également des flavonoïdes tels que la quercétine, la rutine, la fisétine et la morine, ainsi que des acides (gallique, férulique, vanillique) (**Ghasemzadeh et al., 2010**).

Ces dernières années, les chercheurs ont étudié les propriétés antibactériennes du gingembre contre diverses bactéries à Gram positif et à Gram négatif (**Alfahdawi & Joudah, 2022**). Ainsi que son profil phytochimique et son analyse GC-MS montrant des différences de composition distinctes entre les cultivars de gingembre (**Nishidono et al., 2020**).

Un nombre croissant de revues scientifiques indique que le gingembre possède d'importantes propriétés antibactériennes, attribuées à sa composition chimique riche en composés bioactifs. Plusieurs études ont démontré son efficacité à inhiber la croissance de diverses souches bactériennes pathogènes, telles que *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Salmonella enterica* (**Rahmani et al., 2014 ; Islam et al., 2022 ; Alkhlghi et al., 2023**). Les principaux composés responsables de cette activité antibactérienne sont des phénols tels que le gingérol, le shogaol et le paradol. Ces molécules interagissent avec les membranes cellulaires des bactéries, perturbant leur intégrité structurale et provoquant la lyse cellulaire. En outre, certaines recherches ont montré que ces composés exercent un effet hypotenseur à faibles doses, ce qui suggère également un impact bénéfique potentiel sur le système cardiovasculaire (**Malu et al., 2009**).

Ce travail qui s'inscrit dans cette perspective, est dédié à une plante de la pharmacopée traditionnelle. L'objectif principal est d'évaluer *in vitro* les propriétés antibactériennes des extraits de rhizomes de *Zingiber officinale* commercialisés au niveau de Bordj Bou Arréridj. La première partie de ce document est consacrée à la partie expérimentale, à savoir :

✓ Extraction des différents extraits à partir des rhizomes secs et frais ;

- ✓ Évaluation de leurs activités antibactériennes ;
- ✓ Caractérisation chimique des extraits ;
- ✓ Enfin la deuxième partie présente les résultats obtenus ainsi que leurs discussions.

Chapitre I
matériel et méthodes

Chapitre I : matériel et méthodes

I.1. Objectif de l'étude

L'objectif de notre travail est de tester *in vitro* l'activité antibactérienne de plusieurs extraits de *Zingiber officinale* (gingembre), frais et sec, à l'égard de certaines bactéries. Il s'agit d'une étude s'étendant sur une durée de trois mois, réalisée au sein des laboratoires de microbiologie et de biochimie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers (Mohamed El Bachir El Ibrahim, Bordj Bou Arreridj).

I.2. Matériel d'étude

I.2.1. Matériel végétal

Des rhizomes de *Zingiber officinale* (gingembre), ont été utilisés comme matière première pour la préparation des différents extraits. Deux échantillons de gingembre, le premier est frais et le deuxième est sec, ont été achetés sur le marché local au niveau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj (*figure 1*).

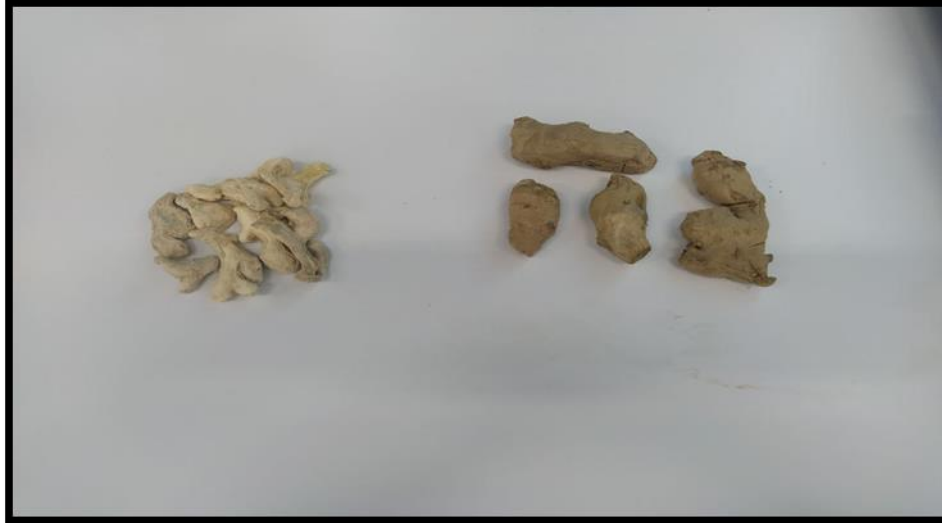


Figure 1: Échantillons de gingembre frais et sec.

I.2.2. Matériel biologique

L'activité antibactérienne des différents extraits obtenus a été évaluée sur cinq souches bactériennes : *Staphylococcus* sp., *Bacillus* sp., *Escherichia coli*, *Pseudomonas* sp., et *Salmonella* sp.

Ces souches nous ont été fournies par le laboratoire de Microbiologie de la faculté.

I.2.3. Matériels non biologiques

Nous avons utilisé un ensemble de matériels et de produits, dont la liste est présentée en annexe 1.

I.3. Méthodes

I.3.1. Méthodes d'extraction

Les racines de gingembre frais ont été lavées, épluchées, coupées puis broyées dans un mixeur électrique jusqu'à l'obtention d'un homogénat de gingembre. Par contre les rhizomes secs ont été broyés dans un moulin électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre très fine (**Stege et al., 2006**). L'extraction est réalisée selon les méthodes suivantes :

✓ Infusion

10 g de chaque broyat obtenu ont été ajoutés à 100 ml d'eau distillée bouillante, puis laissé en infusion pendant 20 minutes dans un récipient couvert (*figure 2*).

✓ Décoction

Les mêmes quantités de broyat et le volume d'eau mentionnées précédemment sont utilisés pour cette méthode. Sauf que, le mélange doit être porté à ébullition pendant 20min. Une fois l'infusion et la décoction terminées, les extraits de l'infusion obtenus sont filtrés, et les extraits de la décoction centrifugés à 2000 tours par minute (tr/min) pendant 15 minutes. L'extrait ainsi obtenu doit être conservé dans des flacons propres et hermétiques, puis placé au réfrigérateur (4°C) jusqu'à son utilisation (*figure 2*).

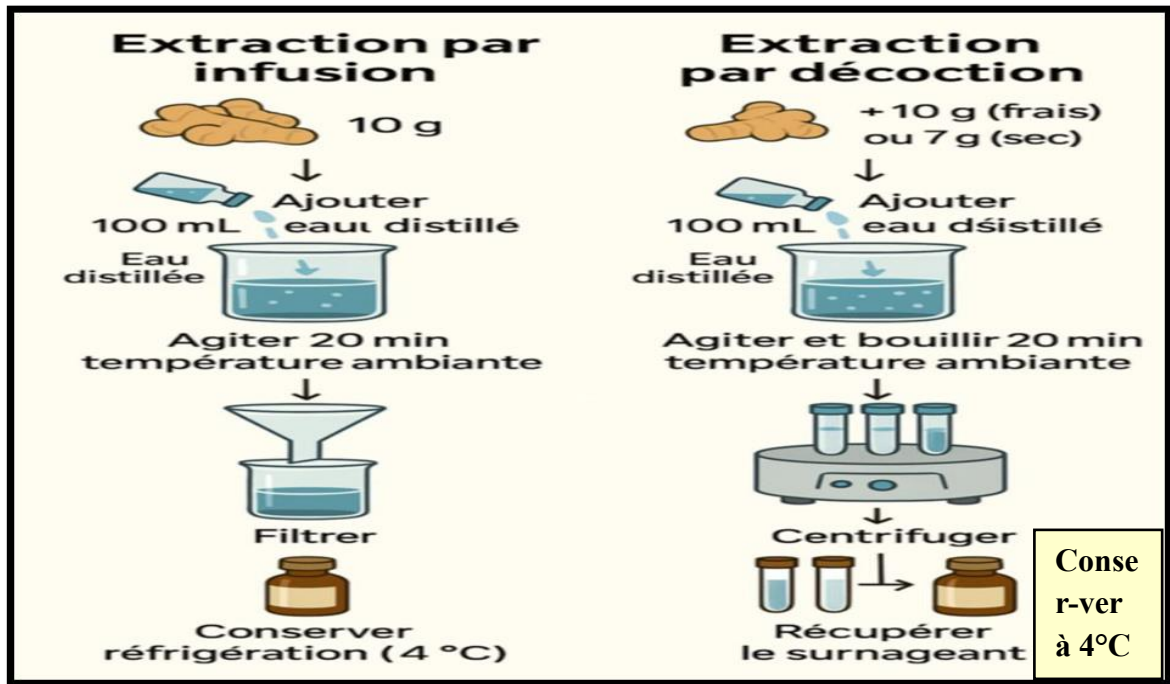


Figure 2: Étapes de préparation des extraits aqueux (Infusion et Décoction).

✓ Décantation

Peser 50 g de rhizome de gingembre pour chaque échantillon. Ajouter ces 50 g dans un bécher contenant 50 ml de chloroforme et 100 ml méthanol. Agiter le mélange pendant 2 minutes à température ambiante. Après cette première agitation, ajouter 50 ml de chloroforme et agiter à nouveau pendant 1 minute, puis ajouter 50 ml d'eau distillée et poursuivre l'agitation pendant encore 1 minute. Filtrer ensuite la solution à l'aide d'un papier filtre. Le filtrat obtenu est versé dans une ampoule à décanter et laissé au repos pendant 24 heures, afin de permettre la séparation des phases et l'extraction des extraits riches en huiles essentielles. Ces dernières, une fois récupérées, sont ensuite concentrées à l'aide d'un évaporateur rotatif (à 40 °C), puis conservées dans des flacons en verre ambré, à l'abri de la lumière, à une température de 4 °C jusqu'à leur utilisation (figures 3 ; 4).

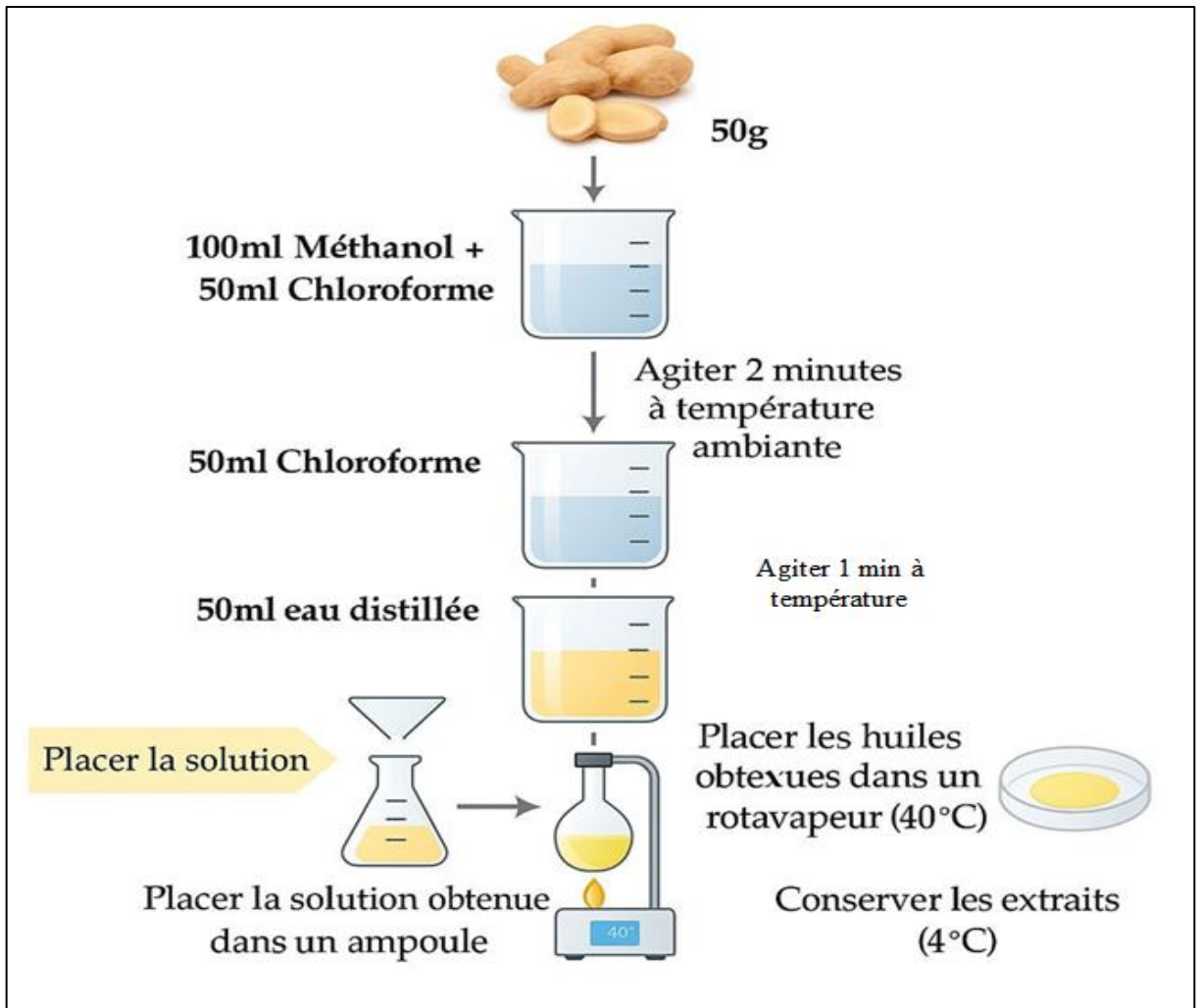


Figure 3 : Étapes d'extraction des extraits riches en huiles essentielles par décantation.

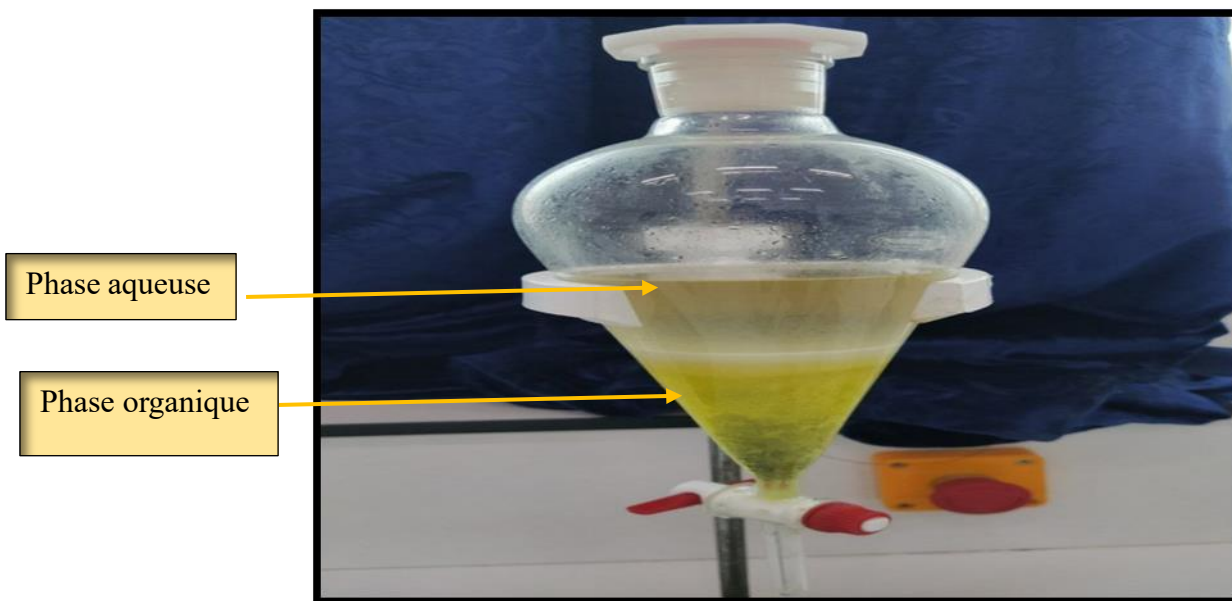


Figure 4 : Séparation des extraits riches en huiles essentielles de gingembre.

I.4. Détermination du rendement d'extraction

Le rendement est défini comme étant le rapport entre la masse de l'extrait sec obtenu après évaporation du solvant, et la masse de la poudre végétale utilisée. Il est calculé selon l'équation suivante (Abe et al., 2010).

$$R (\%) = [Me/Mv] \times 100$$

R% : rendement des extraits exprimés en pourcentage (%).

Me : La masse de l'extrait sec.

Mv : La masse de la poudre végétale.

I.5. L'activité antibactérienne aux extraits de gingembre

La méthode officielle utilisée dans de nombreux laboratoires de microbiologie clinique pour les tests de sensibilité aux antimicrobiens de routine. Le principe repose sur la capacité d'un agent antimicrobien à se diffuser à partir d'un réservoir (généralement un disque en papier) à travers un milieu solide (souvent la gélose Mueller-Hinton ou gélose nutritive) en présence d'une souche bactérienne (Balouiri et al., 2016). Dans cette procédure bien établie, des boîtes de Pétri contenant la gélose sontensemencées avec un inoculum standardisé de la bactérie à tester. Ensuite, des disques de papier filtre (d'environ 6mm de diamètre), imprégnés du composé testé à la concentration souhaitée, sont placés à la surface de la gélose. Les boîtes sont incubées dans des conditions appropriées. L'agent antimicrobien diffuse dans la gélose et inhibe, autour du disque, la germination et la croissance de la bactérie. Après incubation, le diamètre des zones d'inhibition est mesuré afin d'évaluer l'efficacité du composé en mm (Butassi et al., 2017), (figure 5).

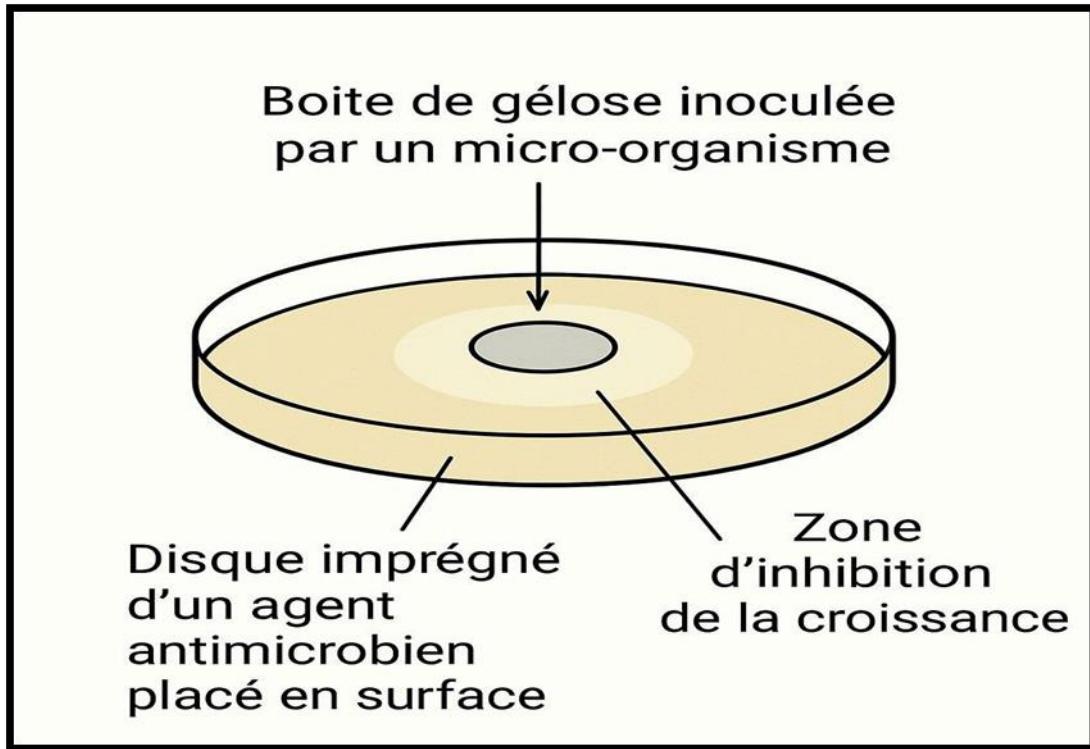


Figure 5 : Diffusion d'un agent antimicrobien en milieu gélosé.

I.5.1 Protocole de l'activité antibactérienne

La méthode décrite ci-dessous a été appliquée pour évaluer l'activité antibactérienne des extraits obtenus à partir du gingembre frais et sec.

Un volume standardisé de suspension bactérienne jeune a été déposée à la surface du milieu de culture, coulé et solidifié, puis étalée uniformément. L'excès a été éliminé et jeté dans l'eau de javel. Des disques de papier filtre stériles ont été imbibés de 10 μL de chaque extrait obtenu (infusion et décoction frais, infusion et décoction sec). Pour les extraits riches en huiles essentielles, 100 μL d'extrait huileux sec, frais du gingembre ont été dilués dans 100 μL de DMSO, puis déposés sur la surface de la géloseensemencée. Cette procédure a été effectuée pour les souches (*Staphylococcus* sp., *E. coli*, *Pseudomonas* sp., *Salmonella* sp. Et *Bacillus* sp). Après une période de réfrigération à 4 °C pendant deux heures, les boîtes ont été incubées à 37 °C pendant 24 heures. Ce processus a été répété deux fois pour chaque souche bactérienne afin d'assurer et garantir la reproductibilité des résultats.

I.6. Détermination de la concentration minimale inhibitrice en milieu liquide

La concentration minimale inhibitrice (CMI) correspond à la plus faible concentration d'une substance antimicrobienne capable d'empêcher toute croissance visible de micro-organismes après une incubation de 18 à 24 heures (Toty *et al.*, 2013).

La préparation d'une série de concentrations de quatre extraits (infusion et décoction frais, infusion et décoction sec du gingembre) est nécessaire. (Volume d'extrait / volume de solvant approprié).

Les concentrations requises sont les suivantes (mg/ml) : 31,25, 62,5, 125, 175, 250 (Benmeddour *et al.*, 2015). La méthode consiste à transférer 100 µl de chaque dilution préparée dans cinq tubes à essai contenant le milieu de culture BN (5ml), ainsi que 20 µl de chaque souche bactérienne, un tube témoin est également préparé, contenant 20 µl de suspension bactérienne et 5ml de milieu BN sans extrait. La CMI est déterminée après une incubation de 24h à 37°C (figure 6). L'absence de turbidité indique que la croissance microbienne a été inhibée et est considérée comme la CMI.

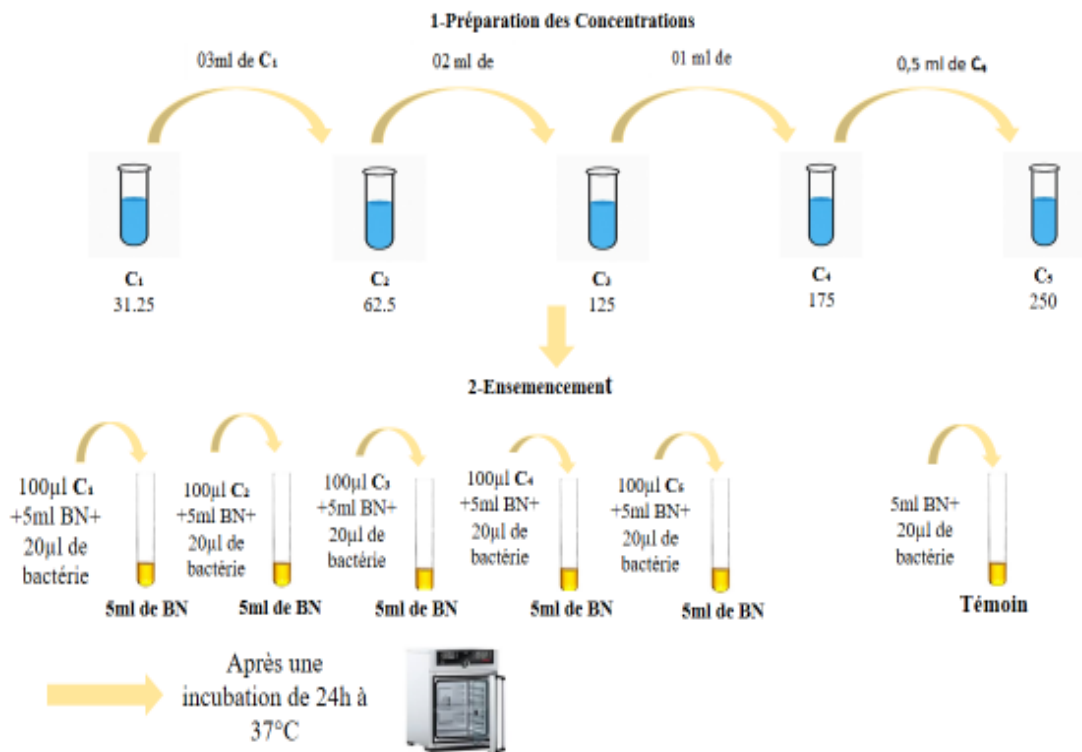


Figure 6 : Schéma représentatif de la CMI.

I.7. Tests phytochimiques

Ce sont des techniques permettant d'identifier les divers groupes chimiques présents dans un organe végétal, à travers des réactions physico-chimiques spécifiques. On retrouve notamment les alcaloïdes, les polyphénols (y compris les flavonoïdes, anthocyanes et tanins), les saponosides, ainsi que les stéroïdes et terpènes (**Sanogo et al., 2016**).

Les tests phytochimiques permettent d'identifier (tests qualitatifs) et de quantifier (tests quantitatifs) les composés bioactifs présents dans les extraits végétaux, notamment les polyphénols et les flavonoïdes (**Singleton, Orthofer, & Lamuela-Raventós, 1999**).

Le principe des tests phytochimiques qualitatifs repose sur des réactions chimiques spécifiques permettant de révéler la présence de certains composés bioactifs dans les extraits végétaux. Ainsi, les polyphénols réagissent avec le chlorure ferrique (FeCl_3), produisant une coloration bleu-noir caractéristique de leur présence. De leur côté, les flavonoïdes peuvent être mis en évidence par le principe de la réaction de Shinoda, où l'ajout de poudre de magnésium suivi d'acide chlorhydrique (HCl) induit une coloration rouge à rose. Par ailleurs, l'utilisation du chlorure d'aluminium permet, selon le même principe de complexation, d'observer une fluorescence jaune sous lumière UV en présence de flavonoïdes (**Singleton, Orthofer, & Lamuela-Raventós, 1999**).

I.7.1. Dosage des polyphénols

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé selon la méthode de Folin-Ciocalteu. Pour cela, 200 μl de chaque extrait et du standard ont été mélangés avec 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué dix fois) et 2 ml d'eau distillée. Le mélange a été incubé à température ambiante pendant 4 minutes. Ensuite, 0,8 ml de solution bicarbonate de sodium à 7,5% a été ajoutée, puis l'incubation s'est poursuivie pendant 2 heures à température ambiante. L'absorbance de la coloration bleue a été mesurée à 765 nm (**figure 7**). La quantification a été réalisée à l'aide d'une courbe standard d'acide gallique.



Figure 7: Dosage des polyphenols.

I.7.2. Dosage des flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé en mélangeant 1 ml de chaque extrait (infusion et décoction du gingembre sec et frais) avec 1 ml de solution d' AlCl_3 à 2 % (préparée dans le méthanol). Après 5 minutes d'incubation à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 430 nm (**figure 8**). Les concentrations en flavonoïdes ont été déterminées à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec la quercitrine (5–20 $\mu\text{g}/\text{ml}$) (**Ghedadba et al., 2014**).



Figure 8: Dosage des flavonoïdes.

Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide d'Excel 2010 (moyenne \pm écart type) et la comparaison des moyennes a été effectuée à l'aide du logiciel JASP version 19041.0.

Chapitre II
Résultats et discussions

Chapitre II : Résultats et discussions

II.1. Résultats

II.1.1 Extraction

Le gingembre (frais ou sec) est le plus souvent consommé sous forme de boissons chaudes ou froides, préparées par décoction ou infusion, ou sous forme d'huiles. C'est pourquoi nous avons choisi ces trois méthodes pour obtenir les extraits de cette plante afin d'étudier leur activité antibactérienne. Les différents rendements obtenus sont présentés dans le **tableau I**. D'après les résultats obtenus, le gingembre sec donne les meilleurs rendements dans les trois méthodes d'extraction (**figure 9**). Le rendement le plus élevé est observé lors de la décoction de gingembre sec avec une valeur de 6,3 %.

Tableau I : Rendements des extraits de gingembre frais et sec obtenus par trois méthodes d'extraction.

Plantes	Gingembre. Frais			Gingembre. Sec		
Méthode d'extraction	Infusion	Décoction	Décantation	Infusion	Décoction	Décantation
Rendement (%)	3,56	2,3	0,20	5,3	6,3	2,84

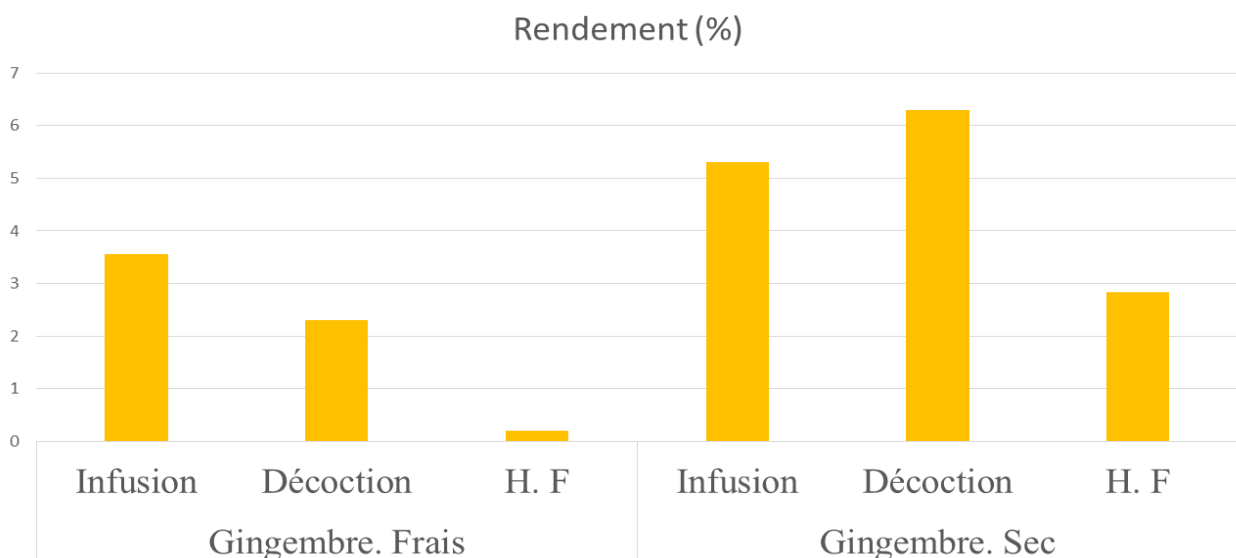


Figure 09 : les rendements des extraits de gingembre frais et sec selon trois méthodes d'extraction.

II.1.2. L'activité antibactérienne

Pour évaluer l'activité antibactérienne de *Zingiber officinale* frais et sec, nous avons utilisé un extrait aqueux de gingembre frais et de gingembre sec. Cette activité a été évaluée par la méthode de diffusion en milieu gélosé (disques), après 24 h d'incubation, en mesurant les diamètres des zones d'inhibition de la croissance bactérienne vis-à-vis de cinq souches bactériennes différentes (*Staphylococcus* sp., *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Bacillus* sp. Et *Pseudomonas* sp.). Le diamètre de la zone d'inhibition a été mesuré (mm) et classé selon les normes comme suit :

$\emptyset < 08\text{mm}$: non sensible ; $09 \leq \emptyset \leq 14\text{mm}$: sensible ; $15 \leq \emptyset \leq 19\text{mm}$: très sensible et $\emptyset \geq 20\text{mm}$ extrêmement sensible (**Razzouk et al., 2022**).

Les résultats présentés dans la boîte à moustache ci-dessous montrent que les extraits de gingembre frais et sec, obtenus par les trois méthodes d'extraction (**figure 2 et 3**), exercent une action inhibitrice modérée sur la croissance des bactéries testées, avec des zones d'inhibition allant de 0 à 28mm (**figure 10**).

Bacillus sp, est la souche la plus sensible, enregistrant les plus grandes zones d'inhibition avec l'extrait de *Zingiber officinale* sec obtenu par décoction (29mm) et par infusion (27mm). Par ailleurs, la décoction et l'infusion de gingembre frais ont montré une zone d'inhibition maximale de 26mm. Néanmoins, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Staphylococcus* sp. *Pseudomonas* sp. Se sont révélées peu sensibles, avec des zones d'inhibition comprises entre 0 et 11mm.

Concernant les extraits riches en huiles essentielles, celles extraites du gingembre sec ont présenté une activité antibactérienne très faible, avec des zones d'inhibition comprises entre 0 et 10mm. En revanche, l'extrait riche en huile essentielle de gingembre frais a montré une meilleure efficacité, *Salmonella* sp. Étant la souche la plus sensible avec une zone d'inhibition de 18mm, comparativement aux autres bactéries testées (voir annexe 2), (**figure 11**).

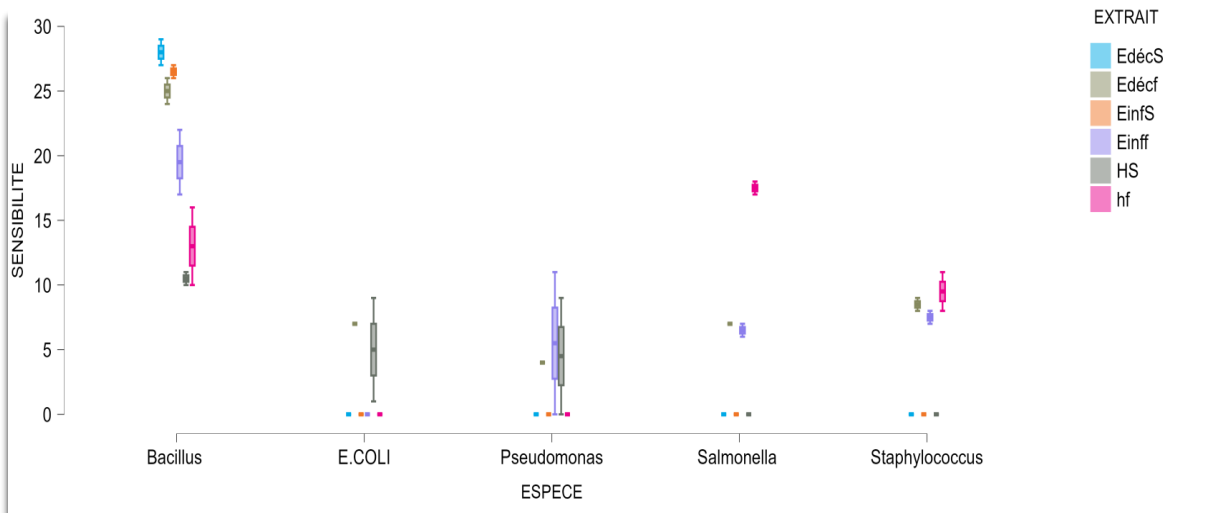


Figure 10 : Résultats de l'activité antibactérienne des extraits de gingembre.

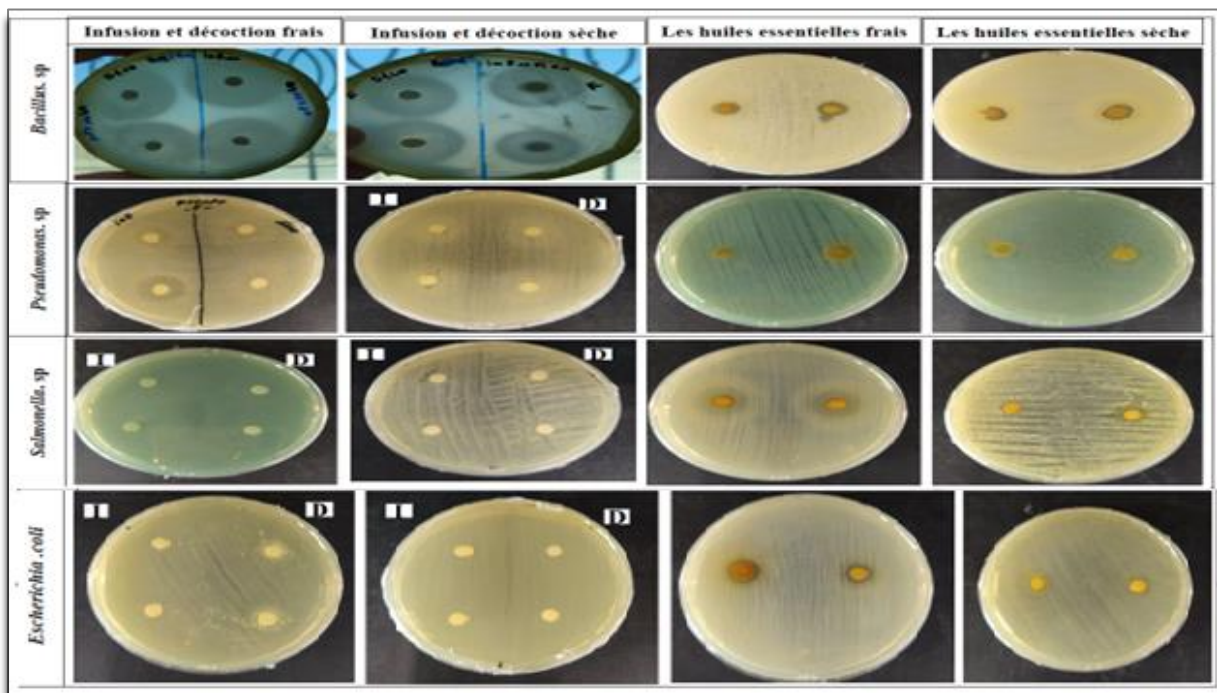


Figure 11 : L'activité antibactérienne des extraits de gingembre sur les bactéries.

II.1.3. Résultat de concentration minimale inhibitrice (CMI)

La concentration minimale inhibitrice (CMI) des extraits aqueux de gingembre frais et sec a été évaluée comme agent antibactérien contre les bactéries sensibles *Bacillus* sp. Et *Pseudomonas* sp., en utilisant la méthode de dilution en milieu liquide. Les résultats sont présentés dans le **tableau II**. Une croissance bactérienne a été observée dans tous les tubes contenant les différentes concentrations d'extraits de gingembre, qu'ils soient frais ou secs. Cela indique que les extraits testés n'ont pas inhibé la croissance de *Bacillus* sp. Et

Pseudomonas sp. La CMI n'a donc pas été atteinte dans la gamme testée, et elle est estimée à une concentration supérieure à 250 mg/ml (figure 12).

Tableau II : les résultats de CMI.

La concentration mg/ml	31,25	62,5	125	175	250
<i>Bacillus</i> sp	+	+	+	+	+
<i>Pseudomonas</i> sp	+	+	+	+	+

(+) : présence de croissance.

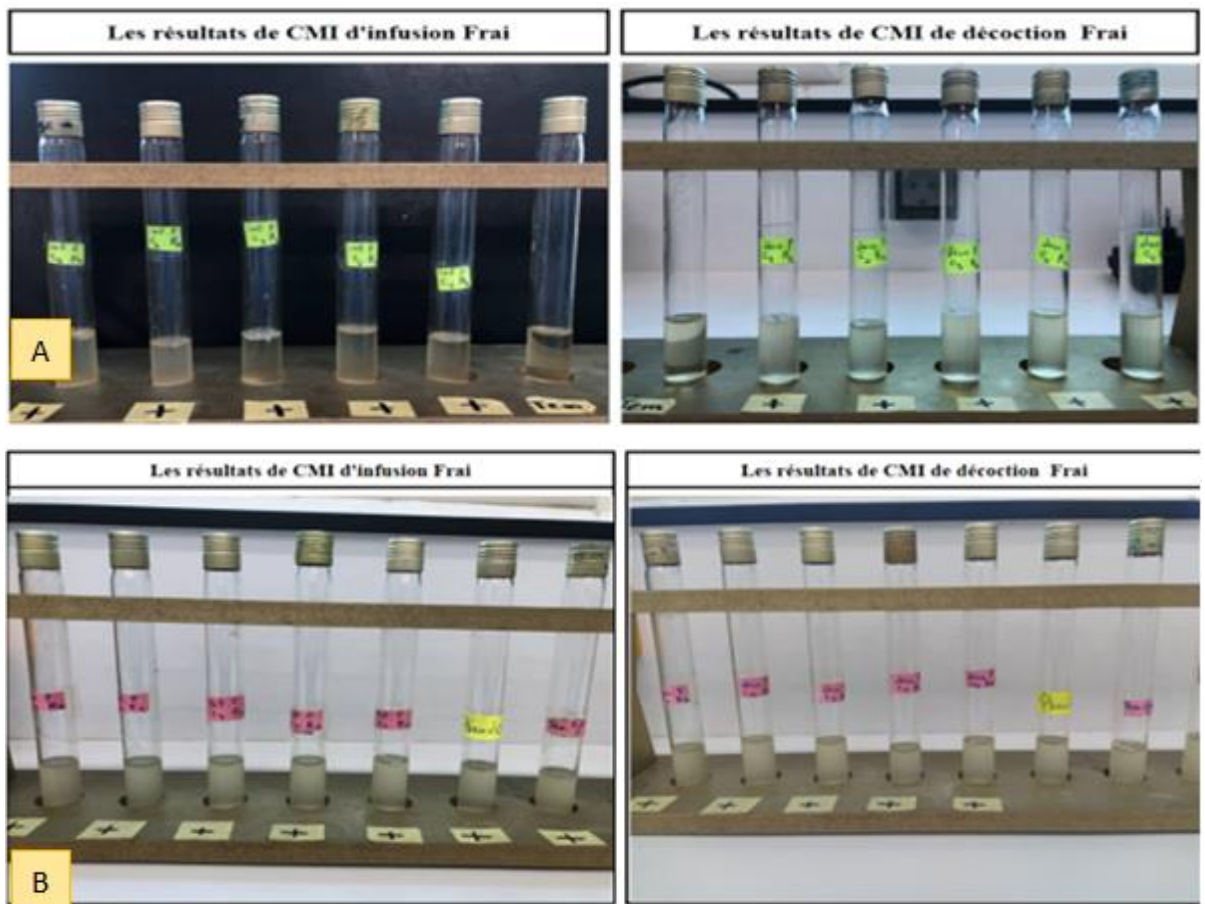


Figure 12 : Résultats de CMI, A : CMI de *Bacillus* sp. B : CMI de *Pseudomonas* sp.

II.1.4. Les tests phytochimiques

II.1.4.1. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé selon la méthode de Folin-Ciocalteu, en utilisant l'acide gallique comme standard, dont la concentration a été exprimée en mg/L (Ghedadba *et al.*, 2014). La teneur en polyphénols totaux des différents extraits de gingembre frais et sec (préparés par infusion et décoction) a été déterminée à partir de la droite

d'étalonnage établie avec l'acide gallique (*figure 13*). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalents d'acide gallique (EAG) par gramme d'extrait sec.

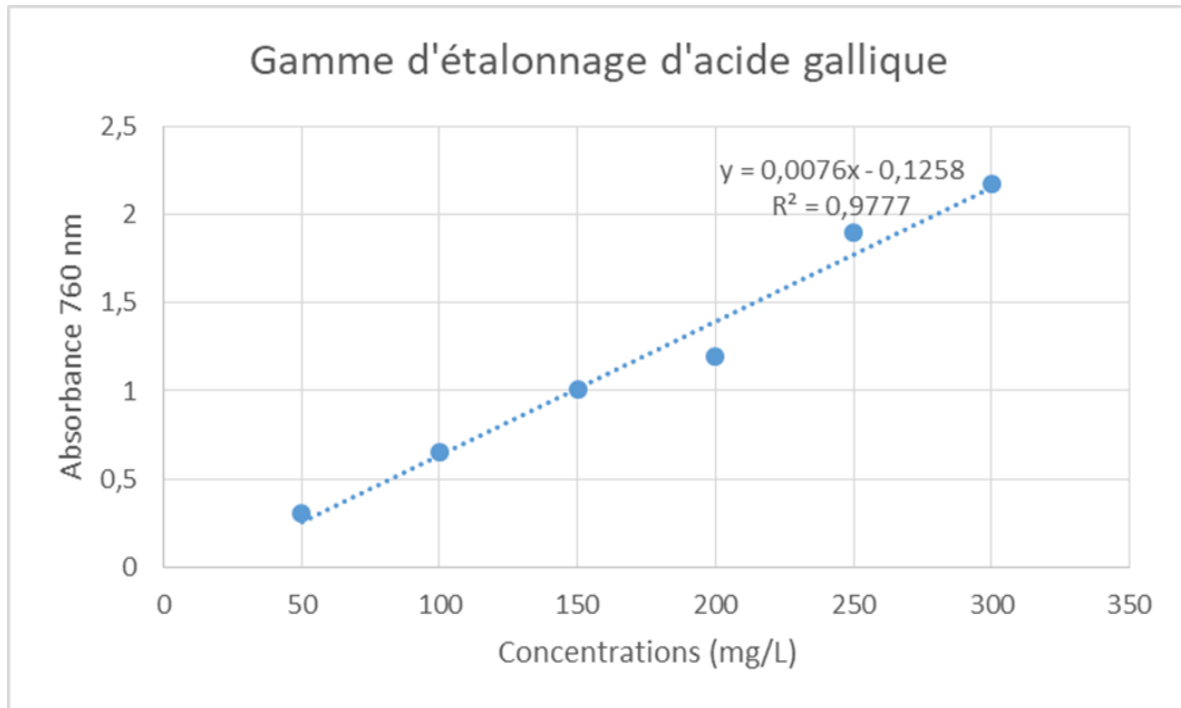


Figure 13 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

L'histogramme (*figure 14*) présente les résultats du dosage des polyphénols totaux dans les extraits de gingembre frais et sec (infusion et décoction). Les extraits issus de l'infusion et de la décoction du gingembre sec sont riches en polyphénols, avec des teneurs respectives de 503,39 et 406,03 mg EAG/g d'extrait. Ces valeurs représentent presque le double de celles obtenues avec le gingembre frais, pour lequel l'extraction par décoction donnait la concentration la plus élevée : 230,36 mg EAG/g d'extrait, comparativement à l'infusion.

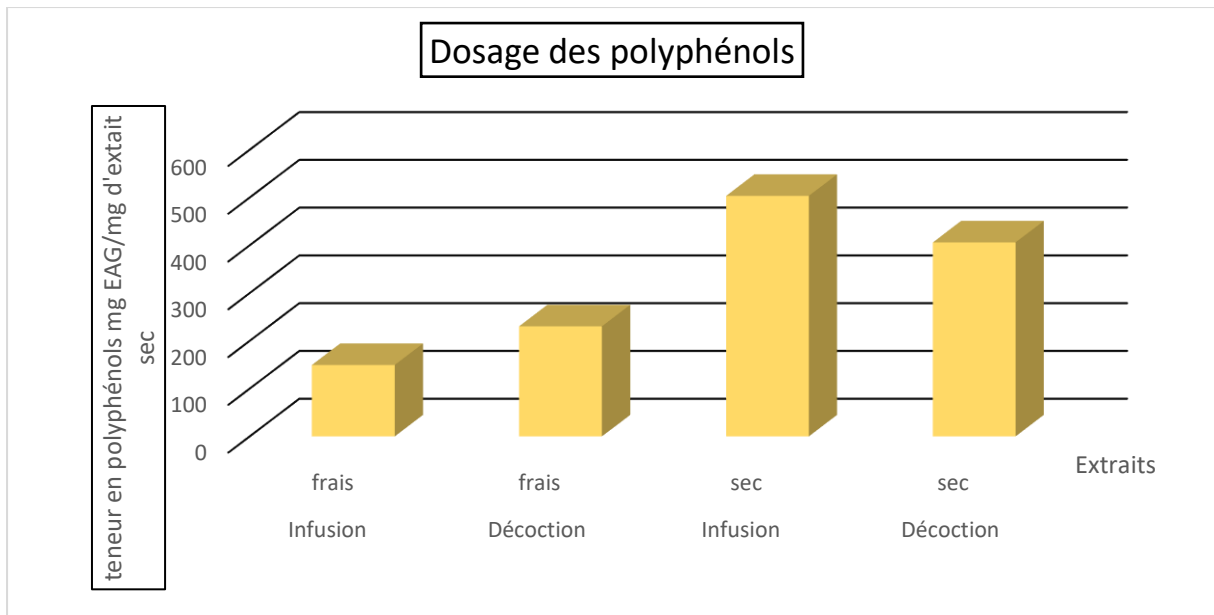


Figure 14 : Variation de la concentration en polyphénols totaux selon le type d'extrait (infusion, décoction) et l'état du gingembre (frais, sec).

II.1.4.2. Dosage des flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode au trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) décrite par (Djeridane et al., 2006). Les résultats sont exprimés en μg d'équivalent de quercétine par milligramme d'extraits (μg EQ/mg d'extrait) (figure 15).

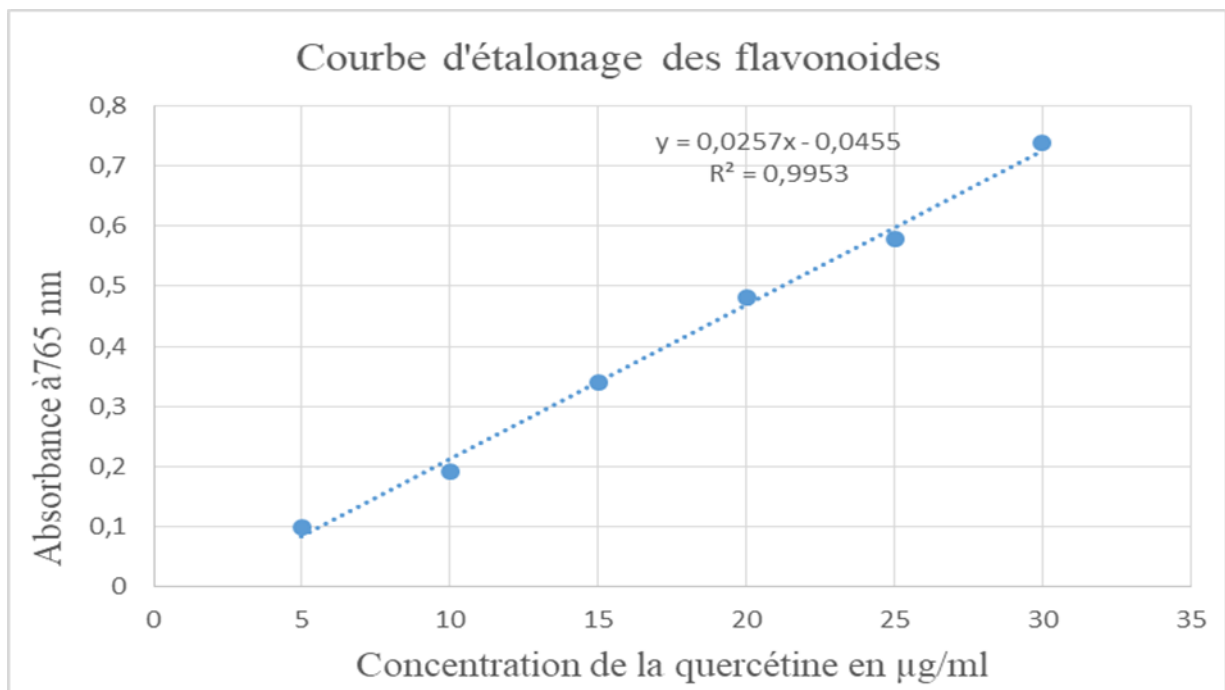


Figure 15 : Courbe d'étalonnage de la quercétine

Les extraits obtenus à partir de gingembre sec atteignent une teneur stable de 115,38 µg EQ/mg d'extrait, quelle que soit la méthode d'extraction utilisée. Tandis que les extraits de gingembre frais présentent des teneurs plus faibles, variant de 53,71 µg EQ /mg pour l'infusion à 80,75 µg EQ /mg pour la décoction. Ces résultats suggèrent que l'état sec du végétal, indépendamment du mode d'extraction, favorise une meilleure récupération des flavonoïdes (Figure 16).

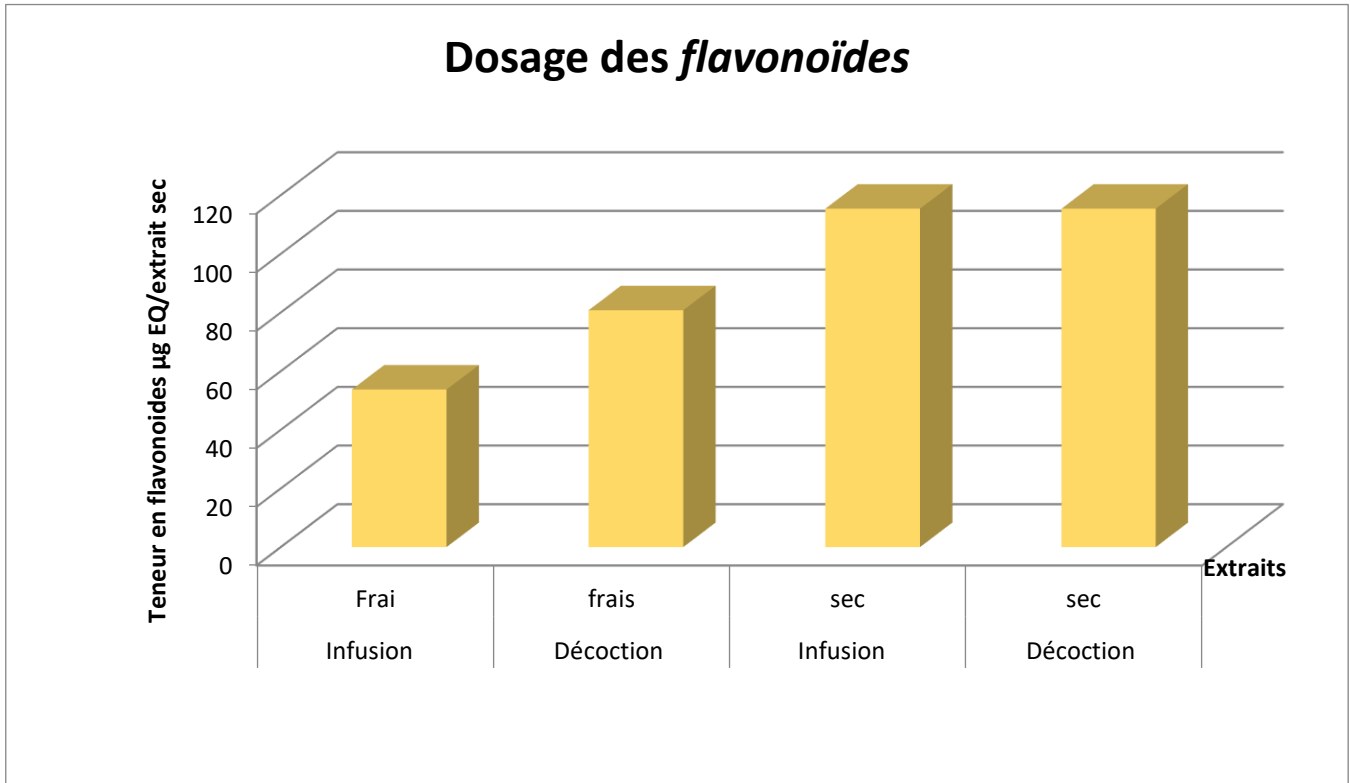


Figure 16 : Variation de la concentration en flavonoïdes selon le type d'extrait (infusion, décoction) et l'état du gingembre (frais, sec).

II.2. Discussions

Le gingembre (*Zingiber officinale*) est une plante largement reconnue pour ses propriétés médicinales, nutritionnelles et traditionnelles. Utilisé mondialement comme épice, aromatisant ou remède, il est également mentionné dans des textes religieux, notamment dans la sourate Al-Insān "الإنسان" du Coran.

وَيُسْقَوْنَ فِيهَا كَأْسًا كَانَ مِزَاجُهَا زَنْجَبِيلًا ۗ الْآيَةُ: 17

Les extraits étudiés présentent des propriétés organoleptiques distinctes. L'infusion de gingembre frais se caractérise par une teinte vert clair et un arôme modérément prononcé.

En revanche, la décoction du même échantillon affiche une couleur brun sombre, avec un parfum plus marqué comparativement à l'infusion. L'extrait riche en huile essentielle extraite du gingembre frais a une couleur allant de l'orange au brun, est fortement odorante, piquante et possède une consistance semi solide semblable à celle d'une pommade qui adhère légèrement au toucher.

Celle produite à partir du gingembre sec est encore plus sombre, avec un parfum plus prononcé et une texture comparable. La décoction du gingembre sec présente une teinte jaune clair et un arôme moins intense, bien que plus concentré et dense que celui de frais.

Enfin, l'infusion du gingembre sec dégage également un arôme moyen et est d'une densité légèrement supérieure à celle de son homologue frais.

Nos données indiquent que le gingembre séché génère des rendements supérieurs au gingembre frais, quel que soit le procédé d'extraction utilisé. Cette variation est liée à la plus forte concentration en métabolites secondaires présente dans le gingembre séché, résultat de la déshydratation augmentant la densité des substances actives par gramme de matière sèche. Ces résultats concordent avec ceux mentionnés par **(Mao et al., 2019)**.

L'extraction du gingembre séché par décoction (6,3%) s'avère est plus efficace que par infusion (5,3%), probablement en raison de l'exposition prolongée à la chaleur, qui facilite la libération des composés thermo-solubles. Ces constatations sont soutenues par les recherches de **(Zancan et al., 2002)**. Comme le démontrent **suet et ses collaborateurs (2006)**, le rendement des qui ont prouvé que le rendement des extractions à l'eau s'accroît avec la température.

L'extraction d'extrait riche en huile essentielle à partir du gingembre frais s'est révélée peu productive (0,2%). Alors que pour le gingembre séché, elle est de (2,84%).

C'est dû à la forte concentration en eau du gingembre frais qui atténue les composés volatils et rend leur distillation plus complexe. Nos résultats corroborent les travaux **(d'Agarwal & Chauhan, 2023)**.

Selon **(Amari, 2016)**, un rendement de (5,37%) a été obtenu avec 25 g de poudre de gingembre, ce qui dépasse le rendement obtenu dans notre recherche (huiles essentielles de gingembre frais).

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette variation, y compris les conditions géographiques, les techniques d'extraction employées, la provenance du matériel végétale, ainsi que les conditions et la durée de conservation de la récolte.

L'activité antibactérienne a été évaluée *in vitro* sur un milieu gélosé solide selon la méthode de diffusion sur disques, qui permet de mesurer l'efficacité des extraits à inhiber la croissance microbienne (**Razzouk et al., 2022**).

Nos observations montrent que les préparations aqueuses (infusion, décoction) de *Zingiber officinale* ont un effet modérateur sur la prolifération des différentes souches bactériennes testées, incluant : *Escherichia coli*, *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Salmonella* sp. Et *Staphylococcus* sp. Les diamètres de zones d'inhibition varient entre 0mm et 28mm.

Nos résultats indiquent que les infusions de gingembre, surtout celles obtenues par la décoction du gingembre sec, ont démontré une puissante action antibactérienne contre *Bacillus* sp ($28 \pm 1,41$ mm). Ces informations confirment celles mentionnées par (**Malu et al., 2009**).

Cette activité peut être attribuée à la forte teneur en composés phénoliques du gingembre comme le 6-gingérol et le 6-shogaol, reconnu pour leurs propriétés antimicrobiennes (**Ali et al., 2008**).

Des recherches crédibles, comme celle réalisée par (**Elfaky et al., 2024**), attestent que les composés 6-gingérol et 6-shoagaol, qui sont les composants bioactifs majeurs du gingembre (*Zingiber officinale*), présentent une antibactérienne notable. Ils agissent en perturbant la membrane cellulaire des bactéries, ce qui provoque une augmentation de la perméabilité membranaire et le déversement des éléments intracellulaires vitaux. Ce processus conduit à la lyse et à la l'élimination de la cellule bactérienne.

Selon (**Saeed et al., 2023**), l'activité antibactérienne à l'égard des bactéries Gram-négatives est plutôt restreinte et variable, selon la technique d'extraction du gingembre employée et le type de gingembre utilisé. Seul l'extrait obtenu par décantation du gingembre frais ($17,5 \pm 0,70$ mm) a montré une sensibilité envers *Salmonella* sp., ce qui indique la présence de composés solubles non thermostables qui semblent avoir une attraction spécifique pour les membranes des bactéries Gram (-).

Globalement, *Escherichia coli* montre résistance aux extraits de gingembre, sauf pour une légère réactivité notée avec un gingembre frais en infusion (7 ± 0 mm) et le gingembre sec en décantation ($5 \pm 5,65$ mm). Cependant, cette action antibactérienne reste faible.

Cette résistance peut être due à la configuration spécifique des bactéries Gram (-), en particulier la présence d'une double membrane externe servant de barrière sélective restreignant l'entrée des composés lipophiles. Malgré cela, Les extraits de gingembre possèdent une propriété antibactérienne. L'infusion de gingembre sec est la plus performante contre *Bacillus* sp., tandis que l'utilisation de la décantation du gingembre frais est le seul moyen efficace de lutter contre *Salmonella* sp.

Ainsi, le gingembre frais présente généralement une grande efficacité contre les bactéries à Gram-négatif. Cette recherche a abouti à des résultats expérimentaux révélant l'inefficacité des extraits aqueux de gingembre, qu'ils proviennent de gingembre frais ou sec, à freiner la prolifération bactérienne contre *Bacillus* sp., et *Pseudomonas* sp, même à une concentration atteignant 250 mg/ml. Nos résultats contredisent certaines recherches qui ont indiqué une activité antimicrobienne notable du gingembre. Par exemple, une étude menée par **(Goyal et al., 2009)** a montré que l'extrait de gingembre présente une action inhibitrice contre *Pseudomonas* sp., à des concentrations inférieures à 250 mg/ml.

Par ailleurs, **(Malu et al., 2009)**, ont rapporté une inhibition de *Bacillus* sp., à des concentrations comprises de 50 à 100 mg/ml, bien qu'ils aient utilisé des extraits non aqueux et alcooliques.

Effectivement, les composés actifs responsables de l'activité antimicrobienne, comme le gingérol et le shogaol, sont davantage solubles dans des solvants organiques. Cette propriété pourrait expliquer l'absence d'effet antibactérien constatée dans cette étude **(Nagoshi et al., 2006)**.

Au final, la grande aptitude des bactéries à créer des biofilms et à développer divers mécanismes de résistance **(Poole, 2004)**, pourrait nécessiter l'utilisation de concentration plus élevées d'extraits pour noter un effet inhibiteur. Par exemple, il pourrait être nécessaire d'utiliser des volumes supérieurs à 100 µl d'extraits (infusion et décoction, frais pour *Pseudomonas* sp., et frais et sec pour *Bacillus* sp.), ou encore des extraits de plus forte concentration (supérieure de 10 grammes dissous dans l'eau).

En ce qui concerne les composés phénoliques, l'extrait aqueux sec contient une concentration plus importante en polyphénols que l'extrait aqueux frais.

Les résultats indiquent que l'eau a le potentiel d'extraire les composés phénoliques totaux. La concentration notoire présente dans l'extrait aqueux sec, que ce soit par infusion (503,39 mgEAG/g) d'extrait ou décoction (406,03mgEAG/g), est à noter.

Ces conclusions sont en accord avec celle de **(Beggas et al., 2017)**, et **(d'Amari, 2016)**, qui ont démontré que l'extrait végétal contient une grande quantité de polyphénols totaux. Cela indique que le processus de séchage du gingembre favorise une concentration des composés phénoliques, possiblement en diminuant le niveau d'humidité et en facilitant l'extraction des composés bioactifs.

Ces conclusions coïncident avec celles de **(Ghasemzadeh et al., 2016)**, qui ont prouvé que le gingembre séché contient une teneur plus élevée en composés phénoliques totaux par rapport au gingembre frais.

Concernant les méthodes d'extraction, les résultats indiquent que l'infusion est légèrement plus efficace que la décoction dans le cas du gingembre sec. Cette différence d'efficacité pourrait être à une dégradation thermique de certains composés phénoliques thermosensibles. En revanche, pour le gingembre frais, la décoction donne de meilleurs résultats que l'infusion, probablement en raison d'une rupture plus efficace des cellules végétales fraîches sous l'effet de la chaleur, favorisant ainsi la libération des polyphénols. La teneur de ce dernier dans les extraits dépend fortement du type de solvant utilisé ainsi que de l'état de la matière végétale (fraîche ou sèche).

De manière générale, les polyphénols ont tendance à être solubles dans des solvants organiques comme le méthanol. Ainsi, pour une meilleure extraction des polyphénols à partir du gingembre frais, il serait pertinent de remplacer l'eau par un solvant organique tel que le méthanol (**Ghasemzadeh et al., 2010**).

Par ailleurs, les extraits de gingembre séché contiennent plus de flavonoïdes que ceux issus du gingembre frais, indépendamment de la méthode d'extraction utilisée. Ceci indique que le séchage du gingembre favorise une extraction plus efficace des flavonoïdes.

Ces résultats correspondent à ceux décrits par (**Amari, 2016**) et (**Beggas et al., 2017**), qui ont démontré que les extraits de cette plante présentent une forte teneur en flavonoïdes. Ils sont également en accord avec d'autres recherches.

Selon (**Ali et al., 2008 ; Ghasemzadeh et al., 2010**), le processus de séchage du gingembre favorise la libération de composés bioactifs, ce qui augmente leur concentration en flavonoïdes.

En définitive, le rhizome de la plante *Zingiber officinale* joue un rôle crucial pour la santé humaine. Car les polyphénols et flavonoïdes qu'il contient sont des molécules bioactives reconnues pour leurs bienfaits.

***Conclusion et
perspectives***

Conclusion et perspectives

Les substances naturelles constituent de véritables usines chimiques dont il faut tirer le maximum de profit. Le présent travail porte sur l'étude des principes actifs des rhizomes de *Zingiber officinale*. Différentes techniques d'extraction, comme la décantation, l'infusion et la décoction, appliquées aux deux formes de gingembre, frais et sec, ont permis d'obtenir différents extraits : huileux et aqueux.

Les analyses ont révélé que le gingembre sec présentait un rendement d'extraction plus élevé que le gingembre frais. La mise en évidence de leur potentiel antibactérien, par un test de sensibilité effectué *in vitro* sur de nombreuses bactéries, a montré que les préparations aqueuses du gingembre sec (infusion, décoction) ont un impact modérateur sur l'inhibition de croissance des différentes souches bactériennes examinées, à savoir *Escherichia coli*, *Pseudomonas* sp, *Bacillus* sp, *Salmonella* Sp, et *Staphylococcus* sp. Les diamètres des zones d'inhibition présentent une variation notable.

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué par la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu, en équivalent d'acide gallique. Les résultats obtenus montrent que l'extrait de gingembre sec caractérisés par une richesse en polyphénols par rapport le frais. Tandis que le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode de trichlorure d'aluminium ($(AlCl_3)$), en équivalent à la quercétine. Les résultats montrent que l'extrait de gingembre sec est caractérisé par une richesse en flavonoïdes par rapport le frais.

On peut conclure qu'il existe une variabilité dans l'activité antimicrobienne entre les différents extraits, laquelle pourrait être attribuée aux conditions de conservation, à la forme de commercialisation ou encore à la qualité de la plante.

Cette étude ouvre de nouvelles perspectives de recherche, permettant d'approfondir notre compréhension des mécanismes :

- ✓ Réalisation une extraction avec d'autres solvants (solvants organiques).
- ✓ Réalisant une extraction des huiles essentielles de gingembre par différentes méthodes.
- ✓ Caractérisation des principes actifs responsables de l'activité antimicrobiens.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

A

1. Abdalla, W. E., Abdallah, E. M. (2018). Activité antibactérienne du rhizome de gingembre (*Zingiber officinale* Rosc.) : mini-revue. *International journal of Pharmacognosy and Chinese Medicine*, 2, 000142.
2. Abe, E., Stanilas, G. D., & Jean, C. A. (2010). Extraction liquide-liquide : théorie, application, difficultés. *Annales de Toxicologie Analytique* 22, 51 - 59.
3. Adel, S., & Prakash, J. (2010). Chemical composition and antioxidant properties of ginger root (*Zingiber officinale*). *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(24), 2674-2679.
4. Agarwal, K., & Chauhan, N. (2023). Comparative study of essential oil yield and composition from fresh and dried ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Processus*, 11(2), 186.
5. Akhlaghi, N., Najafpour-Darzi, G. (2023). Applications potentielles des rhizomes de gingembre comme biomatériau vert : une revue. *International journal of Engineering*, 36, 372–383.
6. Alfahdawi, S.M., & Joudah, M. T. (2020). Étude de l'activité antibactérienne et antifongique du gingembre (*Zingiber officinale*) sur certains micro-organismes pathogènes. *Biochemical and Cellular Archives*, 20, 4629–4634.
7. Ali, B. H., Blunden, G., Tanira, M.O., & Nemmar, A. (2008). Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale*): A review of recent research. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 409-420.
8. Ali, H., Houghton, P. J., & Soumyanath, A. (2008). Effect of drying and extraction methods on the antioxidant activity of selected medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 115(2), 418-424.
9. Amari, S. (2016). *Étude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne et antioxydante de deux extraits de la plante Zingiber officinale*. (Mémoire Master). Sciences Biologiques, 40-43 p.
10. Aregawi, L. G. (2025). Ginger's nutritional implication on gastrointestinal health. *Clinical Nutrition Open Science*, 61, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.nutos.2025.100350>.

B

11. Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79.
12. Beggas, L., & Bendoukhane, M. (2017). Etude de l'activité antioxydante de gingembre *Zingiber officinale*. (Mémoire Master en Sciences Biologiques, Université Mohamed-Cherif Messaadia Souk Ahras).
13. Benmeddour, T., Hocine, L., Salah, A., & Guido, F. (2015). Chemical composition and antibactérien activity of essential oil of *Launaea lanifera* Pau grown in Algerian arid steppes. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5 (11), 960-964
14. Braga, M. E. M., Moreschi, S. R. M., Meireles, M. A. A. (2006). Effects of Supercritical Fluid Extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. Starches. *Carbohydrate Polymers*, (63): pp. 346.

C

15. Carattoli, A. (2013). Plasmids and the spread of resistance. *International Journal of Medical Microbiology*, 303(6-7), 298-304. Doi : 10.1016/j.ijmm.2013.02.001.
16. Cardenas, J. (2017). *Gingembre*. <https://www.doctissimo.fr/html/sante/phytotherapie/plante-medicinale/gingembre.htm>
17. Claire, P. (2012). *Gingembre et curcuma : Un concentré de bienfaits pour votre santé et votre beauté*. Pp. 10-53.

D

18. Deng, Y., Xu, H., Su, Y., Liu, S., Guo, Z., Wu, J., Cheng, C., & Feng, J. (2019). Le transfert horizontal de gènes contribue à la virulence et à la résistance aux antibiotiques de *Vibrio harveyi* 345, d'après une analyse complète du séquençage du génome. *BMC Genomics*, 20, 761. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6137-8>
19. Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, 97(4), 654-660.

E

20. Eddouks, M., Ouahidi, M. L., Farid, O., Moufid, A., Khalidi, A., & Lemhadri, A. (2007). L'utilisation des plantes médicinales dans le traitement du diabète au Maroc. *Phytothérapie*, 5(4), 194.
21. Efferth, T., & Greten, H. J. (2017). Medicinal use of ginger in history and modern research. *Chinese Journal of Integrative Medicine*, 23(4), 312–320.

22. Elfaky, M. A., Okairy, H. M., Abdallah, H. M., Koshak, A. E., Mohamed, G.A., Ibrahim, S. R. M., Alzain, A. A., Hegazy, W. A. H., Khafagy, E. S., & Seleem, N. M. (2024). Assessing the antibacterial potential of 6-gingerol: Combined experimental and computational approaches. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 32(5), Doi : 10.1016/j.jsps.2024.102041.
23. Euring, A.B. (2015). *Le Gingembre. Plante médicinale et plante à épice* <http://abergo1.e-monsite.com/medias/files/ginger1.pdf>

F

24. Faivre, C. I. Lejeune, L., Staub, H., & Goetz, P. (2006). *Zingiber officinale Roscoe*, *Phytothérapie*, 2, 99- 102.
25. Foine, A. (2017). *Les Zingiberaceae en phytothérapie : l'exemple du gingembre*. (Thèse de doctorat, Université de Lille 2, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques). 12-121.

G

26. Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. E., & Rahmat, A. (2010). Elevated Carbon Dioxide Increases Contents of Flavonoids and Phenolic Compounds, and Antioxidant Activities in Malaysian Young Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). Varieties. *Molecules*, 15: 7907-7922 p.
27. Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z.E., Rahmat, A. (2016). Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and fruits of *Ficus carica*. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 17-22.
28. Ghedadba, N. (2017). *Contribution à l'étude de l'activité biologique des deux espèces de Marrubium vulgare L. et Marrubium deserti de Noé in vitro et in vivo* (Thèse de Doctorat, Université Mustapha Ben-Boulaïd, Batna 2).
29. Ghedadba, N., Bousselsela, H., Hambaba, L., Benbia, S., & Mouloud, Y., (2014). Evaluation de l'activité antioxydant et antimicrobienne des feuilles et des sommités fleuries de *Marrubium vulgare L.* *phytothérapie*, 12, 15-24.
30. Gigon, F. (2012). Le gingembre, une épice contre la nausée. *Phéto*, (10): pp. 87.
31. Goyal, R. K., Patel, M. P., & Lal, H. (2009). Chemical composition and antimicrobial activity of the crude extracts isolated from *Zingiber officinale* by different solvents. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 1(2), 23-26.

H

32. Heatley, N. G. (1944). A method for the assay of penicillin. *Biochemical Journal*, 38(1), 61-65. Doi : 10.1042/bj0380061.

I

33. Islam, M., Khatun, F., Faruk, M., Rahman, M. A., & Hossain, M. A. (2022). An Integrated Approach to Manage the Rhizome Rot Disease of Ginger. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 45, 1–9.

J

34. Jolad, S. D., Lantz, R. C., Solyom, A. M., Chen, G. J., Bates, R. B., & Timmermann, B.N. (2004). Fresh organically grown ginger (*Zingiber officinale*): composition and effects on LPS-induced PGE2 production. *Phytochemistry*, 65(13), 1937-1954.

K

35. Kaabour, F. (2009). *Activités antioxydantes et antibactériennes des extraits aqueux du thé, de l'origan et du gingembre - Etude in vitro* (Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas Sétif).

M

36. Malu, S. P., Obochi, G. O., Tawo, E. N., & Nyong, B. E. (2009). Antibacterial activity and medicinal properties of ginger (*Zingiber officinale*). *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 15(3), 365-368.
37. Mao, Q.-Q., Xu, X.-Y., Cao, S.-Y., Gan, R.-Y., Corke, H., Beta, T., & Li, H.-B. (2019). Bioactive compounds and bioactivities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods*, 8(6), 185.
38. Mishra, R. K., Kumar, A., & Kumar, A., (2012). Pharmacological Activity of *Zingiber officinale*. *International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences*, 1(3), 1422-1427.

N

39. Nagoshi, C., Shiota, S., Kuroda, T., Hatano, T., Yoshida, T., Kariama, R., & Tsuchya, T. (2006). Synergistic effect of [10]-gingerol and aminoglycosides against vancomycin-resistant enterococci (VRE). *Biological Pharmaceutical Bulletin*, 29(3), 443-447.
40. Nishidono, Y., Saifudin, A., Deevanhxay, P., & Tanaka, K. (2020). Profilage des métabolites du gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe) par GC-MS et analyse statistique multivariée. *Journal of Asia-Japan Research Institute of Ritsumeikan University*, 2, 1–14. 12-

41. Noman, Z. A., Anika, T. T., Sachi, S., Ferdous, J., Sarker, Y. A., Sabur, M. A., Rahman, M. T., & Sikder, M. H. (2023). Évaluation de l'efficacité antibactérienne de l'extrait brut d'ail (*Allium sativum*) et de gingembre (*Zingiber officinale*) contre l'agent pathogène multirésistant (MDR) de la volaille. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 10, 151-156

O

42. Olaleye, O. N., & Momoh, J. O. (2022) Évaluation du profil des métabolites secondaires du rhizome de gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe) par GC-MS et de son potentiel antibactérien sur *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*. *Microbiology Research Journal International*, 32, 7–31.

P

43. Poole, K. (2004). Resistance to beta-lactam antibiotics. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 61(17), 2200-2223.

R

44. Rahmani, A. H., & Aly, S. M. (2014). Principes actifs du gingembre : candidats potentiels pour la prévention et le traitement des maladies par modulation des activités biologiques. *International Journal Physiology Pathophysiology Pharmacology*, 6, 125–136.
45. Rai, M., Zacchino, S. & Derita, M. (2017). *Essential oils and nanotechnology for treatment of microbial diseases* (1st Ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315209241>
46. Razzouk, S., Mouaad, A. M., Lamy, J., Bacem, M., Lahcen, O., & Mohamed, NA. (2022) Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from three mediterranean plants against eighteen pathogenic bacteria and fungi. *Journal pharmaceutics*, 14, 1408-1608.

S

47. Saeed, M., Khan, A., Arif, M., Rehman, M. U., & Aslam, B. (2023). Biological mechanisms and activities of ginger compounds. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*.
48. Sanogo, Y., Guessennd, N.K., Trabi, H. F., Kouadio, N. J., Konan, F. K., Bamba, M., Danho, N., Bakayoko, A., You, K., & Dosso, M. (2016). Evaluation *in vitro* de l'activité des écorces de tige d'*Anogeissus leiocarpus* (DC) Guill. Et Perr. (Combretaceae) sur

des bactéries responsables de maladies courantes en Afrique et criblage phytochimique. *International Journal of Biological and Chemical Science* 10, 1139-1152.

49. Singh, P., Shukla, R., Kumar, A., Prakash, B., & Dubey, N. K. (2015). Ginger (*Zingiber officinale*): A Nobel herbal remedy. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, Special Issue 1*, 385–400. <https://www.ijcmas.com/special/7/P.%20Singh,%20et%20al.pdf>
50. Stege, A. P. W., Davicinoa, R. C., Vegaa, A. E., Casalib, Y. A., Correac, S., & Micalizzia, B. (2006). Antimicrobial activity of aqueous extracts of *Larrea divaricata* Cav. (jarilla) against *Helicobacter pylori*. *Phytomedicine*, 13, 724–727.
51. Su. X., Duan, J., Jian, Y., Shi. J., & Kakuda, Y. (2006). Effect of soaking conditions on the antioxidant potentials of oolong tea. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 348-353. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.02.005>.
52. Sulieman, A. M. E, Abdallah, E. M., Alanazi, N. A., Ed-Dra, A., Jamal, A. Idriss, H., Alshammari, A. S., & Shommo, S. A. M. (2023). Spices as Sustainable Food Preservatives: A Comprehensive Review of Their Antimicrobial Potential. *Pharmaceuticals*, 16(10) :1451. Doi : 10.3390/ph16101451.

T

53. Toty, A. A., Guessenn, N., Bahi, C., Kara, A. M., Otokore, D. A., & Dosso, M. (2013). Evaluation *in vitro* de l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de l'écorce de tronc de *Harungana madagascariensis* sur la croissance de souches multi-résistantes. *Journal Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 82, 12-21.

Z

54. Zammel, N., Jedli, O., Rebai, T., Hamadou, W. S., Elkahoui, S., Jamal, A., Alam, J. M., Adnan, M., Siddiqui, A. J., Alreshidi, M. M., et al. (2022). Atténuation des lésions rénales et des dommages oxydatifs par *Zingiber officinale* : pharmacocinétique et approche protectrice dans un modèle murin combiné d'ostéoporose. *3 Biotech*, 12, 112.
55. Zancan, K. C., Marques, M. O. M., Petenate, A. J., & Meireles, M. A. A. (2002). Extraction of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) oleoresin with CO₂ and cosolvents: A study of the antioxidant action of the extracts. *The Journal of Supercritical Fluids*, 24(1), 57-76.

Les annexes

Les annexes

Annexe 1

Appareillages	Verreries et autres	Produits	Milieux de culture
Autoclave - Balance de précision - Agitateur de plaque chauffante - Bec Bunsen - Etuve - Vortex Bain marie - Réfrigérateur - Le mixeur - Rota vapeur - spectrophotométrie.	Béchers - Erlenmeyer - Eprouvette - Fioles - Tubes à essai - Barreaux magnétiques - Entonnoirs - Portoirs - Boites de Pétri - Boites de pétri en verre - Pipettes Pasteur - Micropipettes - embouts - Papiers filtre - Para film - ampoule à décoté - Flacons - Papier aluminium - Écouvillons stériles - Pince stérile - les disques stérile.	_eau distillée (H ₂ O) - Méthanol (CH ₃ OH) - chloroforme (CHCl ₃) -DMSO (diméthylsulfoxyde) - Folin Ciocalteu - Bicarbonate de sodium à 7,5% - d'AlCl ₃ à 2 %.	_Gélose nutritive (GN) - bouillon nutritive (BN)

Annexe 2

les souches	Méthodes d'infusion		Méthode décoction		méthode décantaion	
	Gingembre Sec	Gingembre Frais	Gingembre Sec	Gingembre Frais	Gingembre Sec	Gingembre Frais
<i>Bacillus</i> sp.	26,5±0,70	18,5±2,12	28±1,41	25±1,41	10,5±0,70	13±4,24
<i>Salmonella</i> sp.	0±0	6,5±0,70	0±0	0±0	0±0	17,5±0,70
<i>Staphylococcus</i> sp.	0±0	7,5±0,70	0±0	8,5±0,70	0±0	9,5±2,12
<i>Escherichia Coli</i>	0±0	0±0	0±0	7±0	5±5,65	0±0
<i>Pseudomonas</i> sp.	0±0	5±7,07	0±0	4±0	4,5±6,36	0±0