



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Chiekh Larbi Tébessi –Tébessa
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Appliquée



Mémoire

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de **Master**
En : Sciences Biologiques
Option : Biochimie appliqué

Intitulé

Étude des caractéristiques physico-chimiques, de l'activité antioxydante et du profil polyphenolique de l'huile essentielle du clou de girofle (*Syzygium aromaticum*)

Par :

M^{elle}. Saadi Loubna

M^{elle}. Rabeh Samia

M^{elle}. Batta Roumayssa

Devant le jury :

Dr. Guedri Kamilia	Prof	Université de Echahid Chiekh Larbi Tébessi -Tébessa	Présidente
Dr. Messaadia Amira	MCA	Université de Echahid Chiekh Larbi Tébessi –Tébessa	Examinatrice
Dr. Fenghour Hind	MCA	Université de Echahid Chiekh Larbi Tébessi –Tébessa	Rapporteuse

Date de soutenance : 04/06/2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





Remerciment

Salam sur son Prophète Mohammed

"الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله"

Avant tout, nous remercions Allah le Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et le courage nécessaires pour accomplir ce travail. Grâce à Sa bénédiction, nous avons pu mener ce projet à terme malgré les difficultés rencontrées.

Je tiens également à me remercier **moi-même** pour les efforts fournis tout au long de ce parcours universitaire, pour la persévérance, la discipline, la patience et les sacrifices consentis afin d'atteindre cet objectif. Ce travail représente l'aboutissement de plusieurs années d'engagement, de motivation et de dépassement de soi malgré les difficultés rencontrées.

J'adresse mes plus sincères remerciements à notre encadrante, **Mme Fenghour Hind**, pour son accompagnement précieux, sa disponibilité, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce mémoire. Sa rigueur scientifique, son professionnalisme et ses orientations pertinentes ont grandement contribué à la qualité et à l'aboutissement de ce travail.

Mes remerciements les plus spéciaux s'adressent également à l'ingénieure de laboratoire, **Mme Sayada Nardjes**, pour son aide précieuse, sa gentillesse, son soutien et sa disponibilité durant la partie pratique de ce travail. Son aide nous a été d'une grande valeur.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux honorables **membres du jury Dr. Messadia Amira et Dr. Guderu Kamilia** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, ainsi que pour le temps consacré à l'évaluation de ce mémoire.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.





Dédicace

À la personne la plus précieuse dans ma vie,
à ma chère **maman**, mon soutien, ma force et mon refuge...
Aucune parole ne pourra exprimer l'amour, la reconnaissance et la gratitude que **je te**
porte. Merci pour tes sacrifices, ta tendresse, tes prières et ton soutien inconditionnel.
Tu es mon tout, ma vie et ma plus grande source de motivation.

À mon **père**, mon "Superman",
merci pour tous les efforts fournis, pour ta protection, ton courage et ta présence à
chaque étape de ma vie. Que Dieu te garde pour nous.

À ma chère sœur **Hanana**,
la grande sœur sage et bienveillante, celle qui représente la douceur, la raison et la
sagesse dans notre famille. Merci pour tes conseils précieux, ton soutien et ta
présence rassurante à chaque étape de ma vie.

À ma chère sœur **Nadjoua**,
mon élégante professeure, celle qui m'a accompagnée depuis mon enfance, surtout
dans l'apprentissage de la langue française. Merci pour ta patience, ton aide et tous
les efforts que tu as faits pour moi avec amour et sincérité.

À ma chère sœur **Khadidja**,
la plus drôle et la plus discrète, celle qui apporte la joie et la bonne humeur partout où
elle passe. Merci pour les rires, les beaux moments et cette belle énergie que tu
partages avec nous chaque jour.

À mon frère **Soufian**,
mon ami d'enfance, mon frère unique en son genre, toi qui as toujours été une source
de joie, de rire et de réconfort. Merci pour tous les beaux souvenirs et pour ta
présence précieuse dans ma vie.

À mon petit frère **Louay**,
la douceur de notre maison, notre petit intelligent qui illumine nos journées par sa
présence et son innocence.

À mes chères collègues **Samia** et **Roumaissa** et amies,
merci pour les beaux souvenirs, les moments de soutien, de partage et
d'encouragement tout au long de ce parcours universitaire. Votre présence a rendu
cette aventure plus belle et inoubliable. Je vous souhaite à toutes beaucoup de
réussite et de bonheur dans votre vie professionnelle et personnelle.

Loubna





Dédicace

Je dédie ce travail

A moi-même, en reconnaissance de tous les efforts, de la patience et de la persévérance dont j'ai fait preuve. Merci à moi-même, pour chaque fois où j'étais fatigué et où je n'ai pas abandonné, pour chaque tentative faite malgré l'épuisement, et pour chaque petit pas accompli vers un avenir meilleur. Je suis fier de moi et de ce que j'ai accompli, et même si le chemin est encore long, l'important est de ne pas avoir abandonné. Je suis reconnaissant de mes efforts et j'ai l'intention de poursuivre sur cette voie avec une confiance encore plus grande. Je dédie ce travail à moi-même, en reconnaissance de tous les efforts, de la patience et de la persévérance dont j'ai fait preuve.

À ma chère **mère**

qui a veillé sur moi la nuit, m'a soutenu et encouragé, et a été présente dans les moments difficiles comme dans les moments de joie. Je prie Dieu de la protéger et de lui accorder bonheur et longue vie.

À mon cher **père**

mon pilier, dont les efforts sont sans égal, car il se donne corps et âme, jour et nuit, pour mon éducation, mes soins et mon bonheur.

À mes **frères et sœurs**

qui m'ont soutenu et encouragé dans mes études, je prie Dieu de vous protéger, de vous guider et de vous accorder la réussite dans la réalisation de vos aspirations.

Et merci à tous mes amis qui m'ont soutenu tout au long de mes années d'études et qui m'ont été d'un grand secours.

Samia





Dédicace

Avant tout, je remercie Allah le Tout-Puissant,
qui a éclairé mon chemin et m'a donné la force, la patience et la volonté d'accomplir
ce travail.

À ma très chère **mère**,
tu es la lumière qui illumine ma vie et la force qui me permet d'avancer malgré les
difficultés. Aucun mot ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je porte
pour toi. Si je suis arrivée jusqu'ici, c'est grâce à tes sacrifices, ton soutien et tes
prières. Qu'Allah te protège et fasse de toi une des habitantes du Paradis.

À mon très cher **père**,
le pilier inébranlable et le cœur qui a sacrifié en silence pour me construire un avenir
meilleur. Merci pour chaque effort, chaque conseil et chaque encouragement. Tu restes
ma fierté, mon modèle et mon plus grand soutien. Qu'Allah te préserve et t'accorde
tout le bonheur que tu mérites.

À mes **frères et sœurs**,
Youcef, Waël, Layane, Oumaïma, Takwa et Yasmine,
vous êtes la véritable force et le soutien qui rendent le chemin plus léger et les
difficultés plus supportables. Merci pour votre amour, votre présence et vos
encouragements qui ont illuminé mon parcours. Que Dieu nous garde toujours unis
dans l'amour et le bonheur.

À mes chères tantes, **Nabila et Zahia**,
toute ma reconnaissance pour vos prières sincères qui ont toujours ouvert les portes du
succès à chaque étape de mon parcours.

À **Loubna et Samia**,
mes binômes dans cette aventure, merci d'avoir été bien plus que des collègues : un
véritable soutien dans chaque moment de fatigue, d'effort et de persévérance. Votre
présence a donné plus de valeur à ce travail.

Enfin, à toutes les personnes qui ont cru en moi et m'ont soutenue de près ou de loin,
je dédie ce travail avec fierté et profonde gratitude.

Roumayssa



Résumé

Le clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) est une plante aromatique reconnue pour sa richesse en composés bioactifs, notamment les composés phénoliques responsables de plusieurs activités biologiques, dont l'activité antioxydante. La présente étude vise à évaluer les caractéristiques physico-chimiques, le profil polyphénolique ainsi que l'activité antioxydante de son huile essentielle.

L'huile essentielle a été extraite par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger, avec un rendement de **1,81 %**. Les analyses physico-chimiques ont révélé un PH de **4,76** présente le caractère acide de clou de girofle et une humidité de **15,70 %**. Le dosage des composés phénoliques totaux, effectué par la méthode de **Folin-Ciocalteu**, a donné une valeur de **0,508 mg EAG/g** d'extrait. L'activité antioxydante, évaluée par le test de piégeage du radical libre **DPPH**, a montré un pourcentage d'inhibition de **88,27 %**, traduisant une forte capacité antioxydante de l'huile essentielle étudiée. Ces résultats mettent en évidence la richesse de l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* en composés bioactifs, en particulier les composés phénoliques, ce qui explique son important pouvoir antioxydant.

Ainsi, cette huile essentielle représente une source naturelle prometteuse pouvant être valorisée dans les domaines pharmaceutique, alimentaire et cosmétique.

Mots-clés : *Syzygium aromaticum*, huile essentielle, hydrodistillation, rendement, polyphénols, Folin-Ciocalteu, activité antioxydante, DPPH.

Abstract

Syzygium aromaticum (clove) is an aromatic plant renowned for its richness in bioactive compounds, particularly phenolic compounds responsible for several biological activities, including antioxidant activity. The present study aimed to evaluate the physicochemical characteristics, polyphenolic profile, and antioxidant activity of its essential oil.

The essential oil was extracted by hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus, yielding an extraction rate of **1.81%**. Physicochemical analyses revealed a PH value of **4.76**, indicating the acidic nature of clove essential oil, and a moisture content of **15.70%**. The total phenolic content, determined using the **Folin–Ciocalteu** method, was found to be **0.508 mg GAE/g** extract. Antioxidant activity was assessed using the DPPH free radical scavenging assay and showed an inhibition percentage of **88.27%**, demonstrating the strong antioxidant potential of the studied essential oil.

These findings highlight the richness of *Syzygium aromaticum* essential oil in bioactive compounds, particularly phenolic constituents, which may explain its significant antioxidant capacity. Therefore, this essential oil represents a promising natural source that could be valorized in pharmaceutical, food, and cosmetic applications.

Keywords: *Syzygium aromaticum*; essential oil; hydrodistillation; yield; polyphenols; Folin–Ciocalteu; antioxidant activity; DPPH.

تلخيص

يعد القرنفل (*Syzygium aromaticum*) نباتا عطريا معروفا بغناه بالمركبات النشطة حيويًا، وخاصة المركبات الفينولية المسؤولة عن العديد من الأنشطة البيولوجية، من بينها النشاط المضاد للأكسدة. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية، والمحتوى البوليفينولي بالإضافة إلى النشاط المضاد للأكسدة للزيت العطري المستخلص من القرنفل.

تم استخلاص الزيت العطري بطريقة التقطير المائي باستعمال جهاز كليفنجر (Clevenger) ، حيث بلغ مردود الاستخلاص 1.81%. أظهرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية قيمة PH بلغت 4.76، مما يدل على الطبيعة الحمضية للزيت العطري للقرنفل، كما بلغت نسبة الرطوبة 15.70%. أما تقدير المحتوى الكلي للمركبات الفينولية باستعمال طريقة فولين-سيوكالتيو (Folin–Ciocalteu) فقد أظهر قيمة قدرها 0.508 (ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ من المستخلص GAE/g) (mg) وتم تقييم النشاط المضاد للأكسدة بواسطة اختبار DPPH، حيث بلغت نسبة التثبيط 88.27%، مما يعكس قدرة عالية للزيت العطري المدروس على مكافحة الأكسدة.

تبرز هذه النتائج غنى الزيت العطري للقرنفل بالمركبات النشطة حيويًا، ولا سيما المركبات الفينولية، وهو ما يفسر قدرته المضادة للأكسدة. وعليه، يمكن اعتبار هذا الزيت العطري مصدرا طبيعيا واعدًا يمكن تثمينه واستغلاله في المجالات الصيدلانية والغذائية والتجميلية.

الكلمات المفتاحية: القرنفل (*Syzygium aromaticum*) ، الزيت العطري، التقطير المائي، مردود الاستخلاص، البوليفينولات، طريقة فولين-سيوكالتيو، النشاط المضاد للأكسدة، DPPH

Liste des figures

Figure 1: Une carte géographique des principaux producteurs de clou de girofle au monde (Rezoug et Bourihane, 2021).....	6
Figure 2: l'arbre de giroflier (Ahlem, T., et Maroua, M. 2020).	25
Figure 3: Structure du Giroflier (Chabane, N., et Bouzit, H.2025).	9
Figure 4: fleur de Giroflier(Chabane, N., et Bouzit, H.2025).	9
Figure 5: Clous rose récoltés avant l'épanouissement de la fleur (Bouzaa, F., et al.2022).....	10
Figure 6: Boutons floraux récolté Giroflier (Chagra, 2019).....	28
Figure 7 : Poudre de clou de girofle(Giroflier (Chagra, 2019).....	28
Figure 8: Griffage des clous après la récolte(Tahar, A., & Tassadiat, S. 2020).....	12
Figure 9: Figure 13:séchage des clous sur des nattes à Madagascar (Tahar, A., & Tassadiat, S. 2020).....	12
Figure 10: Voies d'application de l'huile essentielle de clou de girofle dans la viande et les produits carnés (Valarezo et al., 2025)	32
Figure 11: Structure chimique de quelque Monoterpène (Amal, T . 2020)	20
Figure 12: Formule de la molécule de β -caryophyllène(Barour, R., et Derguini, A. 2022).....	21
Figure 13: Structure de quelques dérivées du phénylpropane(Chaouch et al., 2023).	22
Figure 14: Principe schématisé d'hydrodistillation par Clevenger(Boukhatem, M. N. 2019).	24
Figure 15: composant de HPLC(Ali, A.H. 2022).....	25
Figure 16: Clou de girofle(Photo personnelle)	33
Figure 17: Broyage de clou de girofle par moulin électrique(Photo personnelle)	33
Figure 18: la poudre de clou de girofle(Photo personnelle)	33
Figure 19: hydro-distillateur de type clevenger (photo personnelle)	51
Figure 20: Extraction d'HE de clou de girofle (Photos personnelle)	52
Figure 21: Conservation d'HE de clou de girofle (Photo personnelle)	52
Figure 22: Masse initiale (M1) en g	37
Figure 23: Masse après séchage (M2)	37
Figure 24: Dosage des polyphénols (Photo personnelle)	39

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification de girofle (Chagra, K.2019).....	7
Tableau 2: structure chimique des composantes de l'huile essentielle de clou de girofle par HPLC (Pandey et al., 2023).....	19
Tableau 3: Caractéristiques organoleptiques.....	44
Tableau 4: Résultat du rendement d'HE de clou de girofle.	44

Liste des abréviations

Abréviation	Détaille
HE	Huile essentielle.
AFNOR	Association Française de Normalisation.
IC50	Concentration inhibitrice à 50%.
RHE	Rendement
µl	Microlitre
G	Gramme
mg	Mille gramme
ml	Millilitre
Ech	Echantillon
%	Pourcentage
T°	Température
GC/MS	Chromatographie en phase gazeux couplée aux spectroscopies de masse.
CLHP	Chromatographie Liquide A Haute Performance
M	Masse
PH	Potentiel Hydrogène
V	Volume
Abs	Absorbance.
°C	Degré Celsius
C	Concentration (mole. l ⁻¹).
CLHP	Chromatographie Liquide A Haute Performance
DPPH	1.1- diphényl-2-picryl-hydrazyl.
µg E.A.G./mg ES	Microgramme équivalent d'acide gallique par milligramme de matière sèche
Na2SO4	Le sulfate de sodium anhydre.
MHE	Masse de l'huile essentielle obtenue en gramme (g).
Na2CO3	Carbonate de sodium.
nm	Nanomètres
ADN	Acide Désoxyribonucléique
MOA	Monoamine oxydase.
ERO	Espèces Réactives de l'Oxygène.
ERN	Espèces Réactives de l'azo

Table des matières

Remerciment

Dédicace

Résumé

Abstract

تلخيص

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

II. Historique de clou de girofle.....	3
1. Définition de clou de girofle.....	6
2. Origine et répartition géographique de clou de giroflier	6
3. Classification botanique de giroflier.....	7
4. Description morphologique de clou de girofle	8
5. Conduction de culture.....	9
5.1. Exigences climatiques et édaphiques.....	10
5.2. La récoltés et poste récolte.....	10
6. Domaines d'utilisations de clou de girofle	13
6.1. Domaine théraphotique	13
6.2. Domaine cosmétique et parfumerie	14
6.3. Domaine alimentaire	14
7. Toxicité du clou de girofle	15
1. Définition des huiles essentielles.....	18
2. Localisation des huiles essentielle de clou de girofle dans la plante.....	18
3. Les composition chimique de huiles essentielles de clou de girofle	18
3.1. Les composés terpéniques.....	20
3.1.1. Les monoterpènes.....	20
3.1.2. Les sesquiterpènes :.....	21
3.1.3. Les composés aromatiques :.....	22
4. Propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle de clou de girofle.....	23
5. Les méthodes d'extraction de HE.....	23
5.1. Hydrodistillation	23
6. D'autre méthodes d'extraction	25
6.1. Chromatographie en phase gazeuse couplé au spectromètre de masse (GC-MS).....	25
6.2. La chromatographie liquide à haute performance (HPLC).....	25

Table des matières

7. Les activités biologiques de l'huile essentielle de clou de girofle	26
7.1 Activités antioxydante de huile essentielle de clou de girofle	26
7.2. Activité antibactérienne	26
7.3. Activité antifongique	27
7.4. Activité anti-inflammatoire et immunomodulatrice	28
7.5. Activité antivirale.....	29
7.6. Autre activité biologique.....	29
I. Objectif du travail.....	32
II. Matériel et méthodes.....	33
1. Matériel.....	33
1.1. Le matériel végétal utilisé	33
2. Méthode	33
2.1. Préparation de la plante étudiée	33
2.1.1. Extraction de l'huile essentielle de <i>Syzygium aromaticum</i> par hydrodistillation.....	34
2.1.2. Détermination du rendement de l'huile essentielle du clou de girofle.....	36
2.2. Caractéristique physico-chimique de clou de girofle.....	36
2.2.1. La teneur en eau (Humidité).....	36
2.2.2 Détermination de PH.....	38
3. Dosage des polyphénols totaux	39
3.1. Principe	39
3.2. Mode opératoire	39
3.3. Expression de résultats.....	40
4. Evaluation de l'activité anti-oxydant (DPPH).....	40
4.1. Principe	40
4.2. Mode opération	41
4.3. Expression de résultats.....	41
4.4. Estimation d'IC50	42
VI. Résultats et discussions	44
1. Extraction de l'huile essentielle du clou de girofle	44
1.1. Caractéristiques organoleptiques de l'HE.....	44
1.2. Calcule de rendement de l'huile essentielle du clou de girofle	44
2. Caractéristique physico-chimique de clou de girofle	45
2.1. La teneur en eau (Humidité)	45
2.2. Détermination de PH.....	45
3. Dosage des polyphénols totaux	46

Table des matières

4. Dosage de l'activité antioxydant par DPPH.....	47
---	----



INTRODUCTION



Les plantes médicinales occupent une place importante dans la médecine traditionnelle depuis des siècles grâce à leurs nombreuses propriétés thérapeutiques. Ces dernières années, elles ont suscité un intérêt croissant en raison de leur richesse en métabolites secondaires biologiquement actifs, notamment les composés phénoliques et les huiles essentielles, reconnus pour leurs activités antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires ..., la recherche de nouvelles substances naturelles à visée thérapeutique devient une nécessité **(Bouzaa, F., et al.2022)**.

Parmi les plantes aromatiques les plus utilisées, *Syzygium aromaticum*, communément appelé clou de girofle, occupe une place importante en médecine traditionnelle. Cette plante est largement utilisée pour ses propriétés antiseptiques, analgésiques, antifongiques, antivirales et antibactériennes. L'huile essentielle extraite des boutons floraux du clou de girofle est particulièrement riche en eugénol, composé majoritaire responsable de nombreuses activités biologiques **(Haro-G et al.2021)**.

L'abandon progressif des ressources végétales au profit des substances chimiques souligne aujourd'hui la nécessité de redécouvrir et de valoriser les plantes aromatiques, telles que le clou de girofle, véritable réservoir de molécules naturelles d'intérêt biologique. Dans ce contexte, notre travail s'intéresse à l'étude de l'huile essentielle du clou de girofle, en mettant l'accent sur ses propriétés biologiques et son potentiel thérapeutique. Cette étude vise également à valoriser l'utilisation des substances naturelles comme alternative aux agents chimiques et pharmaceutiques conventionnels.

Notre travail est subdivisé en deux parties. La première partie concerne l'étude bibliographique, qui présente des généralités sur *Syzygium aromaticum*, sa classification botanique, sa composition chimique ainsi que les différentes propriétés biologiques de l'huile essentielle. Cette partie aborde également des notions générales sur les huiles essentielles, leurs propriétés physicochimiques, leurs méthodes d'extraction et leurs domaines d'application.

La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale. Elle comprend la méthodologie adoptée, les techniques utilisées ainsi que la présentation et la discussion des résultats obtenus concernant les activités biologiques de l'huile essentielle étudiée et finalisé par une conclusion et perspective.

partie bibliographique



II. Historique de clou de girofle

Depuis toujours, les plantes occupent une place essentielle sur terre par leur diversité, leur richesse et leur complexité. Parmi les différentes plantes, le clou de girofle présente un intérêt particulier en raison de son ancienneté d'utilisation. Il était déjà largement connu en Chine bien avant l'ère chrétienne. À cette époque, l'usage voulait que les personnes souhaitant s'adresser à l'Empereur purifient leur haleine en mâchant quelques clous de girofle, désignés sous le nom de « hi-sho-hiang ». Toutefois, le giroflier n'était pas une espèce originaire du territoire chinois. En Europe, le clou de girofle fit son apparition vers le IV^e siècle. Selon les sources historiques, l'empereur Constantin, récemment converti au christianisme, offrit au pape Sylvestre de nombreuses richesses comprenant de l'or, de l'argent, de l'encens ainsi que diverses épices, parmi lesquelles figuraient plus de 50 kg de clous de girofle. **(Rezoug, S, et Bourihane, A. 2021).**

La découverte, dans une sépulture alsacienne du VI^e siècle, d'une petite boîte en or contenant deux clous de girofle constitue un témoignage archéologique significatif. Cet élément met en évidence la grande valeur accordée à cette épice ainsi que son caractère précieux au cours de cette période historique. Pendant longtemps, il fut admis que les clous de girofle provenaient de l'île de Java. Cette perception persista jusqu'à la découverte, par les Portugais, de l'arbre producteur dans son aire d'origine, à savoir les îles Moluques (Figure 1). Par ailleurs, les épices étaient autrefois acheminées vers l'Europe par les marchands arabes, notamment à travers d'importants centres commerciaux tels que Venise. Au XII^e siècle, le clou de girofle était déjà utilisé à Rome ainsi qu'en France ; toutefois, il demeurait une denrée rare et précieuse, réservée à une clientèle aisée en raison de sa valeur élevée **(Bouzaa, F., et al.2022).**

En 1769, le Français Pierre Poivre parvint à introduire clandestinement des plants de giroflier hors des îles Moluques vers les îles de France et de Bourbon (actuelles Maurice et La Réunion). Cette introduction favorisa ensuite la diffusion de l'espèce dans plusieurs régions tropicales, notamment à Cayenne, Saint-Domingue et à la Martinique. Par la suite, Zanzibar s'imposa comme un important centre de production à la fin du XVIII^e siècle, avant le développement de la culture du giroflier à Madagascar et en Indonésie. **(Asma, Boumelit. 2023).**

Historique

Historiquement, l'archipel des îles Moluques en Indonésie constitue le berceau de la culture du giroflier. Par la suite, Zanzibar s'est imposé comme un centre majeur de production, devenant à une période le premier producteur mondial. A partir des années 1960, l'Indonésie a retrouvé sa position dominante, tandis que Madagascar s'est affirmé dès les années 1970, devançant légèrement Zanzibar. Actuellement, l'Indonésie demeure le principal producteur mondial de girofle (toutes parties de la plante confondues), suivie de Madagascar et de la République-Unie de Tanzanie notamment les îles de Pemba et Zanzibar puis du Sri Lanka et des Comores, dont la production reste nettement inférieure en volume (**Barour, R., et Derguini, A. 2022**).



1. Définition de clou de girofle

Le terme « clou » dérive du latin *clavus*, en référence à la forme caractéristique du bouton floral séché. L'appellation scientifique a évolué au cours du temps : le genre *Eugenia* rendait hommage à Eugène de Savoie-Carignan, tandis que le terme *Caryophyllata* provient du grec *karuo* (noyer) et *phyllon* (feuille), signifiant « à feuilles de noyer ». Le giroflier et son épice sont désignés différemment selon les langues : *clove* (anglais), *spicchio* (italien), *clavo* (espagnol), *Gewürznelke* (allemand), *koronfol* et *cengkeh* dans certaines langues asiatiques. (Asma, B. 2023).

2. Origine et répartition géographique de clou de giroflier

Le giroflier est une espèce arboricole tropicale. Il trouve son origine en Indonésie, notamment dans l'archipel des Moluques ainsi que dans le sud des Philippines. Actuellement, sa culture s'est largement étendue à d'autres régions tropicales, en particulier dans plusieurs pays d'Afrique et d'Amérique du Sud, où les conditions climatiques favorisent son développement (Mellis, S, et Athmane, B.2024).

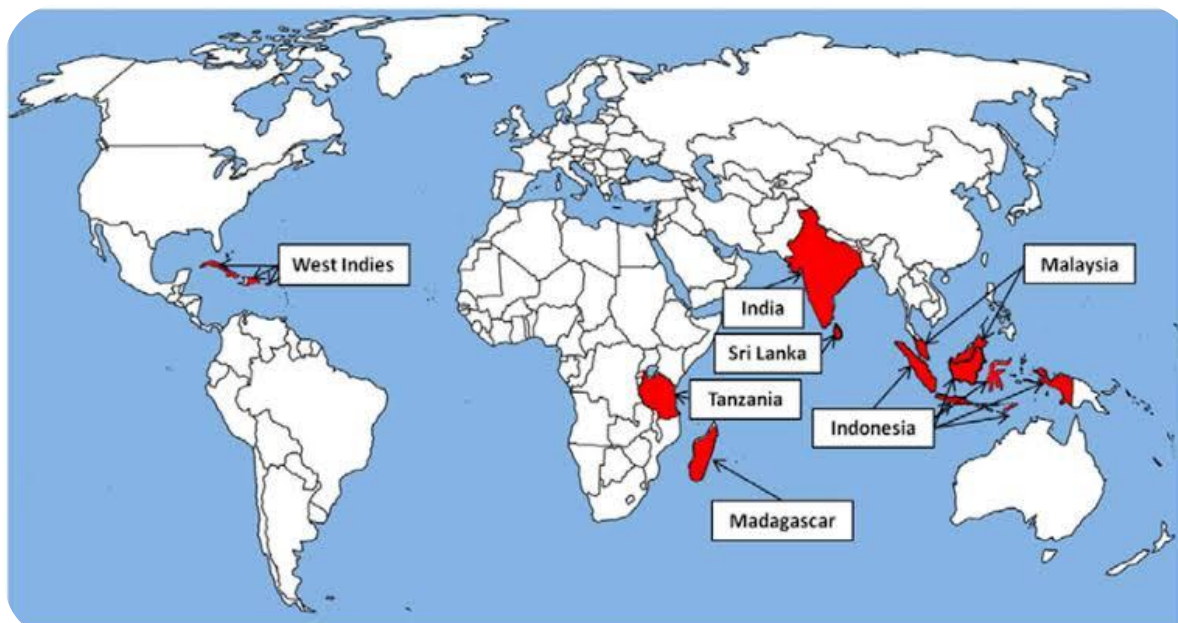


Figure 1: Une carte géographique des principaux producteurs de clou de girofle au monde (Rezoug et Bourihane, 2021)

3. Classification botanique de giroflier

Tableau 1: Classification de girofle (Chagra, K.2019)

Classification classique :	
Règne	Plante
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Rosidae
Ordre	Myrtales
Famille	Myrtaceae
Genre	Syzygium
Nom binominal :	
<i>Syzygium aromaticum</i> (L.)	

Au cours de son histoire taxonomique, le giroflier a porté plusieurs dénominations scientifiques avant l'adoption du nom actuellement reconnu, *Syzygium aromaticum* (L.). Parmi les synonymes figurent :

- *Caryophyllus aromaticus* L.
- *Eugenia caryophyllata* .
- *Eugenia caryophyllus*.
- *Eugenia aromatica* (L.)
- *Jambosa caryophyllus* .
- *Syzygium aromaticum* (L.)

De nos jours, les appellations *Syzygium aromaticum* et *Eugenia caryophyllus* sont encore toutes deux utilisées dans la littérature scientifique. (Nassima, H. 2021).

4. Description morphologique de clou de girofle

Le giroflier (*Syzygium aromaticum*) est un arbre tropical pouvant atteindre 12 à 15 mètres de hauteur, et parfois jusqu'à 20 mètres. Il se caractérise par un tronc gris clair et un port dressé à tendance pyramidale. Ses feuilles, opposées et entières, sont de forme elliptique (10 à 12 cm de longueur), présentent une nervure médiane bien marquée et sont dotées de glandes sécrétrices visibles au revers. (Ahlem, T., et Maroua, M. 2020).



Figure 2: l'arbre de giroflier (Ahlem, T., et Maroua, M. 2020).

Les fleurs du giroflier sont regroupées en cymes terminales d'environ 20 à 25 unités, généralement ramifiées en trois axes. Portées par un pédoncule allongé à l'extrémité des rameaux, elles possèdent quatre pétales blanc rosé et de nombreuses étamines blanches saillantes, leur donnant un aspect duveteux. Les sépales, de couleur rouge et persistants, constituent une caractéristique distinctive de l'inflorescence (Chabane, N., et Bouzit, H.2025).



Figure 3: Structure du Giroflier
(Chabane, N., et Bouzit, H.2025).



Figure 4: fleur de Giroflier
(Chabane, N., et Bouzit, H.2025).

Les huiles essentielles peuvent être extraites de la plante entière ou de différentes parties végétales telles que les racines, les rameaux, les feuilles, les fleurs ou les fruits. Dans le cas du giroflier (*Syzygium aromaticum*), l'huile essentielle est principalement obtenue par distillation à la vapeur d'eau des boutons floraux séchés (Barour, R., & Derguini, A. 2022).

5. Conduction de culture

La culture du giroflier (*Syzygium aromaticum*) dépend plusieurs conditions écologiques bien définies, en raison de son origine tropicale ainsi que sa sensibilité aux variations climatiques. La maîtrise de ces conditions et la bonne culture de cette plante sont essentielles afin d'assurer une croissance optimale de l'arbre et de produire de clous de girofle de bonne qualité (Tahar, A., et Tassadiat, S. 2020).

5.1. Exigences climatiques et édaphiques

Le giroflier (*Syzygium aromaticum*), comme de nombreuses espèces de la famille des Myrtacées, est adapté aux climats tropicaux. Il requiert un ensoleillement important, indispensable à la formation des clous, bien que les jeunes plants nécessitent un léger ombrage durant leurs premiers mois de croissance. Son développement est favorisé par une atmosphère chaude et humide (environ 80 % d'humidité), à basse altitude, ne dépassant pas 300 mètres, les climats marins étant particulièrement propices (Bouzaa, F., et al.2022).

L'arbre exige des sols bien drainés, notamment sur les pentes basses des collines, car l'eau stagnante nuit à ses racines. Les sols très argileux ou trop sableux sont défavorables. Les conditions optimales correspondent à des sols volcaniques ou sédimentaires situés en bord de mer, avec une pluviométrie abondante et bien répartie tout au long de l'année, ainsi qu'un ensoleillement plus marqué au moment de l'apparition des inflorescences. (Barour, R., & Derguini, A. 2022).

5.2. La récoltés et poste récolte

Le stade optimal de récolte est identifié par la coloration rosée du bouton floral. Une cueillette précoce entraîne une faible teneur en huile essentielle, tandis qu'une récolte tardive correspond à des fleurs déjà épanouies et dépourvues de pétales. La maturation n'étant pas simultanée les branches inférieures fleurissant avant les supérieures plusieurs passages sont nécessaires pour un même arbre (Falia et El Ghazi ,2023)

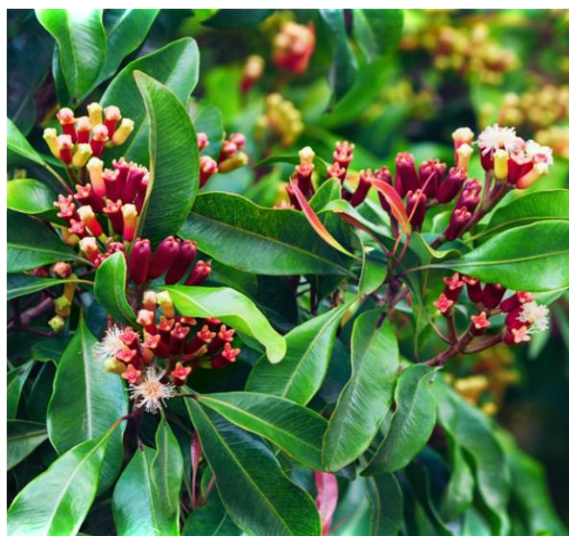


Figure 4: Clous rose récoltés avant l'épanouissement de la fleur (Bouzaa, F., et al.2022)

Le giroflier commence à produire des clous vers la cinquième année. La récolte devient réellement exploitable aux alentours de la huitième année, mais la pleine capacité productive n'est atteinte qu'à environ vingt ans. L'arbre peut rester productif pendant 75 à 80 ans, les sujets âgés pouvant fournir jusqu'à 50 kg de clous frais par an.

La production demeure toutefois irrégulière selon les années, avec un cycle marqué par un pic tous les cinq ans. Ce phénomène est moins perceptible dans les plantations où les arbres ont été installés à des périodes différentes (Bouzaa, F., *et al.*2022).



Figure 5: Boutons floraux récolté
Giroflier (Chagra, 2019)



Figure 6 : Poudre de clou de girofle
Giroflier (Chagra, 2019).

La récolte des clous de girofle est réalisée manuellement, suivie d'une opération de tri consistant à séparer les clous des griffes. Les clous, encore au stade rosé, sont ensuite soumis à un processus de séchage afin d'assurer leur conservation. À ce stade, une réduction de masse est observée, où 35 kg de clous frais permettent d'obtenir environ 10 kg de clous secs. Ces derniers sont alors aptes à être utilisés pour l'étape de distillation. Il y a **trois étapes succèdent à la récolte (post-récolte)** :

➤ Le griffage

Le jour même de la récolte, les clous sont soigneusement séparés des griffes, comme présenté dans la **figure 07** (Tahar, A., & Tassadiat, S. 2020).



Figure 7: Griffage des clous après la récolte (Tahar, A., & Tassadiat, S. 2020).

➤ Le séchage

Les griffes et les clous sont soumis à un séchage distinct, réalisé au soleil sur des nattes végétales pendant une durée de 2 à 3 jours, afin d'en assurer une meilleure conservation. Ce procédé permet d'inhiber l'activité enzymatique post-récolte, de prévenir la dégradation de certains constituants, et de limiter la prolifération microbienne **Figure 08** (Tahar, A., & Tassadiat, S. 2020).



Figure 8: séchage des clous sur des nattes à Madagascar (Tahar, A., & Tassadiat, S. 2020).

➤ Le vannage

Cette étape consiste à éliminer les dernières impuretés à l'aide d'un van, qui est un panier perforé de petits orifices. Par ailleurs, les feuilles peuvent être récoltées tout au long de l'année. Toutefois, lorsqu'un arbre est destiné à la production de clous, ses feuilles ne sont pas prélevées. On distingue ainsi des arbres dédiés à la production de clous et d'autres réservés à la récolte des feuilles.

- Le stockage des clous et des griffes nécessite un séchage préalable afin d'assurer leur bonne conservation. Cette étape permet également de rendre possible la commercialisation de la récolte tout au long de l'année. Concernant les feuilles, celles-ci sont généralement distillées immédiatement après leur récolte, sans passer par une phase de stockage prolongée (Tahar, A., & Tassadiat, S. 2020).

6. Domaines d'utilisations de clou de girofle

6.1. Domaine thérapeutique

Le clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) est traditionnellement considéré comme une plante aux multiples propriétés thérapeutiques. Il est réputé pour son action stimulante sur l'organisme, favorisant la vitalité ainsi que l'élimination des toxines, tout en contribuant au renforcement des systèmes immunitaire et lymphatique. Selon la diététique traditionnelle chinoise, ses boutons floraux, caractérisés par une teneur élevée en huile essentielle aux propriétés antiseptiques et en vitamine C, sont utilisés pour prévenir et soulager diverses affections hivernales, notamment la toux et les refroidissements. Par ailleurs, le clou de girofle et son huile essentielle présentent un intérêt dans la prise en charge des troubles digestifs. En effet, ils peuvent être employés en cas de digestion difficile grâce à leur capacité à stimuler la vidange gastrique, un effet comparable à celui observé avec le métoclopramide (Falia, N. I., et El Ghazi, A. 2023).

En domaine dentaire le clou de girofle occupe une place de choix en médecine traditionnelle depuis l'Antiquité, initialement reconnu pour ses propriétés thérapeutiques dans le traitement des maux des dents et des infections dentaires connexes. Utilisé comme analgésique local, il est aujourd'hui largement employé en dentisterie grâce à ses composés actifs dans le traitement des maladies buccales.

Cela est attribué à ses propriétés antibactériennes et à son effet anesthésiant local. Cet effet provient de la présence de deux composés actifs dans le clou de girofle : **l'eugénol** et **le bêta-caryophylline**, principalement responsables de l'anesthésie locale des gencives et des dents. Le clou de girofle a également un effet significatif sur la croissance et le développement de la bactérie *Streptococcus mutans*, responsable des caries dentaires, ce qui explique son utilisation fréquente dans les traitements dentaires (El Kahkahi et al., 2025).

6.2. Domaine cosmétique et parfumerie

L'arôme caractéristique des clous de girofle est largement exploité en parfumerie. Il confère aux compositions olfactives une note orientale, boisée et épicée, utilisée aussi bien dans les parfums féminins que masculins, et plus fréquemment dans les fragrances mixtes. Ces compositions sont généralement associées à des accords chauds, classiques et relativement opulents. Chez la femme, elles évoquent des notions de sensualité et de sophistication, tandis que chez l'homme, elles sont plutôt associées à l'élégance. Ces huiles essentielles sont aussi utilisées comme conservateurs et désinfectants, et leur parfum est conféré aux cosmétiques grâce à leurs composés volatils (Rached et Ramdani, 2022).

6.3. Domaine alimentaire

Le clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) est largement utilisé dans l'industrie alimentaire en raison de son arôme intense et de ses propriétés technologiques. Il constitue un ingrédient traditionnel dans la préparation de nombreuses denrées alimentaires telles que les produits de boulangerie, les confiseries, les marinades, les sauces, les boissons et certains produits carnés. Grâce à sa richesse en composés phénoliques, notamment l'eugénol, il présente également des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes qui contribuent à la conservation des aliments en limitant l'oxydation lipidique et le développement de microorganismes indésirables. De ce fait, le clou de girofle et son huile essentielle suscitent un intérêt croissant comme conservateurs naturels dans les formulations alimentaires, répondant à la demande actuelle pour des additifs d'origine naturelle (Haro-González, J.2021).

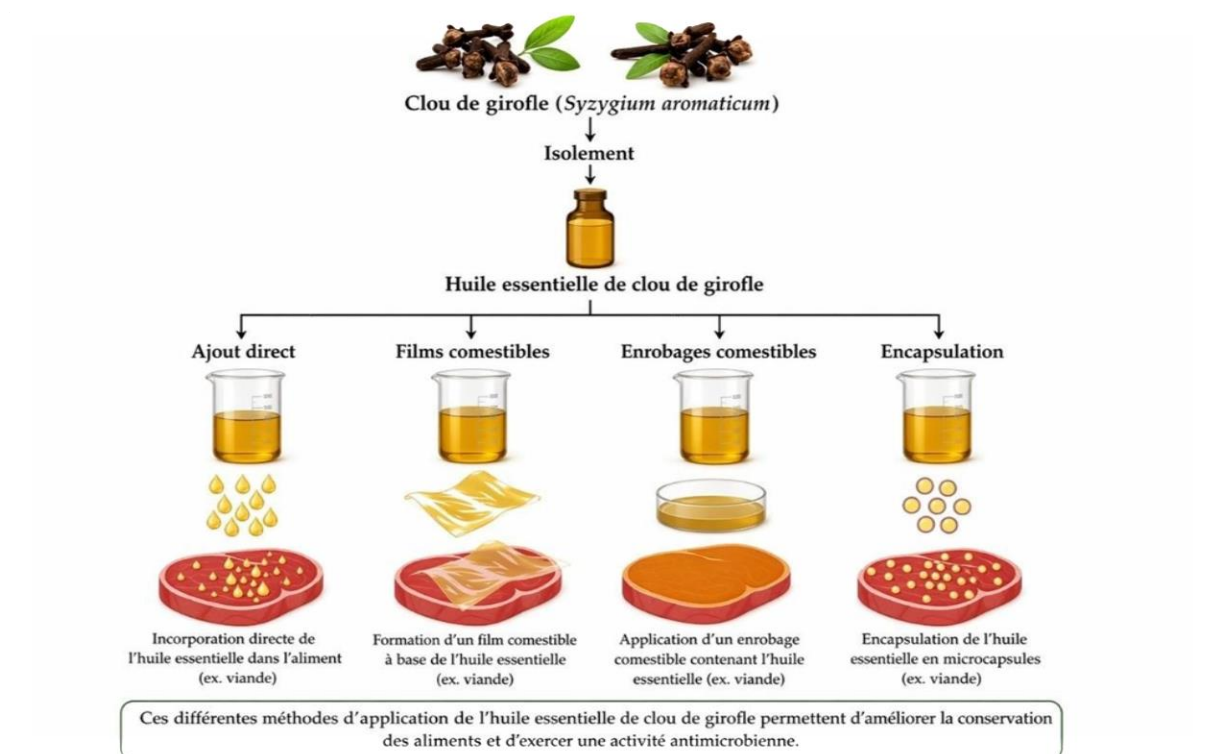


Figure 9: Voies d'application de l'huile essentielle de clou de girofle dans la viande et les produits carnés (Valarezo et al., 2025)

7. Toxicité du clou de girofle

Malgré ses nombreuses propriétés pharmacologiques, le clou de girofle n'est pas exempt d'effets indésirables lorsqu'il est consommé de manière excessive ou inappropriée. Son principal composé actif, l'eugénol, peut devenir toxique à fortes doses et provoquer diverses réactions indésirables. Chez la femme enceinte, l'utilisation de quantités importantes de clou de girofle est déconseillée par mesure de précaution, en raison du manque de données suffisantes garantissant son innocuité durant la grossesse (Zhang, H et al.2022).

Le clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) présente des effets toxiques malgré ses nombreuses propriétés thérapeutiques. Sa toxicité est principalement liée à l'eugénol, qui constitue le composant principal de son huile essentielle. Une consommation excessive ou prolongée peut entraîner une hépatotoxicité, une insuffisance rénale ainsi qu'une toxicité pulmonaire. Ces effets toxiques sont liés à la formation de composés réactifs appelés méthodes de quinone, capables de provoquer un stress oxydatif, une diminution du glutathion ainsi que des altérations cellulaires au

niveau des protéines et de l'ADN. Ces effets peuvent provoquer des dommages cellulaires et tissulaires, notamment au du foie et des poumons. **(Belahcen et al ,2021)**

Par ailleurs, l'eugénol possède une action irritante sur les muqueuses digestives lorsqu'il est administré à des concentrations élevées. Cette irritation peut accentuer les symptômes chez les personnes souffrant d'affections gastro-intestinales préexistantes, notamment les ulcères gastriques et le syndrome du côlon irritable. En cas de surdosage, plusieurs manifestations digestives peuvent apparaître, telles que des nausées, des vomissements, des douleurs abdominales et des diarrhées. Dans les situations les plus graves, une altération de la muqueuse digestive ainsi qu'une perturbation des mécanismes de coagulation sanguine peuvent favoriser la survenue d'hémorragies digestives importantes. Ainsi, bien que le clou de girofle soit considéré comme une plante médicinale d'intérêt, son utilisation doit respecter les doses recommandées afin de prévenir tout risque de toxicité **(Batiha, G, et al., 2020)**.



1. Définition des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des produits obtenus à partir de matières premières naturelles d'origine végétale. Elles sont généralement extraites par **entraînement à la vapeur d'eau**, par **procédés mécaniques appliqués à l'épicarpe des fruits d'agrumes**, ou encore par **distillation sèche**. Après l'extraction, la phase huileuse est séparée de la phase aqueuse éventuelle au moyen de procédés physiques (Asma, B. 2023).

2. Localisation des huiles essentielle de clou de girofle dans la plante

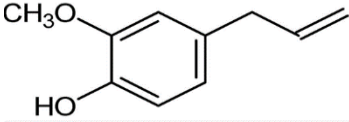
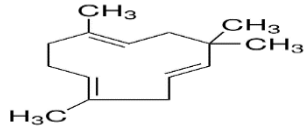
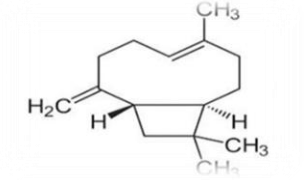
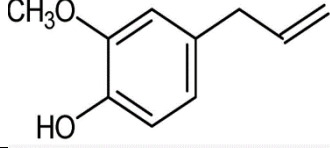
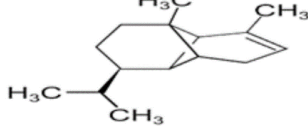
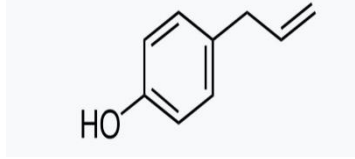
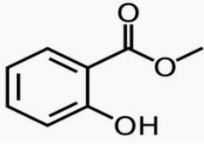
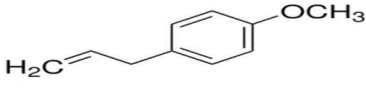
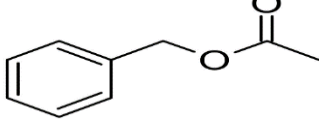
Les huiles essentielles sont produites par des glandes sécrétrices réparties dans la quasi-totalité des organes végétaux. Leur biosynthèse s'effectue au niveau du cytoplasme de cellules spécialisées, où elles s'accumulent sous forme de fines gouttelettes, conformément au comportement caractéristique des composés lipophiles. Par ailleurs, la production et le stockage de ces métabolites volatils sont étroitement liés à l'existence de structures histologiques spécialisées, généralement localisées à la surface des végétaux ou à proximité immédiate de celle-ci (Haddadi, K., et Rabhi, H. 2022).

Chez *Syzygium aromaticum*, l'huile essentielle est produite et accumulée dans des structures sécrétrices spécialisées appelées cavités sécrétrices. Ces cavités sont réparties dans plusieurs organes de la plante, notamment les feuilles, les boutons floraux, les fruits, l'écorce et les racines. Les boutons floraux constituent la principale source d'huile essentielle et présentent généralement une teneur plus élevée que les autres parties végétales. Les composés volatils, principalement l'eugénol, y sont synthétisés puis stockés jusqu'à leur extraction par distillation (Bruneton, 2016).

3. Les composition chimique de huiles essentielles de clou de girofle

Toutes les plantes ont leur propre composition chimique. Le clou de girofle issu de *Syzygium aromaticum* contient une proportion élevée d'huile essentielle, estimée entre 15 et 20 % (environ 16 %), en plus de tanins, d'une faible quantité d'amidon et de matières fibreuses cellulosiques. Le pédoncule floral (griffes) renferme 5 à 6 % d'huile essentielle, tandis que les feuilles en contiennent 3 à 4 %. L'huile essentielle de girofle est principalement constituée d'eugénol (70 à 85 %) et renferme également d'autres composés terpéniques, notamment environ 10 % de caryophyllène, ainsi que des composés aliphatiques, aromatiques et hétérocycliques (Pandey et al., 2023)

Tableau 2: structure chimique des composantes de l'huile essentielle de clou de girofle par HPLC (Pandey et al., 2023)

Constituants	Pourcentage	Structure chimique
• <i>Eugénol</i>	74.28 %	
• <i>α-Humulène</i>	3.1%	
• <i>β-caryophyllène</i>	24.8 %	
• <i>Acétate d'eugénol</i>	2.7%	
• <i>α-copaène</i>	0.17 %	
• <i>Chavicol</i>	0.08 %	
• <i>Méthyle -salicylate</i>	0.20 %	
• <i>4-allylanisole</i>	0.13 %	
• <i>Acétate de benzyle</i>	0.07 %	

Les constituants de huiles essentielles de clou girofle se répartissent en deux grandes classes selon leur voie de biosynthèse : **les terpénoïdes** et **les phénylpropanoïdes** (Barour, R., & Derguini, A. 2022).

3.1. Les composés terpéniques

Les composés terpéniques, majoritaires dans la plupart des huiles essentielles, sont des hydrocarbures présentant soit une structure cyclique, soit une chaîne ouverte. Ils sont constitués par l'assemblage d'unités isopréniques à cinq atomes de carbone (C_5H_8) et regroupent différentes classes telles que les **monoterpènes** ($C_{10}H_{16}$), les **sesquiterpènes** ($C_{15}H_{24}$), les **diterpènes** ($C_{20}H_{32}$) et les **triterpènes** ($C_{30}H_{48}$).

Ces composés partagent une même origine métabolique. Leur formule générale s'exprime sous la forme $(C_5H_8)_n$, où n représente le nombre d'unités isopréniques, l'isoprène constituant ainsi l'unité structurale de base (Bouzaa, F., et al.2022).

3.1.1. Les monoterpènes

Les monoterpènes sont des hydrocarbures de nature aliphatique, pouvant être saturés ou insaturés. Ils se présentent sous différentes structures, soit acycliques, tels que le Mycènes et l'ocymène, soit cycliques, comme le pinène et le camphène. Certains peuvent également posséder un caractère aromatique, à l'exemple du p-cymène. Par ailleurs, ces composés peuvent être associés à des dérivés oxygénés résultant de leur fonctionnalisation (Amal, T. 2020).

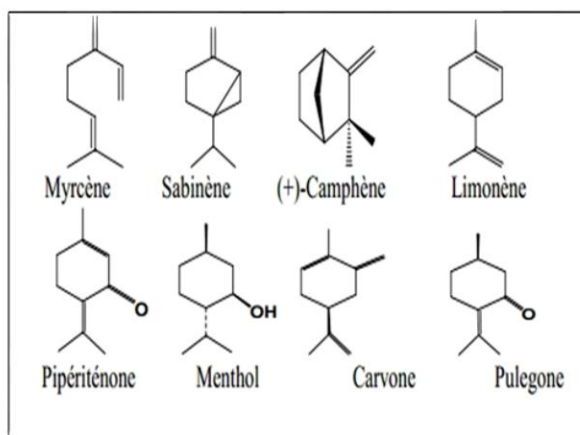


Figure 10: Structure chimique de quelques Monoterpène (Amal, T . 2020)

3.1.2. Les sesquiterpènes :

Les sesquiterpènes sont des terpènes constitués de 15 atomes de carbone ($C_{15}H_{24}$), le préfixe « sesqui- » indiquant un rapport de 1,5 par rapport aux monoterpènes ($C_{10}H_{16}$), tandis que les diterpènes possèdent une structure en $C_{20}H_{32}$. Le suffixe « -ène » traduit la présence de doubles liaisons carbone-carbone au sein de ces molécules (Amal, T. 2020).

Les sesquiterpènes présentent des propriétés biologiques notables, notamment des effets anti-inflammatoires et apaisants. Leur mécanisme d'action repose, entre autres, sur une stabilisation de la membrane des cellules basophiles, ce qui contribue à moduler la libération d'histamine et à atténuer ainsi les manifestations inflammatoires telles que les démangeaisons et les irritations (Amal, T. 2020).

Le **β -caryophyllène** constitue un exemple représentatif de sesquiterpène présent dans l'huile essentielle de giroflier, avec une teneur comprise entre 5 et 14 %. (Barour, R., & Derguini, A. (2022).

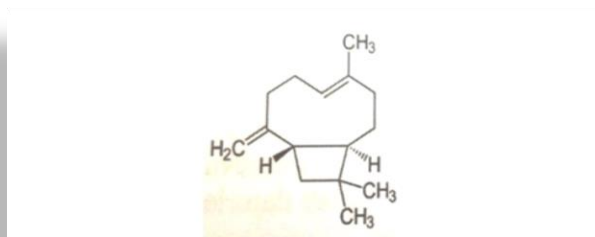


Figure 11: Formule de la molécule de β -caryophyllène (Barour, R., et Derguini, A. 2022).

L'huile essentielle de giroflier renferme également d'autres sesquiterpènes, notamment l' **α -humulène** (< 1 %), ainsi que des composés tels que le camphène ($\approx$ 1 %) et le γ -pinène (< 1 %) (Barour, R., & Derguini, A. (2022).

3.1.3. Les composés aromatiques :

3.1.3.1. Les Phénylpropanoïdes :

Les composés aromatiques sont des substances oxygénées et volatiles issues du noyau phénylpropane. Cette classe regroupe plusieurs molécules odorantes largement connues, telles que la vanilline, l'eugénol, l'anéthole et l'estragole, ainsi que de nombreux autres composés. Ils constituent des éléments caractéristiques de certaines huiles essentielles, notamment celles du clou de girofle, de la vanille, de la cannelle, du basilic et de l'estragon, entre autres. **(Chaouch et al., 2023).**

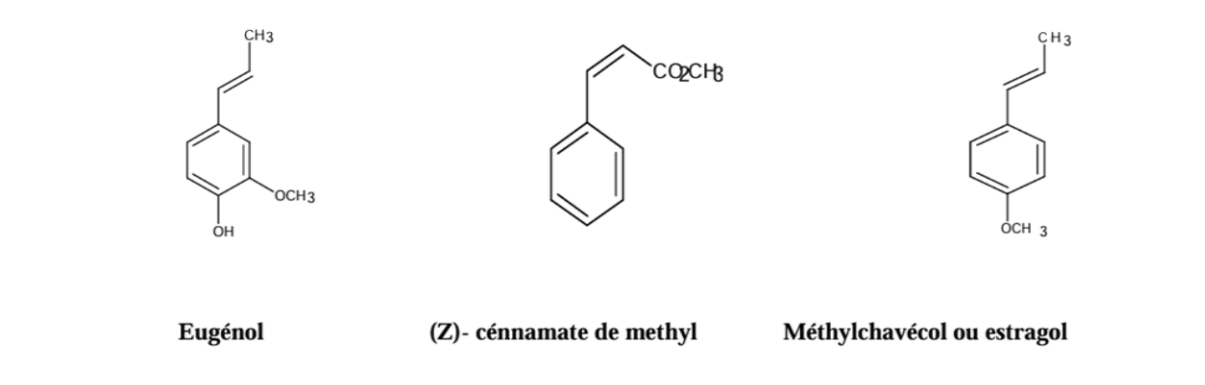


Figure 12: Structure de quelques dérivées du phénylpropane
(Chaouch et al., 2023).

3.1.3.2. Autres composés

Un nombre important de composés volatils provient de la dégradation de terpènes initialement non volatils. Ces substances, d'origine diverse et de faible masse moléculaire, sont entraînées lors du processus d'hydrodistillation. Elles correspondent principalement à des hydrocarbures aliphatiques, à chaîne linéaire ou ramifiée, portant différentes fonctions chimiques. **(Rezoug, S., et Bourihane, A. 2021).**

Cette catégorie regroupe divers composés issus de voies métaboliques ou de processus de dégradation variés, notamment les produits résultant de la dégradation des acides gras et des terpènes. Elle comprend également des homologues des phénylpropanes, des composés contenant de l'azote ou du soufre, des hydrocarbures saturés ainsi que des hétérosides renfermant des substances volatiles (Bouzaa, F., *et al.*2022).

4. Propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle de clou de girofle

L'eugénol de clou de girofle présente une température de fusion de $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ et une température d'ébullition de $253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sa densité est de $1,06$ à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Concernant sa solubilité, il est faiblement soluble dans l'eau et insoluble dans l'eau salée. En revanche, il est fortement soluble dans l'éthanol et le dichlorométhane, et présente une légère solubilité dans le chloroforme (Mekhloufi, L et Tabchiche, R .2024).

Sur le plan chimique, l'huile essentielle de clou de girofle présente initialement un caractère relativement neutre, mais peut développer progressivement une légère acidité au cours du stockage. Sous l'effet de la lumière et de l'oxygène, ses constituants, notamment l'eugénol, peuvent subir des réactions d'oxydation entraînant une modification de l'odeur, une augmentation du point d'ébullition ainsi qu'une diminution de la solubilité. Comme la plupart des huiles essentielles, elle peut également réagir avec certains halogènes tels que le chlore, le brome et l'iode avec dégagement de chaleur. Enfin, certains de ses composés peuvent se combiner à l'eau pour former des hydrates (Ouidir, S. 2018).

5. Les méthodes d'extraction de HE

Il existe plusieurs méthodes d'extraction qui sont choisies en fonction de la plante et de la fragilité de ses composants. Pour extraire les HE

5.1. Hydrodistillation

L'une des techniques les plus élémentaires pour obtenir des huiles essentielles est l'hydrodistillation (Figure 04). Cette méthode consiste à plonger le matériau végétal dans de l'eau, puis à le soumettre à une ébullition sous pression atmosphérique. L'accroissement de la température cause la dégradation des structures cellulaires des plantes, favorisant par conséquent la libération de leurs éléments odorants.

Durant ce procédé, l'eau en ébullition pénètre les cellules et dissout partiellement les composés volatils de l'huile essentielle. Par la suite, la phase liquide chargée de molécules aromatiques se déplace à travers les tissus des plantes vers l'extérieur, où ces composés sont transportés sous forme de vapeur. Ils se combinent avec la vapeur d'eau pour créer un mélange azéotropique. A la température d'ébullition, la somme des pressions de vapeur des constituants volatils et de l'eau atteint la pression atmosphérique, ce qui permet la vaporisation des huiles essentielles à une température voisine de celle de l'eau, bien que leurs points d'ébullition intrinsèques soient généralement compris entre 200 et 300 °C. Le mélange vapeur est ensuite condensé par refroidissement, conduisant à la formation de deux phases distinctes : une phase aqueuse et une phase organique correspondant à l'huile essentielle (Kara, M. 2023).

Toutefois, le contact direct entre l'eau et le matériel végétal peut induire des phénomènes d'hydrolyse. Par ailleurs, bien que la distillation (hydrodistillation ou distillation à la vapeur) soit la méthode de référence pour l'extraction des huiles essentielles, l'exposition prolongée à la chaleur peut entraîner des altérations chimiques et la dégradation des composés thermosensibles. Ainsi, l'huile essentielle obtenue peut présenter une composition différente de celle de l'essence initiale, notamment lorsque la durée de distillation est prolongée environ 3 heures (Kara, M. 2023).

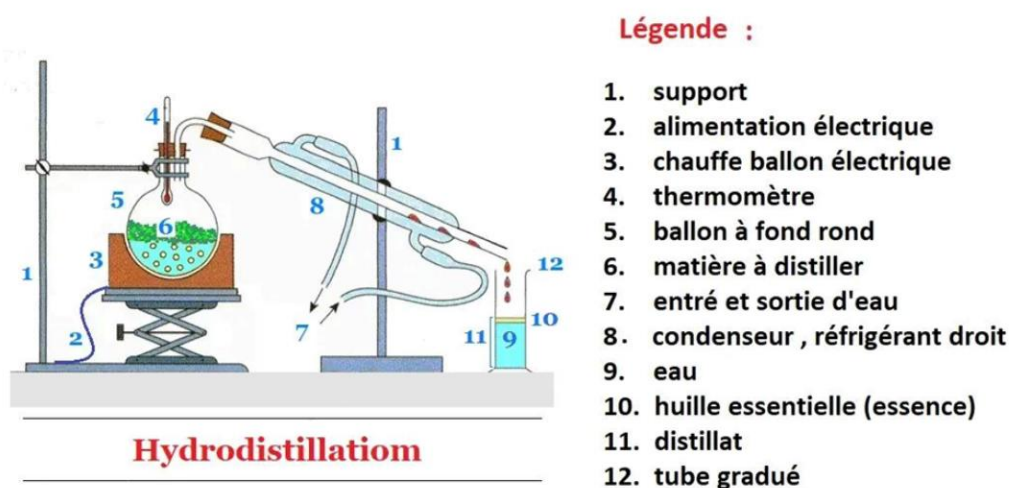


Figure 13: Principe schématisé d'hydrodistillation par Clevenger
(Boukhatem, M. N. 2019).

6. D'autre méthodes d'extraction

6.1. Chromatographie en phase gazeuse couplé au spectromètre de masse (GC-MS)

La technique GC-MS est utilisée pour l'analyse des composés chimiques volatils et de leur volatilité. Elle consiste à collecter les composants analysés par GC et MS. La GC fonctionne en séparant les composés actifs selon leur volatilité et leur temps de rétention. L'identification de ces composés repose sur leur masse, leur structure et leur composition. Cette technique est considérée comme l'une des méthodes les plus rapides et les plus fiables pour l'analyse précise des extraits chimiques et des huiles essentielles (Wadi, M.A. 2025).

6.2. La chromatographie liquide à haute performance (HPLC)

La chromatographie liquide à haute performance (HPLC) est une technique utilisée pour la séparation et l'analyse des composants d'un échantillon liquide. Elle consiste à injecter de petites quantités de l'échantillon dans une colonne contenant des particules fines constituant la phase stationnaire. Les composés de l'échantillon sont entraînés à travers la colonne par un liquide, appelé phase mobile, poussé sous haute pression par une pompe. La séparation des composants se fait selon leurs interactions avec la phase stationnaire. Ils sont ensuite détectés à la sortie de la colonne par un détecteur qui mesure leur quantité (Ali, A.H. 2022).

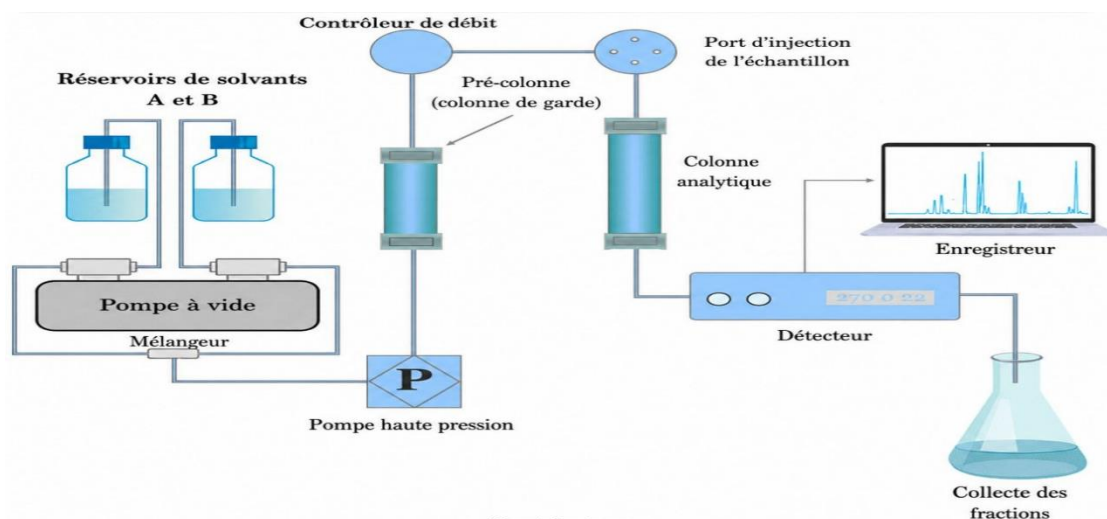


Figure 14: composant de HPLC (Ali, A.H. 2022).

7. Les activités biologiques de l'huile essentielle de clou de girofle

L'huile essentielle de clou de girofle a de très nombreuses propriétés dont voici les principales sont :

7.1 Activités antioxydante de huile essentielle de clou de girofle

L'huile essentielle de clou de girofle est largement valorisée dans le domaine de la conservation alimentaire grâce à son important pouvoir antioxydant. Cette activité est principalement attribuée à l'eugénol, son constituant majoritaire, reconnu pour sa forte capacité à neutraliser les espèces réactives impliquées dans le stress oxydatif. L'eugénol agit notamment comme inhibiteur de la monoamine oxydase (**MAO**) et présente des propriétés neuroprotectrices. Son mécanisme d'action repose sur le piégeage des espèces réactives de l'oxygène (**ROS**), l'inhibition de leur formation ainsi que la prévention de la production des espèces réactives de l'azote (**ERN**). De plus, il contribue à la protection de l'**ADN** et des protéines contre les altérations oxydatives. Grâce à ces différentes actions, l'eugénol favorise l'élimination des molécules endommagées et participe à la prévention des mutations cellulaires susceptibles d'évoluer vers des processus cancéreux (Falia, N. I., et El Ghazi, A. 2023).

7.2. Activité antibactérienne

Les clous de girofle sont composés de 70 à 90 % d'eugénol. L'eugénol est un composé aux propriétés antiseptiques et antibactériennes. Les clous de girofle contiennent également de 9 à 15 % d'acétate d'eugénol, reconnu pour son activité antibactérienne (Kahkahi et al., 2025). Des études confirment que les solutions à forte concentration d'eugénol possèdent des propriétés bactéricides, grâce à la présence du groupe phénol (Doppler et al., 2020). L'eugénol provoque la lyse bactérienne chez un large éventail de souches et est particulièrement efficace contre les bactéries Gram négatif. Le groupe hydroxyle du phénol interagit avec la membrane cellulaire bactérienne, entraînant une fuite du contenu cytoplasmique et induisant des modifications structurales des acides gras et des phospholipides, ainsi qu'une perturbation de la synthèse de l'ADN. À l'instar des composés phénoliques, les terpènes ciblent également la membrane cellulaire, la pénétrant par diffusion et provoquant un gonflement cellulaire ainsi qu'une inhibition des fonctions des enzymes respiratoires. Chez *Escherichia coli* (*E. coli*), la présence d'eugénol dans le cytoplasme entraîne une augmentation de la concentration en acides gras saturés et une diminution de celle en acides gras insaturés, induisant des modifications importantes de la structure

cellulaire de cette bactérie. De plus, l'eugénol inhibe les fonctions de plusieurs protéines et composants bactériens essentiels, notamment des facteurs de virulence tels que la pyocine, la violacine et l'élastase (**Boasida, 2021**).

L'eugénol, son principal constituant, interagit avec le récepteur Las R par des interactions hydrophobes et des liaisons hydrogène, ce qui contribue à bloquer la communication bactérienne. L'huile essentielle de *S. aromaticum* a également montré une activité contre *Bartonella henselae* et une efficacité notable dans l'élimination d'*Escherichia coli* en phase stationnaire à de faibles concentrations. En outre, son incorporation dans des films ou revêtements comestibles à base de pectine d'agrumes constitue une approche prometteuse pour le développement d'emballages alimentaires à propriétés antimicrobiennes (**Goetz, P, 2021**).

7.3. Activité antifongique

Le giroflier présente des propriétés antifongiques notables, efficaces contre diverses formes de mycoses, notamment cutanées, orales et unguéales. L'un des principaux avantages de l'utilisation de l'huile essentielle de clou de girofle dans le traitement des infections fongiques réside dans l'absence rapportée de souches résistantes parmi les levures et les dermatophytes, contrairement à certains antifongiques conventionnels tels que le *fluconazole* ou l'*amphotéricine B*. **Les travaux de Pinto E, Vale-Silva L, Cavaleiro C et al 2011**. Mettent en évidence le potentiel de cette huile essentielle en tant qu'alternative thérapeutique dans la prise en charge des infections fongiques chez l'Homme. Par ailleurs, l'huile essentielle de clou de girofle se caractérise par un large spectre d'action, englobant non seulement les dermatophytes et les espèces du genre *Aspergillus*, mais également différentes espèces de *Candida* telles que *Candida albicans*, *Candida tropicalis* et *Candida parapsilosis* (**Momo, et al. 2024**). Elle se montre également active vis-à-vis de certaines espèces résistantes au fluconazole, notamment *Candida krusei*, *Candida glabrata*, ainsi que certaines souches isolées de *Candida*. Ainsi, l'huile essentielle de clou de girofle peut être envisagée comme une option thérapeutique dans le traitement des candidoses orales et des onychomycoses. (**Barbelet, S. 2015**).

7.4. Activité anti-inflammatoire et immunomodulatrice

L'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) possède des propriétés immunomodulatrices et anti-inflammatoires remarquables. Elle contribue à la régulation de la réponse immunitaire en stimulant certains mécanismes de l'immunité humorale tout en modulant les réactions inflammatoires excessives. L'eugénol, principal constituant bioactif de cette huile essentielle, joue un rôle majeur dans ces effets en intervenant sur plusieurs voies de signalisation cellulaire impliquées dans l'inflammation, notamment celles associées au facteur nucléaire NF- κ B et aux protéines kinases activées par les mitogènes (MAPK). Il agit également en réduisant la production de médiateurs pro-inflammatoires, en limitant la synthèse de l'oxyde nitrique et en renforçant les systèmes de défense antioxydants endogènes **(Batiha et al., 2020)**.

Par ailleurs, l'huile essentielle de clou de girofle diminue l'expression de plusieurs biomarqueurs inflammatoires ainsi que de molécules impliquées dans le remodelage tissulaire. Elle participe également à la modulation de l'expression génique de nombreuses voies cellulaires associées à l'inflammation et aux processus de réparation tissulaire. De plus, des extraits de clou de girofle ont démontré leur capacité à inhiber la production de cytokines pro-inflammatoires, notamment l'IL-1 β et l'IL-6, contribuant ainsi à l'atténuation de la réponse inflammatoire **(Rasool, et al. 2025)**.

Plusieurs études ont également mis en évidence l'effet immunostimulant de l'huile essentielle, caractérisé par une amélioration des réponses immunitaires cellulaires et humores dans des modèles expérimentaux d'immunodépression. Enfin, l'eugénol et l'huile essentielle de clou de girofle présentent des propriétés analgésiques, antiœdémateuses et antipyrétiques, suggérant leur intérêt potentiel dans la prise en charge de diverses affections inflammatoires, notamment les maladies articulaires telles que l'arthrose **(Liu, X, et al.2022)**.

7.5. Activité antivirale

Plusieurs études ont mis en évidence le potentiel antiviral de *Syzygium aromaticum*, des travaux expérimentaux ont montré que son extrait est capable de réduire la production du cytomégalo virus murin au niveau pulmonaire chez des souris infectées et traitées. Ces résultats suggèrent un intérêt potentiel du clou de girofle dans la prévention des infections à cytomégalo virus, notamment chez les sujets immunodéprimés **(Debiagi, et al.2020)**.

Par ailleurs, une activité inhibitrice marquée contre le virus de l'herpès simplex de type 1 (HSV-1) a été rapportée. L'extrait de clou de girofle a démontré une efficacité antivirale notable, comparable à celle de l'acyclovir, un antiviral de référence utilisé dans la prise en charge des infections herpétiques. Cette activité serait principalement attribuée à la présence de composés phénoliques, en particulier l'eugénol, capables d'interférer avec différentes étapes du cycle de réplication virale et de limiter la propagation de l'infection **(Khelid, S et Layachi, M.2020)**.

7.6. Autre activité biologique

En plus de ses propriétés pharmacologiques précédemment décrites, *Syzygium aromaticum* présente diverses activités biologiques affectant la fonction reproductive, la protection gastrique ainsi que l'absorption transdermique de certains médicaments. Des études expérimentales ont montré que l'extrait de clou de girofle exerce un effet modulateur sur la fonction reproductive masculine. À faibles concentrations, il favorise l'activité endocrinienne testiculaire en stimulant la production de testostérone et en améliorant plusieurs paramètres liés à la fertilité, notamment la qualité des spermatozoïdes et l'activité sécrétoire des organes reproducteurs accessoires. Cependant, à des concentrations plus élevées, un effet inhibiteur sur la fonction testiculaire a été observé. Selon certains auteurs, cette action pourrait être liée à une modulation du système endocrinien reproducteur impliquant les neurones sécrétant l'hormone de libération des gonadotrophines (GnRH). Par ailleurs, l'extrait de clou de girofle a démontré un effet gastroprotecteur notable contre les lésions de la muqueuse gastrique induites expérimentalement. Ce potentiel protecteur serait attribué à ses propriétés antioxydantes, à la stimulation de la synthèse des prostaglandines gastroprotectrices ainsi qu'à la réduction de l'inflammation et de la destruction des cellules épithéliales de la muqueuse gastrique **(Taghipour, Z., et al 2023)**.

Chapitre II : Huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*)

L'huile essentielle de clou de girofle possède également des propriétés favorisant la perméation transdermique, des études ont mis en évidence sa capacité à améliorer l'absorption cutanée de certains principes actifs, ce qui en fait un potentiel agent promoteur de pénétration dans les systèmes d'administration transdermique des médicaments. Enfin, l'huile essentielle de *S. aromaticum* a montré une activité anesthésique chez certaines espèces de poissons, un effet qui pourrait être associé à une interaction avec les récepteurs glutamatergiques du système nerveux (Wang, S., *et al.*2020)



I. Objectif du travail

Le travail expérimental relatif à ce mémoire de Master a été effectué au niveau du laboratoire pédagogique de Biochimie de la Faculté des Sciences exacte et science de la Nature et de la Vie, Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi -Tébessa.

La présente étude vise particulièrement à :

- Réaliser l'extraction de l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* (clous de girofle) par la méthode d'hydrodistillation type Clevenger.
- Calculer le rendement de l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum*.
- Effectuer une étude des propriétés physicochimiques de l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum*.
- Evaluer les polyphénols de cette huile essentielle à différentes concentrations de l'acide gallique.
- Evaluer l'activité antioxydante de l'HE de clou de girofle par la méthode DPPH.

II. Matériel et méthodes

1. Matériel

1.1. Le matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé comme matière première est représenté par le clou de girofle, une plante disponible dans le marché tout au long de l'année, pour son importance dans la tradition culinaire algérienne ainsi que son utilisation dans la médecine traditionnelle. Il a été fourni par un Herboriste dans la ville de **Tébessa** durant le mois de **Février (Figure 16)**.



Figure 15: Clou de girofle
(Photo personnelle)

2. Méthode

2.1. Préparation de la plante étudiée

Le matériel végétal est moulu dans un moulin électrique (**Photo 17**), et tamisé jusqu'à l'obtention d'une poudre très fine de couleur marron. Enfin conservé dans une boîte hermétique (**Figure 18**).



Figure 17: Broyage de clou de girofle par moulin électrique
(Photo personnelle)

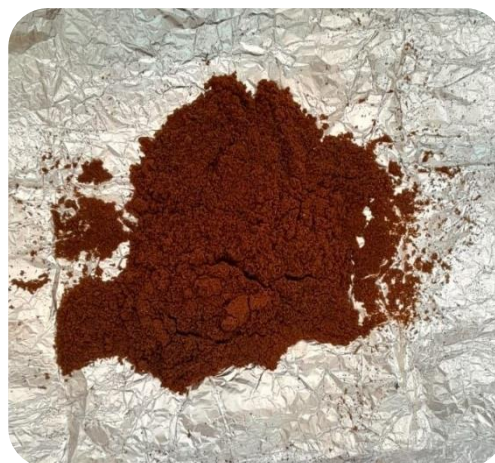


Figure 18: la poudre de clou de girofle
(Photo personnelle)

2.1.1. Extraction de l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* par hydrodistillation

2.1.1.1. Principe d'extraction de HE

Le principe consiste à immerger la matière première (la plante dont on souhaite extraire l'HE dans un bain d'eau et l'ensemble est porté à ébullition. Les cellules végétales éclatent et libèrent les molécules odorantes, lesquelles sont alors entraînées par la vapeur d'eau créée. Elles passent par un réfrigérant à eau où elles sont condensées, puis sont récupérées dans un récipient (Makhloof et Tabchiche.2024)



Figure 16: hydro-distillateur de type clevenger (photo personnelle)

2.1.1.2. Mode opératoire

- L'extraction de l'huile essentielle des clous de girofle (*Syzygium aromaticum*) a été réalisée par hydrodistillation pendant 2 heures et 30 minutes, à l'aide d'un appareil de type Clevenger.
- Avant l'extraction, le dispositif d'hydrodistillation a été soigneusement rincé à l'acétone puis à l'eau distillée afin d'éviter toute contamination de l'huile essentielle obtenue.
- Dans un ballon de 2 L, une quantité de 100 g de clous de girofle broyés a été mise en contact direct avec 1 L d'eau distillée.
- Le mélange a ensuite été porté à ébullition à l'aide d'un chauffe-ballon. Sous l'effet de la chaleur, les composés volatils ont été entraînés par la vapeur d'eau puis condensés, permettant l'accumulation de l'huile essentielle dans l'ampoule graduée du dispositif, recouverte de papier aluminium afin de protéger l'huile de la lumière.
- L'huile essentielle obtenue a été séparée de la phase aqueuse (hydrolat) par différence de densité, puis conservée dans un flacon opaque à basse température jusqu'à son utilisation.

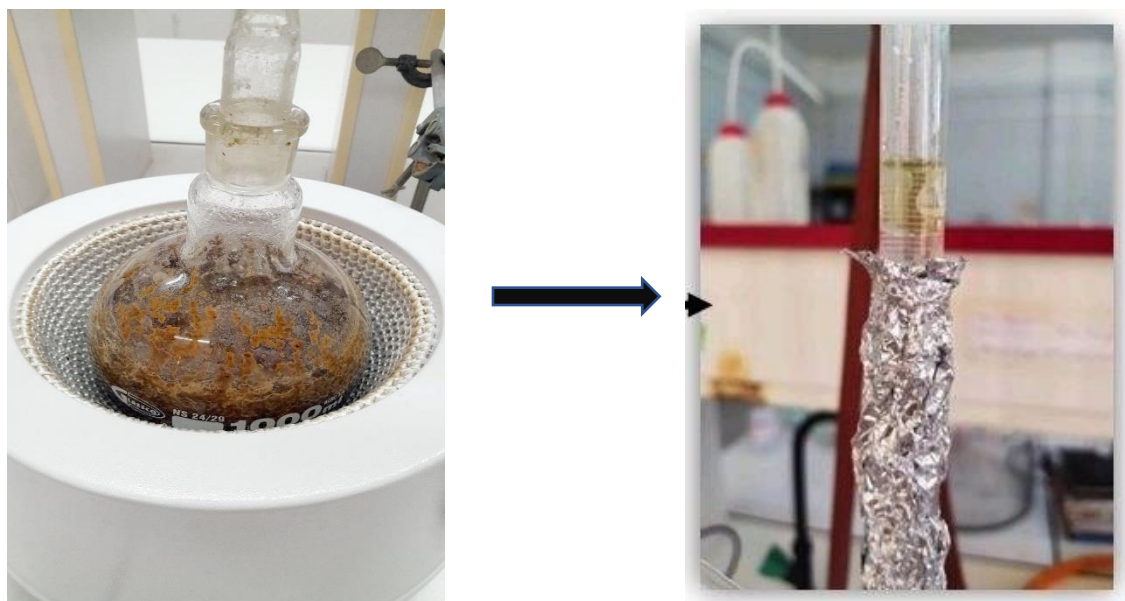


Figure 17: Extraction d'HE de clou de girofle (Photos personnelle)

2.1.1.3. Conservation d'HE obtenue

Le volume d'HE obtenu a été récupéré et mesuré pour calculer le rendement, ensuite séchée par sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4) pour éliminer l'eau, puis conservé dans un flacon en verre stérile. Le flacon a été par la suite couvert d'un papier aluminium à l'abri de la lumière puis conservé dans un réfrigérateur à 4°C jusqu'à son utilisation .



Figure 18: Conservation d'HE de clou de girofle (Photo personnelle)

2.1.2. Détermination du rendement de l'huile essentielle du clou de girofle

Le rendement en huile essentielle (RHE) est le rapport entre la masse de l'huile extraite (MHE) et la masse de la matière végétale sèche dont cette huile a été extraite (Ms). Le rendement est calculé comme suit : **(Racha et Samah, 2024)**.

$$\text{RHE (\%)} = \text{MHE}/\text{Ms} \times 100$$

RHE : Rendement en huile essentielle des clous de girofle exprimée en (%).

MHE : Masse de l'huile essentielle obtenue en gramme (g).

Ms : Masse de la matière végétale sèche utilisée pour l'extraction (g).

2.2. Caractéristique physico-chimique de clou de girofle

Nous avons étudiés quelques caractéristiques du clou de girofle. Notamment l'humidité et le PH.

2.2.1. La teneur en eau (Humidité)

2.2.1.1. Principe

Cette méthode analytique est basée sur le séchage complet du matériel végétal frais à une température de 105°C dans l'étuve jusqu'à l'obtention d'un poids stable. L'humidité est le pourcentage en eau perdue après séchage par rapport à la matière fraîche.

2.2.1.2. Mode opération

Après l'emballage de 2 grammes d'échantillon dans le papier d'aluminium pesé au balance analytique. Ce dernier est placé dans l'étuve à **105°C** jusqu'à séchage total pendant **24h**, ensuite passer l'échantillon dans le dessiccateur sert à refroidir l'échantillon sans qu'il absorbe l'humidité de l'air, puis pesé avec la même balance analytique **(Voire annexe)**.

2.2.1.3. Expression des résultats

La formule suivante, exprime le taux d'humidité en (%) (Moufida, 2022).

$$\text{Humidité (\%)} = [(M2-M3) / (M2-M1)] \times 100$$

M1 : La masse du papier aluminium sans échantillon en gramme.

M2 : La masse du papier aluminium avec la prise d'essai avant le séchage.

M3 : La masse du papier aluminium avec clous de girofle après séchage.

Ainsi, pour l'élimination totale de l'humidité, nous avons mis 2 g du clou de girofle moulu dans l'étuve à 105°C.



Figure 22: Masse initiale (M1) en g

Séchage a l'étuve



Pendant 24h



Figure 23: Masse après séchage (M2)

2.2.2 Détermination de PH

2.2.2.1. Principe

Le PH l'abréviation de potentiel d'hydrogène mesure l'activité chimique des ions Hydrogènes (H^+) (appelés aussi couramment protons) en solution à l'aide d'un **PH** mètre. Plus couramment, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution.

Il s'agit d'un coefficient Permettant de savoir si une solution est acide, basique ou neutre : elle est acide si son pH est inférieur à 7, neutre s'il est égal à 7, basique s'il est supérieur à 7.

2.2.2.2. Mode opération

Une prise de **10 g** de poudre de clou de girofle a été introduite dans un bécher contenant **100 ml** d'eau distillée. Le mélange a ensuite été agité à l'aide d'un agitateur magnétique pendant **30** minutes afin d'obtenir une suspension homogène. Après agitation, la suspension a été filtrée à l'aide d'un papier filtre. Le pH du filtrat obtenu a finalement été mesuré à température ambiante à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné (**Voire annexe**).

2.2.2.3. Expression de résultats

Le résultat est exprimé directement par la valeur du pH mesurée à température ambiante à PH-mètre.

3. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été déterminé par spectrophotométrie, selon la méthode colorimétrique utilisant le réactif de **Folin-Ciocalteu** (Amrane et Dib, 2021).

3.1. Principe

L'oxydation des composés phénoliques par le réactif de Folin-Ciocalteu résulte de la réaction entre l'acide phosphotungstique ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) et l'acide phosphomolybdique ($\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$) en milieu alcalin. Cette réduction se traduit par l'apparition d'une coloration noir-verdâtre formé d'un mélange d'oxyde bleu de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}) qui sont proportionnels à la concentration en polyphénols dans le mélange (Amrane & Dib, 2021).

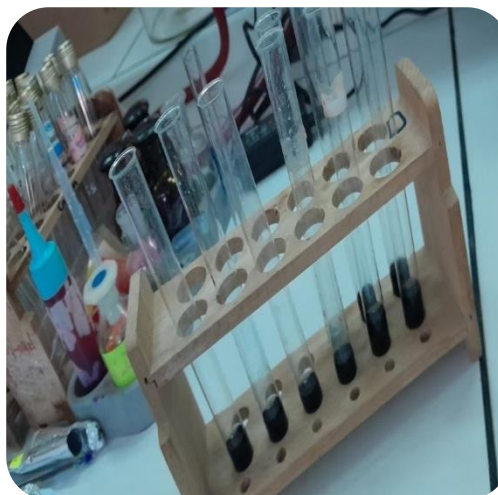


Figure 19: Dosage des polyphénols (Photo personnelle)

3.2. Mode opératoire

Dans un tube à essai mélanger **1ml** de **réactif Folin-Ciocalteu** (dilué **10** fois) puis ajoutée **200µl** de l'huile essentielle (**HE**). Après **5min**. Après en ajoute **800ml** de **carbonate de sodium** à **75%** sont ajoutés, les tubes sont agités puis incubés pendant **30min** à température ambiante en obscurité. Les absorbances des mélanges sont mesurées à **760nm** à l'aide d'un **spectrophotomètre**, contre un blanc qui comporte les mêmes composants à l'exception de la substance testée (**HE**).

3.3. Expression de résultats

La teneur en polyphénols totaux (**TPT**) est calculée à partir de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique et les résultats sont exprimés en milligramme-équivalent d'acide gallique par gramme de chaque extrait, selon l'équation suivante : (**Amrane & Dib, 2021**).

$$\text{TPT} = C \times V / M$$

C : concentration de l'extrait équivalent à l'acide gallique obtenu à partir de la courbe d'étalonnage (mg/ml)

V : volume d'extrait (ml)

M : poids de l'extrait sec / poids de la matière sèche brute (mg).

4. Evaluation de l'activité anti-oxydant (DPPH)

4.1. Principe

Le pouvoir antioxydant des échantillons a été testé en employant le test de piégeage du radical libre DPPH. Le principe de ce test est fondé sur le pouvoir des antioxydants qui jouent le rôle des piègeurs de radicaux libres. En présence de ces antioxydants : soit synthétiques ou naturels, le radical libre DPPH (2,2diphényl-1-picryl hydrazyl), qui est caractérisé par sa couleur violette, se réduit en 2,2diphényl-1-picryl hydrazine de couleur jaune (**Berkani et al .2024**).

4.2. Mode opération

Pour étudier l'activité anti-radicalaire des échantillons (différentes dilutions de l'huile essentielle de clou de girofle), nous avons suivi la méthode décrite par **(Berkani et al,2024)**. Une solution de DPPH a été préparée en dissolvant 4 mg de DPPH dans 100 ml de méthanol. Ensuite, une série de dilutions de l'huile essentielle a été réalisée selon un facteur de dilution en série (1/2), donnant les concentrations suivantes : 2 ; 1 ; 0,5 ; 0,25 ; 0,125 ; 0,0625.

Echantillon : Huile essentielle de clou de girofle **(HE)**.

Contrôle positif : Acide ascorbique (antioxydant de référence)

Contrôle négatif : Solution de DPPH ajouté au méthanol **99.8%**.

Pour le test, **40 µL** de chaque dilution ont été prélevés et mélangés avec **160 µL** de solution de DPPH. Après agitation, les tubes ont été incubés à l'obscurité à température ambiante pendant **30 minutes**. L'absorbance a ensuite été mesurée à **517 nm** à l'aide d'un spectrophotomètre

4.3. Expression de résultats

La diminution de la coloration violette du DPPH est proportionnelle à l'activité antioxydante d'échantillon étudiés. Les résultats du pourcentage d'inhibition sont calculés peuvent être exprimés en tant qu'activité anti- radicalaire **(Kara, 2023)**.

Selon la formule suivante :

$$\text{PI\% d'activité anti-radicalaire} = [(\text{Abs C}-\text{Abs éch}) / \text{Abs C}] \times 100$$

Où : _ **Abs éch** : absorbance de l'échantillon.

_ **Abs C** : absorbance du contrôle **positif**.

4.4. Estimation d'IC50

La grandeur **IC50** est définie comme étant la concentration de l'échantillon nécessaire pour réduire **50%** de radical DPPH, à Les **IC50** sont déterminées graphiquement par régressions linéaires des graphes tracés (taux d'inhibition en fonction de différente concentration) (**Kara, 2023**).

Selon la formule suivante :

$$\text{IC50} = C1 + (50 - I1) (C2 - C1) / (I2 - I1)$$

- **IC50** : concentration inhibitrice à **50 %**, c'est-à-dire la concentration nécessaire pour inhiber **50 %** des radicaux DPPH.
- **C1** : première concentration testée donnant un pourcentage d'inhibition inférieur à **50%**.
- **C2** : deuxième concentration testée donnant un pourcentage d'inhibition supérieur à **50 %**.
- **I1** : pourcentage d'inhibition correspondant à la concentration C1.
- **I2** : pourcentage d'inhibition correspondant à la concentration C2



VI. Résultats et discussions

1. Extraction de l'huile essentielle du clou de girofle

1.1. Caractéristiques organoleptiques de l'HE

Les résultats des caractéristiques organoleptique de l'HE de clou de girofle sont mentionnés dans le tableau (03).

Tableau 3: Caractéristiques organoleptiques.

	Aspect	Couleur	Odeur
HE étudié	Liquide mobile Limpide	Jaune très claire	Epicée
Norme AFNOR (1997)	Liquide mobile Limpide parfois Légèrement visqueux	Jaune très claire	Epicée (caractéristique de l'eugénol)

Les résultats obtenus, montrent que les paramètres organoleptiques de l'huile essentielle du clou de girofle sont en accord avec celles décrites par les normes **AFNOR (1997)**.

1.2. Calcule de rendement de l'huile essentielle du clou de girofle

Le rendement de l'HE extraite par Clevenger du clou de girofle est mentionné dans le tableau (04) :

Tableau 4: Rendement de l'HE de clou de girofle.

Plante	Poids de la plante (g)	Poids de HE (g)	Durée d'extraction	Rendement (%)
Boutons séchés du clou de girofle	100g	1.902g	2h	1.81%

Dans l'étude présente, le rendement de l'EH de clou de girofle a atteint **1,81 %**, ce qui est proche à celui de l'étude de **(Taraj et al., 2020)**, qui a enregistré un rendement atteint **1,2 %**.

En comparant nos résultats à ceux d'autres études, on distingue que notre rendement est inférieur à celui de **Rezoug et Bourihane, 2021**, qui ont obtenu un rendement de **3,62 %**, et à **Sahouli, 2023**, qui a atteint **3,4%**.

La différence dans le rendement de l'extraction des huiles essentielles peut être attribuée à plusieurs facteurs dont celui de la différence de provenance du matériel végétal et des différentes techniques d'extraction **(Boumelit et Rabia, 2023)**, et quand il s'agit de la même méthode d'extraction comme dans notre cas comparée aux autres travaux, l'écart peut s'expliquer par la différence dans le temps, la durée et la température de séchage ainsi que les parties végétales utilisées pour l'extraction et la période de récolte. En outre, il est à noter que les facteurs climatiques, le génotype de la plante, son origine géographique et la nature du sol peuvent interférer dans le rendement d'huile essentielle **(Charif et Djennadi, 2024)**.

2. Caractéristique physico-chimique de clou de girofle

2.1. La teneur en eau (Humidité)

La détermination de la teneur en eau de la poudre de clou de girofle a été réalisée par séchage à l'étuve à 105 °C. Les masses obtenues avant et après séchage sont les suivantes :

- Masse initiale (m_1) = **2,0018 g**
- Masse après séchage (m_2) = **1,6875 g**

La teneur en eau calculée est de **15,70 %**.

Le séchage adéquat le clou de girofle permet d'améliorer sa conservation et de préserver ses composés actifs. La valeur obtenue reste acceptable pour un produit végétal séché et peut varier selon les conditions de stockage, de séchage et l'origine de l'échantillon.

Nous avons analysé la teneur en eau des clous de girofle, qui s'est révélée de **27 %**, tandis qu'une étude de **Murni et al., 2017** antérieure avait constaté une diminution à **24,6 %**. Cette variation peut être attribuée aux différences dans les méthodes de séchage, et à la diversité liée au type et à l'origine des clous de girofle.

2.2. Détermination de PH

L'évaluation du **PH** du clou de girofle a été effectué par deux approches complémentaires. L'utilisation du papier **PH** a permis de déterminer une valeur de **5**, tandis que l'évaluation par le PH mètre a révélé un **PH 4,96** à température ambiante. Dans les deux cas, il a été confirmé que le pH de clous de girofle présente un caractère **acide**.

Ces résultats se situent au-dessus de ceux rapportés par (**Mellis et Athmane, 2021**), qui ont identifié un **PH** de **3,71**, indiquant une acidité plus prononcée. À l'inverse, (**Toumi et Siaghi, 2021**) et (**Boumelita et Rabia, 2023**) ont observé un **PH** légèrement acide de **6**. Ces résultats mettent en évidence le caractère **acide** prédominant de l'huile essentielle du clou de girofle.

L'acidité du clou de girofle peut être liée à la présence de différents composés chimiques, notamment les composés phénoliques et certains constituants aromatiques présents dans la plante (**Bouzaa et al., 2022**). Un **PH** acide peut également contribuer à la stabilité microbiologique de l'échantillon en limitant le développement de certains micro-organismes.

3. Dosage des polyphénols totaux

Les analyses quantitatives des phénols totaux réalisés par la méthode basée sur le réactif de Folin-Ciocalteu ont été déterminées à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage, tracée en utilisant l'acide gallique comme standard (**Figure 08**) : $y=0.0103x+0.02481$ et $R^2=0.9864$. Les résultats obtenus sont exprimés en microgramme équivalent d'acide gallique par milligramme de matière sèche (mg EAG/mg ES).

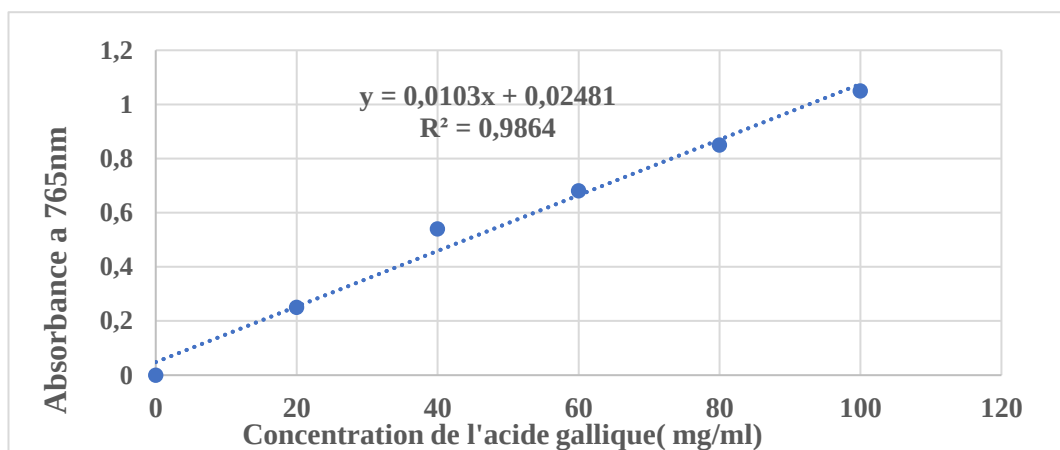


Figure 08 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

Le clou de girofle est reconnu pour sa richesse en composés phénoliques (polyphénols), auxquels sont attribuées de nombreuses propriétés biologiques, notamment une importante activité antioxydante (**Aidaoui et al., 2021**). Dans ce contexte, la présente étude a porté sur la quantification de la teneur en polyphénols totaux du clou de girofle, dont la valeur obtenue est de **0,508 mg GAE/g**.

En comparaison avec l'étude réalisée par **Ferhat, et al ,2022**, ayant rapporté une teneur de **0,274 mg GAE/g**, une différence notable est observée. Cette variation pourrait être liée aux différences des méthodes d'extraction utilisées, ainsi qu'aux conditions expérimentales adoptées.

Par ailleurs, les travaux de **Aidaoui, et al ,2021**, ont révélé une teneur nettement supérieure, estimée à environ **15,174 mg GAE/g**. Cette importante divergence peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment l'origine botanique et géographique du clou de girofle, les conditions de réalisation de l'expérience, ainsi que la quantité de matière végétale utilisée et les procédés d'extraction appliqués. Ces paramètres influencent considérablement la teneur en composés phénoliques, ce qui justifie les variations observées entre les différentes études (**Benfattoum et Tiachadine, 2020**).

4. Dosage de l'activité antioxydant par DPPH

L'évaluation de l'activité anti radicalaire a été évalué par la méthode du piégeage du radical DPPH. Les pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH nous ont permis de tracer une courbe exponentielle pour l'HE du clou de girofle (**figure 08**).

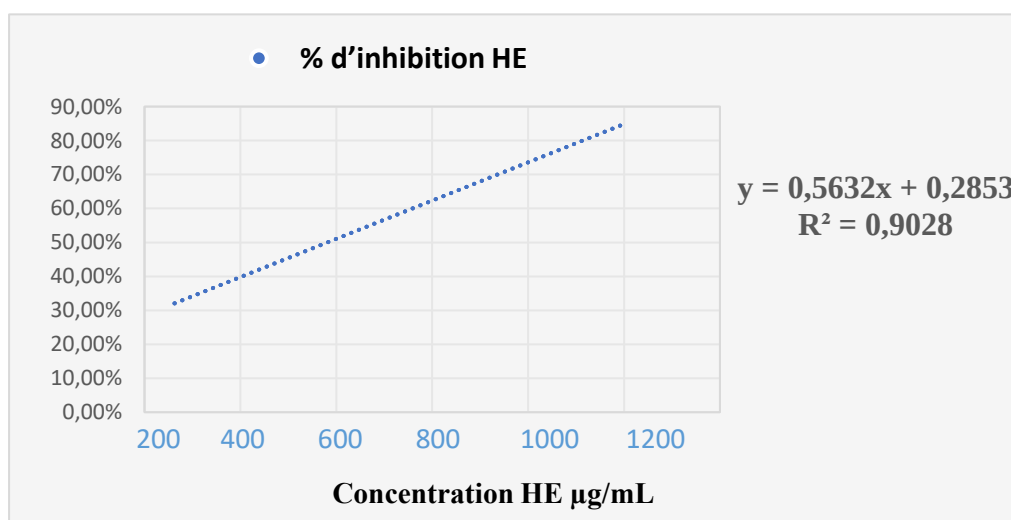


Figure 08 : Courbe d'étalonnage de l'huile essentielle de clou de girofle

Les résultats du test DPPH présenté par la figure 08 ont montré une augmentation progressive du pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration de l'huile essentielle du clou de girofle. En effet, le pourcentage d'inhibition de l'HE varié de **23.77%** à **83.56%** selon les concentrations testées.

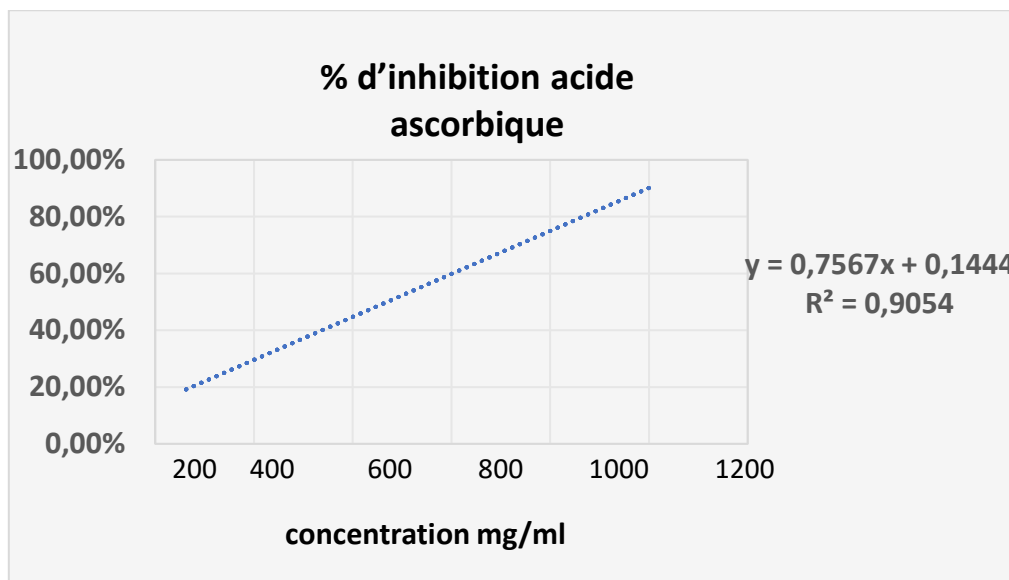


Figure 09 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique

✓ **L'IC₅₀** de l'huile essentielle a été estimé à environ **88.27 µg/ml**.

L'acide ascorbique, utilisé comme **témoin positif**, a également présenté une activité antioxydant importante. Le pourcentage d'inhibition varie de **19.75%** à **85.64%** selon les concentrations testées.

✓ **L'IC₅₀** de l'acide ascorbique a été estimé à environ **65.8 µg /ml**.

L'analyse de l'activité antioxydante réalisée par le test **DPPH** a permis d'évaluer le potentiel antioxydant de l'huile essentielle de clou de girofle, en comparaison avec l'acide ascorbique. Les valeurs de **IC50** obtenues indiquent une activité antioxydante notable pour l'huile essentielle testée. En effet l'acide ascorbique à présenter une **IC50 de 65.8 µg/mL**, tandis que celle de l'huile de clou de girofle est légèrement supérieure, avec une valeur de **88,27µg/ml**. Cette valeur est toutefois inférieure à celle rapportée par (**Faila et Elghazi, 2023**) qui à mentionnée une **IC50 du même HE de 120 µg/ml**, toutefois l'huile essentielle testée dispose une activité antioxydante plus au moins importante.

À titre comparatif, une étude réalisée par (**Kara, 2023**) a révélé une **IC50** sensiblement plus basse, estimée à **5,74 µg/ml**, ce qui pourrait être lié à des modifications dans les protocoles d'extraction, le choix des solvants utilisés ou encore des différences dans la concentration en polyphénols et autres composés bioactifs présents dans l'huile essentielle. Ces variables méthodologiques méritent une analyse approfondie afin de mieux comprendre les performances contrastées observées entre les différentes études (**Tahar et Tassadiat, 2020**).

Les résultats indiquent que l'huile essentielle du clou de girofle présente une activité antioxydante **inférieure** à celle de l'acide ascorbique en tant que témoin positif.

Conclusion et perspectives



Au terme de cette étude, l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) s'est révélée être une source naturelle particulièrement riche en composés bioactifs, notamment en composés phénoliques reconnus pour leurs propriétés antioxydantes.

Les résultats obtenus montrent que cette l'huile essentielle du clou de girofle présente un rendement plus ou moins important de **1.81 %** avec un PH acide **4.96** et **5** et une teneur en humidité moyenne. Par ailleurs le dosage de polyphénols a montré que l'HE de clou de girofle est riche en polyphénols avec une activité antioxydante remarquable évalué par le test de DPPH. Ces propriétés propriété présente un intérêt considérable dans différents domaines, notamment pharmaceutique, alimentaire et cosmétique, où les antioxydants naturels occupent aujourd'hui une place de plus en plus importante en raison des limites et des effets indésirables de certains antioxydants synthétiques.

Ainsi, l'huile essentielle du clou de girofle apparaît comme une alternative naturelle prometteuse pouvant être valorisée dans diverses applications biologiques et industrielles. Elle constitue également une ressource végétale d'intérêt pour le développement de nouveaux produits à visée préventive et protectrice contre les dommages liés au stress oxydatif.

Cependant, malgré les résultats encourageants obtenus au cours de cette étude, des recherches complémentaires restent nécessaires afin d'approfondir la caractérisation des composés actifs responsables de cette activité antioxydante notamment l'analyse des métabolites secondaire par HPLC ou CGM.

Enfin, des perspectives futures pourraient être orientées vers la valorisation industrielle et thérapeutique de cette huile essentielle, notamment dans la formulation de produits naturels à potentiel antioxydant, répondant aux besoins croissants en substances d'origine naturelle et biologiquement actives.

Référence bibliographiques



A

Abou S., Ouedraogo J.-M., Hafsa B., Belahcen M.J., Rahali Y. Interaction tamoxifène – clou de girofle : à propos d'un cas d'effet indésirable. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 2021, tome 56, n°82, p. 183-190.

Aidaoui, R., Kamouche, A., & Menani, I. (2021). Évaluation du pouvoir antiradicalaire des extraits de quelques épices (*Cuminum cyminum*, *Curcuma longa* et *Syzygium aromaticum*). Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 Guelma, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Algérie.

AHLEM, T., & MAROUA, M. (2020). Etude des caractéristiques physiques et chimiques des huiles essentielles du clou de girofle et de l'eucalyptus.

Ali, A. H. (2022). High-performance liquid chromatography (HPLC): A review. *Ann. Adv. Chem*, 6(1), 010-020.

Amal, T. (2020). Etude du potentiel antibactérien et antioxydant in vitro et exploration des effets pharmacologiques in vivo du *Laurus nobilis* L. et *Syzygium aromaticum* L.

Amrane, K., & Dib, L. (2021). Étude de l'activité antioxydante et dosage des composés phénoliques des extraits d'épices et du thé vert. Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.

Asma, B. O. U. M. E. L. I. T. (2023). Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles du girofle (*Syzygium aromaticum*) et du romarin (*Rosmarinus officinalis*) (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).

B

Barbelet, S. (2015). Le giroflier : historique, description et utilisations de la plante et de son huile essentielle (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

Barour, R., & Derguini, A. (2022). Etude de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle du clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) (Doctoral dissertation, École Nationale Supérieure Vétérinaire).

Batiha, G. E. S., Alkazmi, L. M., Wasef, L. G., Beshbishy, A. M., Nadwa, E. H., & Rashwan, E. K. (2020). *Syzygium aromaticum* L. (Myrtaceae): Traditional uses, bioactive chemical constituents, pharmacological and toxicological activities. *Biomolecules*, 10(2), 202.

BERKANI, I., HERKANE, O., & HOUALI, N. (2024). Étude des activités antioxydante, antibactérienne et antibiofilm de l'extrait aqueux du clou de girofle en vue d'une formulation de dentifrice.

Bouacida, K. (2021). Étude de l'effet de l'eugénolextrait de la plante *Syzygium aromaticum* sur le biofilm dentaire. Mémoire de Mastère: Biotechnologie végétale, Département de Biologie, Université de Sfax.

Boukhatem, M. N. K (2019). Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature. *Agrobiologia*, 9(2), 1653-1659.

Bouzaa, F., *et al.* (2022) Etude des activités antimicrobiennes de l'huile essentielle de la plante *Syzygium aromaticum*. Mémoire de Master, université Frères Mentouri Constantine I.

Boumelita, A., & Rabia, S. H. (2023). Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles du girofle (*Syzygium aromaticum*) et du romarin (*Rosmarinus officinalis*). Mémoire de Master, Université de Mila, Algérie.

Bruneton, J. (2016). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (5th ed.). Paris, France : Lavoisier Tec & Doc

C

Chabane, N., & Bouzit, H. (2025). L'effet de l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) sur (*Lumbricus terrestris*) et (*Ethinia fetida*) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Chagra, K. (2019). Étude des propriétés physico-chimiques et biologiques du clou du girofle (*Syzygium aromaticum* (L.)). Mémoire de Master, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie.

Chaouch, A., Rabahi, F., & Tidjani, N. (2023). Conception d'un gel antibactérien à base des huiles essentielles (clou de girofle, thym et sauge). Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, Algérie.

D

Dobler, D., Runkel, F., & Schmidts, T. (2020). Effect of essential oils on oral halitosis treatment: A review. *European Journal of Oral Sciences*, 128(6), 476–486.

E

El Kahkahi, R., Moustaine, M., & Zouhair, R. (2025). *Syzygium aromaticum*: A comprehensive review of its phytochemical composition and pharmacological properties. *J Biochem Int*, 12(1), 146–158.

F

Fadhila, B. (2017). Activité antibactérienne de l'huile essentielle de deux épices : *Syzygium Aromaticum* et *Illicium Verum*. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem Faculté des Sciences de la Nature, 12, 145.

Falia, N. I., & El Ghazi, A. (2023). Caractérisation physico-chimique et antioxydante du clou de girofle. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.

Ferhat, Y., Merakchi, M., & Sadaoui, N. (2022). Effets des substances bioactives des clous de girofle sur quelques paramètres biochimiques chez les lapins diabétiques. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila (Algérie).

G

Goetz, P. (2021). *Syzygium aromaticum* (L.), Giroflier. *Phytothérapie*, 19(1), 55-59.

H

Haddadi, K., & Rabhi, H. (2022). Extraction des huiles essentielles de *Syzygium aromaticum* et d'*Eucalyptus globulus* : activité antioxydante et antibactérienne vis-à-vis de deux pathogènes de l'homme (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Haro-González, J. N., Castillo-Herrera, G. A., Martínez-Velázquez, M., & Espinosa-Andrews, H. (2021). Clove Essential Oil (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae): Extraction, Chemical Composition, Food Applications, and Essential Bioactivity for Human Health. *Molecules*, 26(21), 6387.

Heidari, H., Rassölkin, A., Kallaste, A., Vaimann, T., Andriushchenko, E., Belahcen, A., & Lukichev, D. V. (2021). A review of synchronous reluctance motor-drive advancements. *Sustainability*, 13(2), 729.

K

Kahkahi, et al. (2025). Morphological and chemical description of clove flowers and buds (*Syzygium aromaticum*). *Journal of Biochemistry International*, 12(1), 146–158.

KARA, M. (2023). Etude comparative des activités antioxydante et antifongique des huiles essentielles de clou de girofle et de la cannelle (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun).

Khelid, S., & Layachi, M. (2020). Étude de quelques paramètres phytochimiques du clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) et de l'écorce de grenade (*Punica granatum* L.). Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira – Béjaïa.

L

Liu, X., Zhang, Y., Wang, J., Li, H., Chen, Y., & Yu, L. L. (2022). Chemical compositions of clove (*Syzygium aromaticum* L.) extracts and their potentials in biological activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(45), 14403–14413.

M

Mekhloufi, L et Tabchiche, R. (2024). Evaluation de l'activité antibactérienne et antioxydante de l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*).

Momo, E. J., et al. (2024). Eugenol-Rich Essential Oils from Flower Buds and Leaves of *Syzygium aromaticum* Show Antifungal Activity against *Candida* and *Cryptococcus* Species. *Future Pharmacology*, 4(3), 449–465.

Murni, A., et al. (2017). Anti-candidal activity and chemical composition of essential oil of clove (*Syzygium aromaticum*). *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 20(4), 951–958.

MOUFIDA, M. (2022). Effets des substances bioactives des clous du girofle sur quelques paramètres biochimiques chez les lapins diabétiques (Doctoral dissertation, university center of abdalhafidboussouf-MILA).

N

Nassima, H. A. S. S. A. I. N. E. (2021). Effet bio-insecticide de l'huile essentielle de Clous de Girofle (*Syzygium aromaticum*) à l'égard de *Tenebrio molitor* (L.) (Coléoptère : Ténébrionidé).

(O)

Ouidir, S. (2018). Evaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* vis-à-vis des bactéries responsables d'infections urinaires (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

P

Pinto, E., Vale-Silva, L., Cavaleiro, C., & Salgueiro, L. (2011). Antifungal activity of the clove essential oil (*Syzygium aromaticum* L.) against *Candida*, *Aspergillus* and dermatophyte species. *Journal of Medical Microbiology*, 60(8), 1094–1100.

Pandey, V. K., Srivastava, S., Ashish, K. D., Singh, R., Dar, A. H., Singh, T., Farooqui, A., Mukkaram, A., Shaikh, A. M., & Kovacs, B. (2023). Bioactive properties of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil nanoemulsion: A comprehensive review. *Heliyon*, 10(1), e22437.

R

Racha, B. S., & Samah, D. J. O. U. A. D. Evaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Piper Nigrum*, *Zingiber officinale* et de *Syzygium aromaticum* contre les principales bactéries responsables des toxi-infections alimentaires.

RACHED, R., & RAMDANI, H. A. (2022). Extraction et étude des activités biologiques de l'huile essentielle des plantes aromatiques médicinales (Doctoral dissertation, université Ghardaia).

Rasool, E. M. A., et al. (2025). Evaluation of antinociceptive and anti-inflammatory activities of clove (*Syzygium aromaticum*) in vivo. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*.

T

Rezoug, S., & Bourihane, A. (2021). Etude des propriétés physico-chimiques et antibactérienne du clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) (Doctoral dissertation, UMMTO).

TAHAR, A., & TASSADIAT, S. (2020). Etude de l'activité antibactérienne et anti-inflammatoire in vivo de l'huile essentielle de clous de girofle à partir d'un gel (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).

Taraj, K., Andoni, A., Ylli, F., Ylli, A., Hoxha, R., Llupa, J., & Malollari, I. (2020). Spectroscopic Investigation of *Syzygium aromaticum* L. Oil by Water Distillation Extraction. *International Journal of Environmental Application & Science*, 15(2), 122–126.

Taghipour, Z., Bahmanzadeh, M., & Rahimi, R. (2023). The effects of clove and its constituents on reproductive system: A comprehensive review. *Reproductive Sciences*, 30(9), 2591–2614.

Toumi, B., & Siaghi, M. (2021). Étude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum* L.) vis-à-vis *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis* et *Staphylococcus aureus*. Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Algérie.

V

Valarezo, E., Ledesma-Monteros, G., Jaramillo-Fierro, X., Radice, M., & Meneses, M. A. (2025). Antimicrobial activity of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil in meat and meat products: A systematic review. *Antibiotics*, 14(5), 494.

W

Wadi, M. A. (2025). Evaluation of antibacterial activity and chemical analysis of clove aqueous extract (*Syzygium aromaticum*). *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 25(1), 146.

X

Xue, Q., Xiang, Z., Wang, S., Cong, Z., Gao, P., & Liu, X. (2022). Recent advances in nutritional composition, phytochemistry, bioactive, and potential applications of *Syzygium aromaticum*

1. Appareillage et produits

Matériels	Produits
• Appareil d'hydrodistillation de type « Clevenger » • Chauffe ballon • Balance électronique • Réfrigérateur • Spectrophotomètre • Etuve 37 c° • Agitateur (vortex) • Agitateur magnétique • Stérilisateur • Micropipette • Embouts (jaune, blanc et bleu) • Tubes d'Eppendorf • Mortier avec pilon • Barreau magnétique • Portoir des tubes à essais • Spatule • Papier aluminium • Tubes à essai stériles • Pipettes Pasteur • Pipette graduée • Bécher • Flacon en verre • Erlenmeyer • Ballon de Clevenger • Papier filtre • PH mètre	• Eau distillée • Réactif de filin-Ciocalteu • Carbonate de sodium (NaCO_3) • Acide gallique • DPPH • Acide ascorbique • Sulfate de sodium (Na_2SO_4)

Les références bibliographiques



Etuve



Stérilisateur



Spectromètre



Balance analytique



Clevenger



PH mètre



Agitateur magnétique

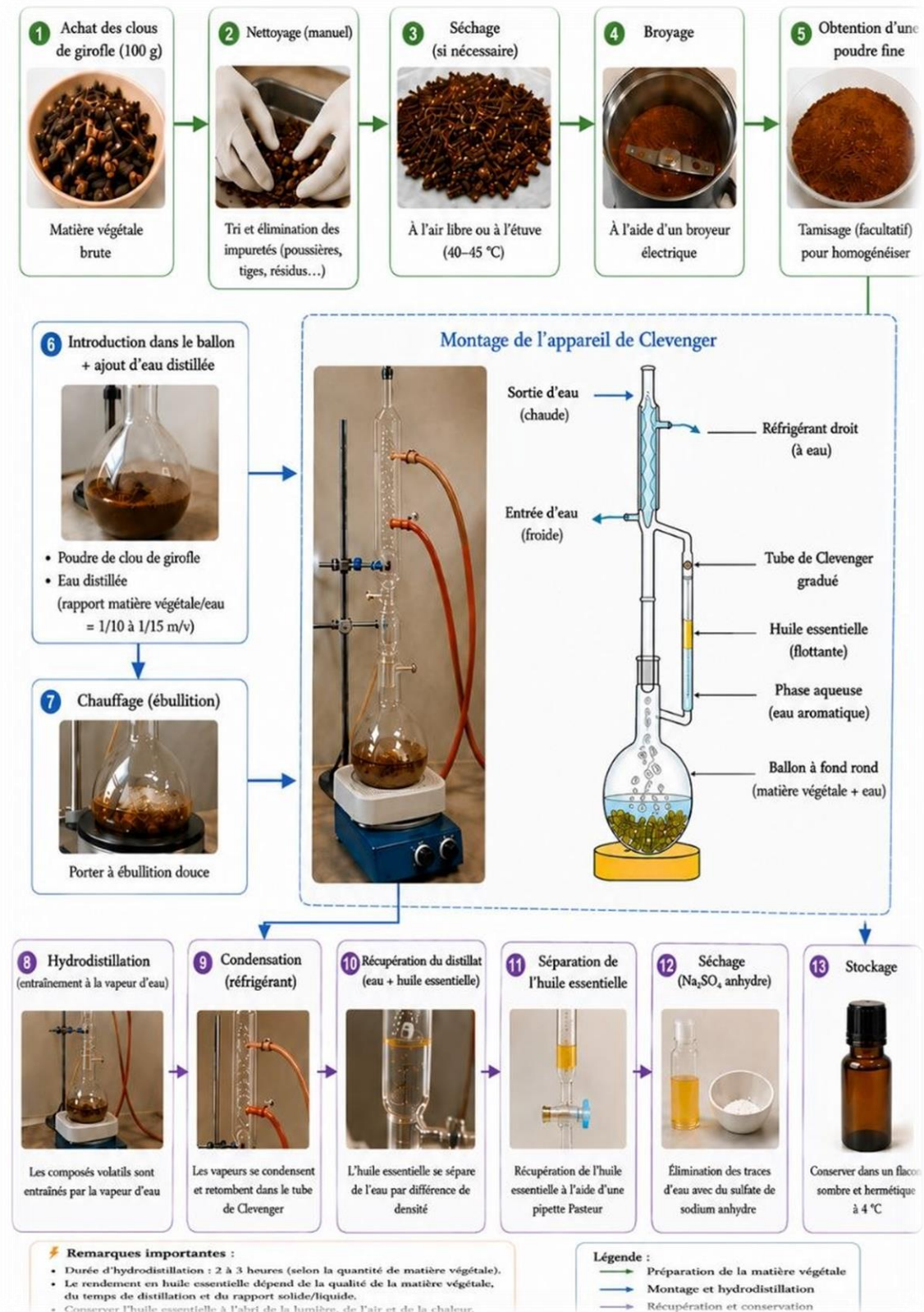


Mollien à coffee

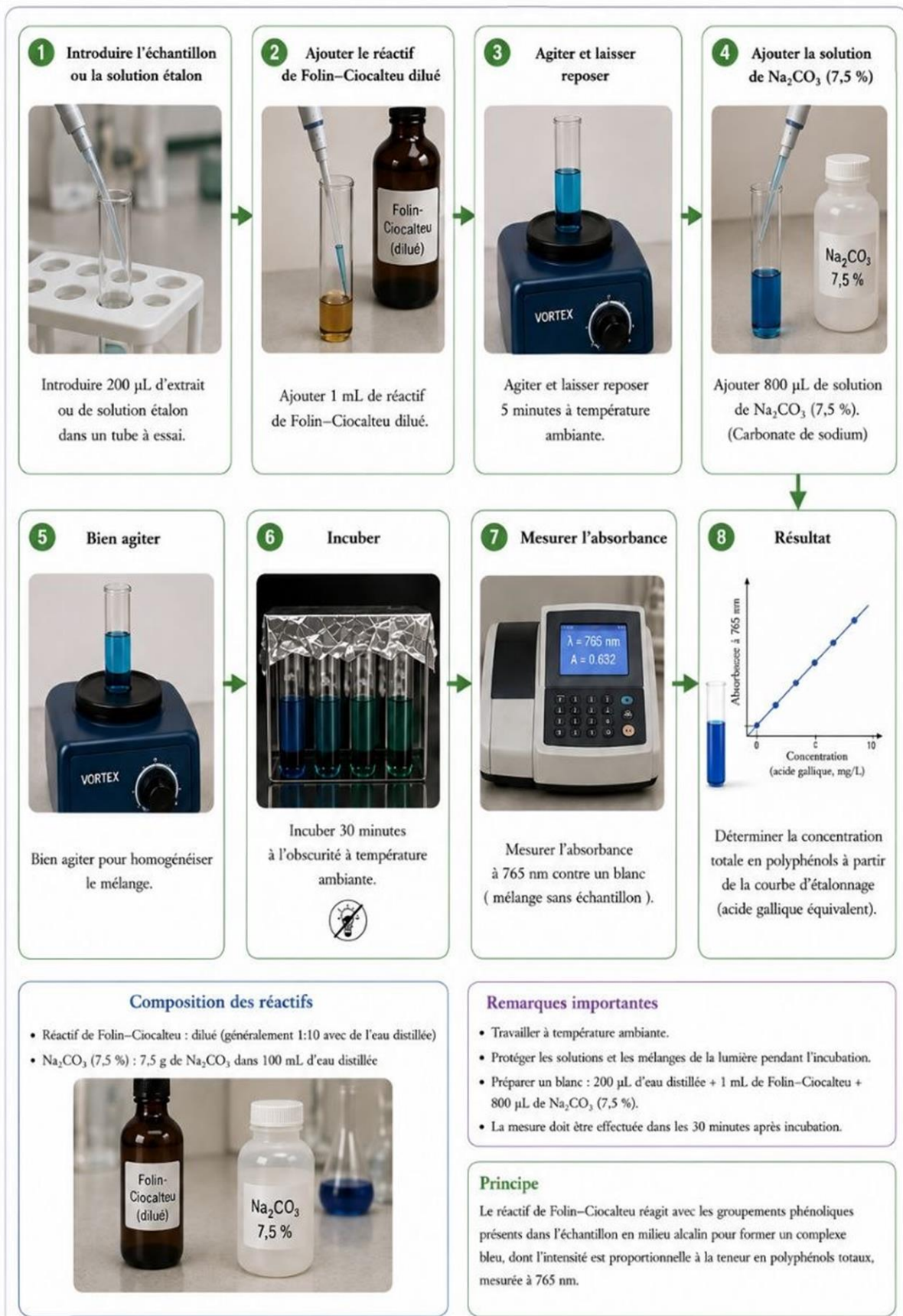


Vortex

Les références bibliographiques



Protocole d'extraction de l'huile essentielle de clou de girofle par hydrodistillation (appareil de Clevenger)



1 Préparation de la solution de DPPH



Dissoudre 4 mg de DPPH dans 100 mL de méthanol. Homogénéiser et conserver à l'abri de la lumière.

2 Préparation de la solution mère (extrait)



Dissoudre 4 mg d'extrait (huile essentielle) dans 1 mL de méthanol. Agiter jusqu'à dissolution complète.

3 Préparation de la gamme de dilutions (1/2)



Réaliser des dilutions en série au 1/2 dans le méthanol. On obtient 6 tubes avec les concentrations indiquées.

4 Réaction dans la microplaque



Dans chaque puits : 40 µL de chaque dilution + 160 µL de solution de DPPH. Volume final = 200 µL.

5 Incubation



Agiter légèrement. Incuber 30 minutes à l'obscurité et à température ambiante.

6 Mesure de l'absorbance



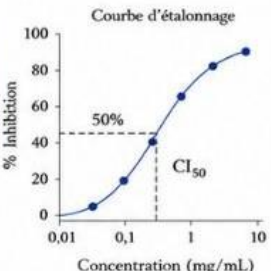
Mesurer l'absorbance à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (microplaque) en utilisant le blanc (DPPH + méthanol).

7 Calcul du pourcentage d'inhibition et détermination du CI_{50}

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{(A_{\text{blanc}} - A_{\text{échantillon}})}{A_{\text{blanc}}} \times 100$$

- A blanc : absorbance de la solution de DPPH sans extrait.
- A échantillon : absorbance en présence de l'extrait.

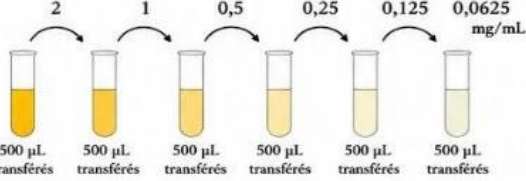
Courbe d'étalonnage



Tracer la courbe % d'inhibition en fonction de la concentration et déterminer le CI_{50} (concentration inhibitrice à 50 %).

Schéma de dilution (1/2)

Tube	Composition (à préparer dans chaque tube)	Concentration finale
Tube 1	500 µL solution mère (4 mg/mL) + 500 µL méthanol	2 mg/mL
Tube 2	500 µL de Tube 1 + 500 µL méthanol	1 mg/mL
Tube 3	500 µL de Tube 2 + 500 µL méthanol	0,5 mg/mL
Tube 4	500 µL de Tube 3 + 500 µL méthanol	0,25 mg/mL
Tube 5	500 µL de Tube 4 + 500 µL méthanol	0,125 mg/mL
Tube 6	500 µL de Tube 5 + 500 µL méthanol	0,0625 mg/mL



500 µL transférés 500 µL transférés 500 µL transférés 500 µL transférés 500 µL transférés 500 µL transférés

Remarques importantes

- Protéger la solution de DPPH de la lumière.
- Travailler à température ambiante.
- Préparer un blanc : 40 µL de méthanol + 160 µL de DPPH.
- Effectuer chaque mesure en triplicat.
- La lecture doit être effectuée après 30 minutes d'incubation.

Principe

Le radical libre DPPH^{*} (de couleur violette) est réduit par les antioxydants présents dans l'échantillon, entraînant une diminution de l'absorbance à 517 nm. Plus l'activité antioxydante est élevée, plus le pourcentage d'inhibition est important.



Dans chaque puits :
40 µL extrait + 160 µL DPPH = 200 µL total



Lecture à 517 nm
après 30 minutes à l'obscurité.

Protocole du test DPPH Méthode spectrophotométrique en microplaque

2. Mesure du PH

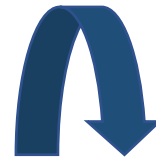


Agitation de 10 g de clou de girofle + 100 ml de l'eau distillé

**Agitation pendant
30 min**



Filtration de la solution



PH mètre



Papier PH

Mesure de PH par les 02 méthodes

3. Teneur en eau (Humidité)



**Masse initiale avant
séchage**

Séchage dans
étuve



Pendant 24
heures



**Masse finale après
séchage**