

République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université a. Mira de Bejaïa

Faculté des Sciences de la nature et de la vie  
Département des Sciences alimentaires  
Filière : science alimentaire  
Spécialité : Conservation des aliments et emballage



Réf : .....

Mémoire de fin de cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

***Thème***

**Etude du potentiel antimicrobien d'huiles essentielles  
encapsulées**

Présenté par :

**BENSEKHRI Yacine & BOUFENICHE Razika**

Soutenu le : **26 Juin 2023**

Devant le jury composé de :

Mme GUENDOUZE N.

MCA

President

Mr CHIKHOUNE A.

MCA

Encadreuse

Mr BACHIR BEY Mustapha

MCA

Examinateur

**Année universitaire : 2022/2023**

# REMERCIEMENTS

*Avant toute chose, nous remercions « Allah » le tout puissant de nous avoir donné le courage et la santé pour réaliser ce travail.*

*Nous voudrions dans un premier temps remercier notre Directeur de mémoire **Mr. AMIROUCHE CHIKHOUNE**, qui nous a encadré, orienté, aidé et conseillé. Nous le remercions également pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*Nous désirons aussi exprimer nos profonds et sincères remerciements à tous les membres du jury **Mme GUENDOUCHE NAÏMA**, qui nous a fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce mémoire. Nous remercions également **Mr Bachir Bey Mustapha**, de nous avoir fait l'honneur d'examiner ce travail. Nos remerciements s'adressent également à **Mme IMADALOU NADIA**, responsable du Laboratoire physico-chimie des Alimentaire et **Mme SAADI-AHMED LILA**.*

*Enfin, nous tenons à remercier **Mr BOUCAKAL AISSA** qui ont contribué au succès de notre travail et qui nous ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire.*

*Merci à toutes et à tous*

*Avec tous les estimes et profonds respects.*

## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma **Tendre Méré**, qui repose en paix, j'adresse mes pensées les plus affectueuses. Que Dieu l'accueille dans son paradis infini. Elle a été l'incarnation de la mère parfaite, m'offrant tout sans réserve. Bien qu'elle ne soit plus de ce monde aujourd'hui, son enseignement, ses conseils précieux, sa sagesse demeurent gravés dans mon cœur et m'ont guidé tout au long de ma vie.*

*A Mon **père** qui ne souviens même pas son visage, je souhaite qu'il rejoigne également le paradis divin.*

*Je tiens à saluer ma sœur, **nana Fahima** qui a toujours été là pour m'encourager et m'épauler dans les moments difficiles. Que Dieu la bénisse et l'accompagne.*

*Mes pensées se tournent également vers Mon Père : **Fares***

*A **Megdouda**, l'épouse de mon frère, je souhaite protection et bienveillance divine.*

*Je tiens également à remercier mes précieuses amies : **Thiziri, Hania, Foufa, Maria** pour leur soutien moral indéfectible.*

*A mon collaborateur de toujours, **Yacine**, j'adresse mes sincères remerciements.*

*Enfin, je n'oublie pas tous les camarades de ma promotion **M2 CAE**, qui ont partagé ce parcours avec moi.*

**RAZIKA**

## Dédicaces

*Je souhaite dédier ce modeste travail à ma famille, notamment à mes chers parents qui m'ont apporté un soutien précieux tout au long de mon parcours universitaire.*

*Je tiens à mentionner mon binôme, **Razika**, qui a été une source constante de soutien et de collaboration.*

*Je souhaite également adresser mes remerciements à mes chers camarades et à mes amis.*

*Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont apporté leur aide tout au long de ce travail.*

**YACINE**

## Table des matières

Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
INTRODUCTION .....	1
I. HUILES ESSENTIELLES .....	3
I.1. DEFINITIONS .....	3
I.2. LA LOCALISATION DES HUILES ESSENTIELLES .....	3
I.3. COMPOSITION CHIMIQUE DES HUILES ESSENTIELLES .....	3
I.3.1 LES COMPOSES TERPENIQUES .....	4
I.3.2 LES COMPOSES AROMATIQUES .....	4
I.3.3 COMPOSES D'ORIGINE VARIEE .....	4
I.4 PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES .....	4
I.5 METHODES D'EXTRACTION .....	4
I.5.1 EXTRACTION PAR LA VAPEUR D'EAU .....	5
I.5.2 EXTRACTION PAR HYDRO DISTILLATION .....	5
I.5.3. EXTRACTION PAR SOLVANTS ORGANIQUES .....	5
I.5.4. EXTRACTION AU CO <sub>2</sub> SUPERCRITIQUE .....	5
I.6. ACTIVITES BIOLOGIQUE DES HUILES ESSENTIELLES .....	6
I.6.1 ACTIVITES ANTIOXYDANTE .....	6
I.6.2 ACTIVITE ANTIMICROBIENNE .....	6
I.6.3. ACTIVITE ANTIFONGIQUE .....	6
I.6.4. ACTIVITE ANTIPARASITAIRE .....	6
I.7 DOMAINES D'UTILISATION DES HUILES ESSENTIELLES .....	7
I.7.1. EN INDUSTRIES AGRO-ALIMENTATION .....	7
I.7.2. EN INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE .....	7
I.7.3. L'INDUSTRIE DE LA PARFUMERIE ET DU COSMETIQUE .....	7
II. GENERALITES SUR LA CANNELLE .....	10
II.1. HISTORIQUE .....	10
II.2. ORIGINE – DESCRIPTION BOTANIQUE .....	10
II.3. COMPOSITION CHIMIQUE DE L'HE DE CANNELLE .....	11
II.4. PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUES DE L'HUILE ESSENTIELLE DE CANNELLE .....	11
II.5. INTERETS DE LA CANNELLE .....	11
II.5.1 UTILISATION TRADITIONNELLE .....	11
II.5.2 EFFET THERAPEUTIQUE .....	12
II.6. EFFETS ANTIBACTERIENS DE L'HUILE ESSENTIELLE DE CANNELLE .....	12
III. ENCAPSULATION DES HE .....	10
III.1. LES CYCLODEXTRINES .....	10
III.1.1. DEFINITION .....	10
III.1.2. STRUCTURE .....	10
III.1.3. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES CYCLODEXTRINES .....	11
III.1.4. TOXICITE DES CYCLODEXTRINES .....	11
III.2. COMPLEXES D'INCLUSION .....	12
III.2.1. DEFINITION .....	12
III.2.2. MECANISME DE FORMATION .....	12
III.2.3. FACTEURS INFLUENÇANT LE PHENOMENE D'INCLUSION .....	12
III.2.4. METHODES DE PREPARATION DES COMPLEXES D'INCLUSION .....	13
MATERIEL ET METHODES .....	19

1. OBJECTIF .....	19
2. MATERIEL .....	19
2.1 MATERIEL VEGETAL .....	19
2.2 SOUCHES BACTERIENNES .....	19
2.3 MILIEUX DE CULTURE UTILISES.....	19
3. METHODES .....	20
3.1. EXTRACTION DE L'HUILE ESSENTIELLE .....	20
3.1.1 PROTOCOLE D'EXTRACTION.....	20
3.1.2. RENDEMENT DE L'EXTRACTION .....	20
3.2. PREPARATION DU COMPLEXE D'INCLUSION .....	21
3.3. EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTIMICROBIENNE .....	21
3.3.1. PREPARATION DE L'INOCULUM.....	21
3.3.2. ENSEMENCEMENT .....	21
3.3.3. PROTOCOLE DE LA METHODE DE DIFFUSION SUR PUIITS.....	22
RESULTATS ET DISCUSSIONS .....	23
1. RENDEMENTS D'EXTRACTION EN HE.....	23
2. EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTIMICROBIENNE.....	23
2.1. CAS DES BACTERIES A GRAM NEGATIF .....	24
2.2. CAS DES BACTERIES A GRAM POSITIF.....	25
CONCLUSION.....	28
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	29

### Table des Figures

<b>Figure 1</b> : Montage d' Hydrodistillation de type Clevenger .....	5
<b>Figure 2</b> : Feuille et l'écorce de la cannelle du Vietnam <i>Cinnamomum loureirii</i> (Goswami et al., 2013) .....	10
<b>Figure 3</b> : Structure des cyclodextrines.....	10
<b>Figure 4</b> : complexe d'inclusion (Siham, 2010).....	12
<b>Figure 5</b> : photographie d'un appareil pour l'hydrodistillation.....	20

### Liste des Tableaux

Tableau I: Les propriétés physicochimiques d'huile essentielle de cannelle (Gende et al., 2008)	11
Tableau II : Propriétés physico-chimiques de $\alpha$ -, $\beta$ - et $\gamma$ -cyclodextrines .....	11
Tableau III : Souches bactériennes testées .....	19
Tableau IV : Rendements en HE (%) de la cannelle du Vietnam .....	23
Tableau V : Diamètres des zones d'inhibition (mm) sur les souches à Gram négatif .....	24
Tableau VI:: Diamètres des zones d'inhibition (mm) sur les souches à Gram positif.....	25

# **INTRODUCTION**

### Introduction

Les plantes aromatiques sont considérées comme un état inépuisable de composés bioactifs, car elles sont riches en huiles essentielles avec des effets réservoir inhibiteurs remarquables contre les bactéries, les champignons, les parasites et les virus.

De nouvelles molécules efficaces et moins dangereuses sont recherchées tant dans le domaine de la technologie alimentaire que dans celui de la thérapeutique. De ce point de vue, on constate aujourd'hui un intérêt croissant pour les plantes médicinales et aromatiques (Senhaji et al., 2006). Ces dernières sont une source inépuisable de substances biologiquement actives, leur conférant de nombreux potentiels biologiques, notamment des propriétés antibactériennes et antioxydantes (HADDOUM & OUGHLIS, 2021).

Cependant, les huiles essentielles sont généralement volatiles, peu solubles dans l'eau et sensibles aux facteurs environnementaux (lumière, chaleur, oxygène), ce qui limite leurs applications potentielles. Par conséquent, diverses méthodes d'encapsulation ont été développées pour tirer parti de ses propriétés, telles que l'encapsulation dans les cyclodextrines (Drulis-Kawa & Dorotkiewicz-Jach, 2010).

L'encapsulation est l'une des techniques les plus couramment utilisées. Cela non seulement immobilise les composés volatils des huiles essentielles, les stabilise et les protège de la lumière, de l'oxygène et de la température, mais module également la libération des huiles essentielles en prolongeant leur profil cinétique. Ce procédé permet donc de protéger et de préserver l'activité biologique de ces huiles (Hill, 2009).

Dans ce contexte, nous envisageons l'étude d'une espèce de la famille des lauracées en l'occurrence la cannelle du Vietnam (*Cinnamomum loureirii*). On a choisi cette espèce car il a été rapporté qu'elle possède un large éventail d'activités biologiques, ce qui pourrait constituer une excellente alternative aux problèmes induits par l'oxydation et les attaques microbiennes.

Par le présent, on a opté pour l'étude de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de la cannelle encapsulée dans le  $\beta$ -cyclodextrine.

Ce travail est divisé en deux parties principales : dans un premier temps, nous proposons une mise au point bibliographique. Cette partie rassemble une synthèse de travaux sur les huiles essentielles de la cannelle suivie d'une synthèse de travaux sur l'encapsulation.

La deuxième partie est la partie expérimentale, dans laquelle nous décrivons les protocoles d'extraction et l'évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle étudiée.

# **Partie I : Synthèse bibliographique**

## **I. Huiles essentielles**

### **I.1. Définitions**

L'Agence Française de Normalisation (AFNOR) définit l'huile essentielle comme étant le produit obtenu à partir d'une matière première végétale. Elle se compose généralement d'une combinaison complexe et soumise à la réglementation des produits cosmétiques, des biocides, ou des médicaments. (Dhifi *et al.*, 2016).

Le terme « huiles » s'explique par leur solubilité dans les graisses et leur caractère hydrophobe. Le terme « essence » fait référence à un parfum (essence) et fait référence à l'odeur émanant d'une plante (Henniche, 2018).

Les huiles essentielles (HE) sont des liquides organiques aussi connues sous le nom d'huiles volatiles, elles sont sécrétées par de minuscules structures situées dans diverses parties des plantes : graines, herbes, racines, écorce, tiges, fruits, fleurs, résines, pelures et plantes ligneuse (Helen, 2003).

### **I.2. La localisation des huiles essentielles**

Selon (Festy, 2018), les huiles essentielles sont généralement extraites à partir d'une ou plusieurs parties de la plante à savoir :

- fleurs (rose, Jasmine, giroflier, mimosa, romarin,).
- feuilles (menthe, Citronnelle).
- feuilles et les tiges (géranium, patchouli, verveine, cannelle).
- l'écorce (cannelle, cassia).
- le bois (cèdre, pin).
- Les racines (angélique, sassafras, vétiver, valériane).
- Les graines (fenouil, coriandre, carvi, aneth, muscade).
- Les fruits (bergamote, orange, citron, genévrier).
- Les rhizomes (gingembre, calamus, curcuma).
- Les gommes ou exsudats d'oléorésine (baumier du Pérou, baume de Tolu, styrax, myrrhe, benjoin).

### **I.3. Composition chimique des huiles essentielles**

L'HE est un mélange complexe et variable dont les constituants appartiennent entièrement à deux groupes aux caractéristiques de biogenèse distinctes : les terpènes volatils et les composés aromatiques dérivés des phénylpropanes (Lakhdar, 2015).

### **I.3.1 Les composés terpéniques**

C'est une famille de composés largement répandus dans le règne végétal. Ils sont composés de 5 atomes de carbone (C<sub>5</sub>) et nommés : isoprène.

Seuls les monoterpènes en C<sub>10</sub> et les sesquiterpènes en C<sub>15</sub> peuvent être extraits par distillation, mais les autres terpènes (diterpènes en C<sub>20</sub> et triterpènes en C<sub>30</sub>) n'étant pas entraînés par la vapeur d'eau (Couic-Marinier & Lobstein, 2013).

### **I.3.2 Les composés aromatiques**

Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane sont beaucoup moins fréquents dans les huiles essentielles que les monoterpènes et sesquiterpènes (Couic-Marinier & Lobstein, 2013). Nous citons par exemple : l'acide cinnamique et l'aldéhyde cinnamique (HEs de cannelle), l'eugénol (HE de girofle) et l'anéthol et l'aldéhyde anisique chez l'HE de badiane, d'anis, de fenouil.

### **I.3.3 Composés d'origine variée**

Les huiles essentielles, en raison de leur méthode d'extraction, peuvent généralement contenir une variété de composés aliphatiques de faible poids moléculaire, qui peuvent être extraits lors de l'hydrodistillation. Ces produits peuvent être de l'azote, du soufre, des carotènes ou des acides gras (Teisseire, 1991).

## **I.4 Propriétés physico-chimiques**

Selon (Bruneton, 1999), les principales propriétés physico-chimiques des huiles essentielles :

- Sont liquides à température ambiante,
- Sont volatiles et très rarement coloré.
- Ont une densité généralement inférieure à celle de l'eau (à l'exception des huiles essentielles de girofle ou de cannelle).
- Ont un indice de réfraction élevé et est idéal pour dévier la lumière polarisée.
- Sont soluble dans les solvants organiques et très légèrement solubles dans l'eau.

## **I.5 Méthodes d'extraction**

Le processus d'obtention de l'HE joue un rôle important dans sa composition chimique. Diverses méthodes sont utilisées pour obtenir des huiles essentielles. Parmi ces méthodes, nous citons :

### I.5.1 Extraction par la vapeur d'eau

Dans ce système d'extraction, le matériel végétal est soumis à l'action d'un courant de vapeur. La vapeur saturée en composés volatils est ensuite condensée. L'injection de vapeur se fait à la base de l'alambic (Laib & Barkat, 2017)

### I.5.2 Extraction par hydro distillation

C'est la méthode la plus utilisée pour extraire les HE et pouvoir les séparer à l'état pur, et aussi pour obtenir de meilleurs rendements. Le principe réside dans l'immersion directe du matériel végétal à traiter dans un flacon d'eau et porter à ébullition (Figure 1). La vapeur hétérogène se condense sur les surfaces froides et sépare HE, par différence de densité (Laib & Barkat, 2017).

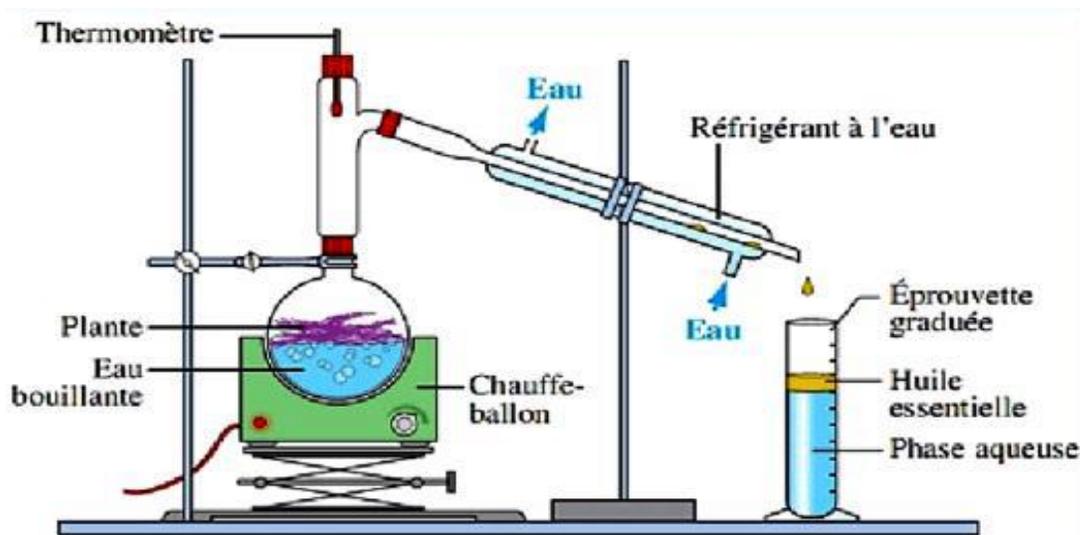


Figure 1 : Montage d'hydrodistillation (Rassem *et al.*, 2016)

### I.5.3. Extraction par solvants organiques

Les solvants les plus utilisés dans l'extraction par solvant organique sont l'hexane, le cyclohexane, l'éthanol, le dichlorométhane et l'acétone (Haddad & Hadji, 2016).

### I.5.4. Extraction au CO<sub>2</sub> supercritique

Il s'agit de la technologie de dioxyde de carbone haute pression la plus récente et la plus complexe, et très coûteuse. Elle est utilisée pour faire exploser des poches végétales contenant des HEs, qui peuvent ensuite être récupérées (Buronzo, 2008).

## **I.6. Activités biologique des huiles essentielles**

Les activités biologiques des huiles essentielles sont liées à leur composition chimique et aux éventuels effets synergiques entre leurs constituants (HADDOUCHI & BENMANSOUR, 2008). Certaines activités biologiques ont été signalées pour les huiles essentielles, notamment : activité antioxydante, antibactérienne, antifongique,... (Ksouri *et al.*, 2017).

### **I.6.1 Activités antioxydante**

Un antioxydant est défini comme étant toute substance qui peut retarder ou empêcher l'oxydation des substrats biologiques, Ce sont des composés qui peuvent efficacement minimiser les mauvaises odeurs et retarder la peroxydation des lipides sans affecter les propriétés sensorielles et nutritionnelles des aliments (Boyd *et al.*, 2003). Les composés à activité primaire donnent des électrons aux radicaux oxygène peuvent les piéger et les empêcher de détruire les structures biologiques. Ils peuvent agir comme agents réducteurs qui peuvent donner des électrons aux ROS et les éliminer (Kohen & Nyska, 2002).

### **I.6.2 Activité antimicrobienne**

Les propriétés antibactériennes des plantes aromatiques et médicinales et de leurs huiles essentielles sont connues depuis longtemps. Cependant, leur utilisation était basée sur des pratiques traditionnelles qui n'ont aucune base scientifique. Il a été rapporté que les HE contenant des aldéhydes ou des phénols tels que le cinnamaldéhyde, le citral, le carvacrol, l'eugénol et le thymol comme composés principaux présentaient l'activité antibactérienne la plus élevée. Par conséquent, l'activité antibactérienne de l'HE est principalement fonction de sa composition chimique, en particulier de la nature des principaux composés volatils(Gali-Muhtasib *et al.*, 2000).

### **I.6.3. Activité antifongique**

L'HE est active contre les levures en agissant sur la biomasse. Dans certaines études, l'effet inhibiteur est essentiellement dû à la formation d'un complexe entre le donneur d'électrons et l'aldéhyde, qui induit une modification de l'état ionique de la membrane, provoquant un déséquilibre des échanges avec le milieu extérieur (Haddad & Hadji, 2016).

### **I.6.4. Activité antiparasitaire**

Les molécules aromatiques, dont les phénols, exercent des actions puissantes contre les parasites comme le thym à linalol (Haddad & Hadji, 2016).

## **I.7 Domaines d'utilisation des huiles essentielles**

### **I.7.1. En industries agro-alimentation**

Les huiles essentielles sont utilisées ici comme rehausseur de goût pour améliorer le goût des aliments transformés. Récemment, les fabricants veulent utiliser les huiles essentielles comme conservateurs ou déterminent les molécules de synthèse classiques couramment utilisés comme les parabènes (Kaloustian & Hadji-Minaglou, 2012).

### **I.7.2. En industrie pharmaceutique**

De nombreuses huiles essentielles se retrouvent dans de nombreuses formulations de produits pharmaceutique : Sirops, gouttes, gélules. Ils sont également utilisés pour préparer des injections comme : verveine, thym, menthe, etc. (Richard & à l'ENSIA, 1992).

### **I.7.3. L'industrie de la parfumerie et du cosmétique**

Dans les domaines de la parfumerie et de la cosmétique, les huiles essentielles sont utilisées comme conservateurs pour leurs propriétés antibactériennes et antiseptiques qui peuvent prolonger la durée de conservation des produits. Ces essences naturelles sont utilisées pour conserver ces cosmétiques et apporter un parfum agréable grâce à leurs composés volatils.

## II. Généralités sur la cannelle

### II.1. Historique

La cannelle est l'une des épices les plus anciennes que l'Homme a consommée et commercialisée. Elle a été citée dans l'un des premiers traités de botanique chinois en 2700 ans av. J-C. C'est un aromate très recherché, de valeur marchande importante quelle que soit l'époque (Guyot, 1972).

Depuis la nuit des temps, on distinguait entre la véritable cannelle de Ceylan, reconnue de qualité supérieure, et la cannelle de chine ou Cassia. Dans la bible, les termes de qinnamon et de cassia sont bien différenciés et sont retrouvés dans les écrits de l'historien grec Hérodote sous la forme qinnamomon et Cassia. L'appellation actuelle de la cannelle n'est apparue qu'au XIIème siècle. Elle dérivait du latin « canna » qui signifie : roseau, tuyau (Lallemand, 2000).

### II.2. Origine – Description botanique

La cannelle appartient au genre *Cinnamomum* et à la famille des Lauracées (figure 2). Elle pousse dans des régions tropicales (Saeed *et al.*, 2016). Les canneliers peuvent pousser et atteindre une hauteur portée de 6 à 18m. Les tiges sont robustes, entre 30 et 60 cm de diamètre (Faix *et al.*, 2009).

Il s'agit d'un arbre persistant qui peut atteindre les 18 m, aux feuilles simples et entières, opposées, souvent pourvues de 3 nervures principales. Les écorces contiennent des cellules scléreuses. Les fleurs sont régulières ou bisexuées, groupées en panicules axillaires et terminales. Le périanthe se compose de 6 tépales subégaux. Les étamines (9) sont disposées en 3 cycles. L'ovaire supère et uniloculaire ont un style réduit avec un petit stigmate. Le fruit est une drupe entourée au niveau de leur base par une cupule (Lallemand, 2000).



**Figure 2** : Feuille et l'écorce de la cannelle du Vietnam (Goswami *et al.*, 2013)

### II.3. Composition chimique de l'HE de cannelle

La saveur de la cannelle du Vietnam est due à la présence de l'huile essentielle constituée de :

- Dérivés phénoliques : 60 à 75 % cinnamaldéhyde ;
- 5 à 10% de phénols ;
- Esters : acétate d'eugényle, acétate de cinnamyle et benzoate de benzyle ;
- 3% de terpènes : camphre, pinène, phellandrène, cymrène, caryophyllène ;
- Ether : cinéole (<3%).

L'écorce de la cannelle, quant à elle, renferme des tanins, de l'amidon, de la coumarine, des mucilages, du sucre, des oligomères pro-anthocyanidoliques et des diterpènes polycycliques. Elle est riche en calcium et en fer (Velter, 2002).

### II.4. Propriétés physicochimiques de l'huile essentielle de cannelle

Les propriétés physiques et chimiques sont présentées dans le tableau I.

**Tableau I:** Les propriétés physicochimiques d'huile essentielle de cannelle (Gende *et al.*, 2008)

Paramètres physicochimiques	Valeurs
Densité à 20 °C	1,061 g / ml
Indice de réfraction	1,6073
Indice d'acide	14,87 mg de KOH / g d'huile

### II.5. Intérêts de la cannelle

#### II.5.1 Utilisation traditionnelle

La cannelle n'est pas seulement utilisée comme épice et agent aromatisant. Traditionnellement, il a été utilisé comme dentifrice pour traiter les douleurs et les problèmes dentaires. La cannelle soulage les troubles digestifs. Elle est particulièrement recommandée en cas d'asthénie. Cette plante peut favoriser l'apparition des menstruations (Pasupuleti & Gan, 2014; Paul, 2001).

### II.5.2 Effet thérapeutique

La cannelle est l'une des plantes les plus importantes utilisées dans la médecine traditionnelle chinoise. Leur utilisation a créé un désir parmi les chercheurs de mettre l'accent sur ces propriétés Biologique (Ranasinghe et al., 2013). Des études chez les animaux et les humains ont démontré de nombreux bienfaits thérapeutiques de la cannelle ce qui suit :

- Anti-inflammatoires.
- Antimicrobienne.
- Antifongique.
- Antioxydant.

La cannelle a également été signalée comme étant efficace contre les maladies neurologiques telles que la maladie de Parkinson et la maladie d'Alzheimer (Medagama, 2015; ROBERT & ROMBI, 2007; Senhaji et al., 2005).

### II.6. Effets antibactériens de l'huile essentielle de cannelle

Selon Chaudhari et al. (2012), l'effet de l'huile essentielle d'écorce de cannelier obtenue par hydrodistillation sur plusieurs souches bactériennes pathogènes a montré une excellente activité antibactérienne et la chromatographie sur couche mince (TLC) et la chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GC-MS) ont montré la présence de cinnamaldéhyde comme composé majeur (Chaudhari *et al.*, 2012).

D'autres études ont montré que le cinnamaldéhyde et l'eugénol issus de l'huile essentielle de cannelle réduisent la formation de biofilm formé par les *E. coli* entérohémorragiques (Nabavi *et al.*, 2015).

### III. Encapsulation des HE

L'encapsulation est un processus qui a pour but de piéger une substance ou un mélange de substances précises avec des matériaux appropriés. La substance encapsulée peut être liquide, solide ou gazeuse. En règle générale, il s'agit d'ingrédients actifs (huiles essentielles, arômes, antioxydants, ...) à effets ciblés qui sont sensibles ou instables à certaines influences environnementales. C'est aussi une substance dont on veut changer l'état, comme transformer un liquide en solide (Akdin, 2017).

#### III.1. Les cyclodextrines

##### III.1.1. Définition

La cyclodextrine (CD) a été découverte par Villiers en 1891. C'est un oligosaccharide cyclique non réducteur (Rasheed, 2008). Ils sont obtenus par la dégradation enzymatique de l'amidon par une enzyme appelée cyclodextrine glucosyltransférase (CGTase). La CGTase est d'origine bactérienne et est produite par *Bacillus macerans* et des *bacilles alcalins* (Tharin, 2002).

##### III.1.2. Structure

Les cyclodextrines ont une structure cyclique d'unités D-glucopyranose liées par des liaisons osidiques de type  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4). Les formes les plus abondantes sont les  $\alpha$ -,  $\beta$ - et  $\gamma$ -cyclodextrines (figure 3). La différence réside dans le nombre d'unités de D-glucopyranose (Abdelaali, 2018).

- Si  $n = 6 = \alpha$  -cyclodextrine ( $\alpha$  - CD).
- Si  $n = 7 = \beta$  -cyclodextrine ( $\beta$  - CD).
- Si  $n = 8 = \gamma$  -cyclodextrine ( $\gamma$  - CD).

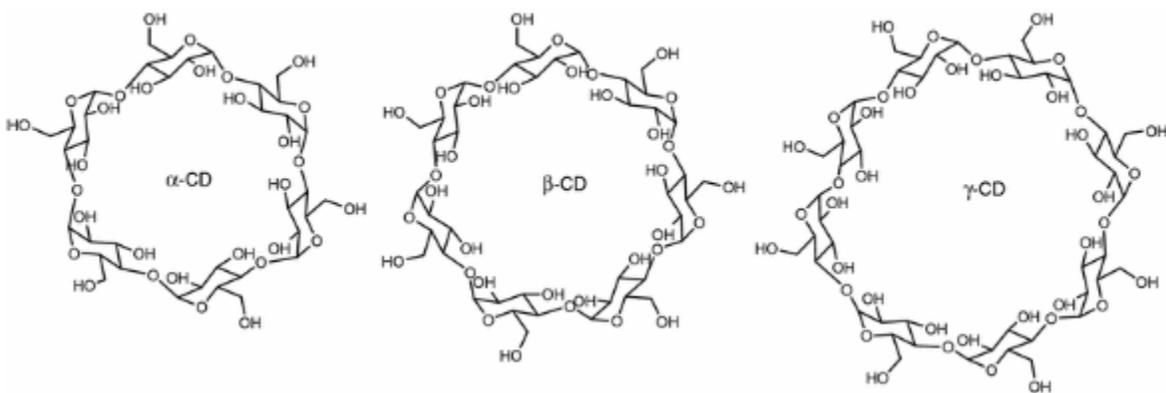


Figure 3 : Structure générale des cyclodextrines (Billard *et al*, 2011).

### III.1.3. Propriétés physico-chimiques des cyclodextrines

La cyclodextrine est soluble dans l'eau et sa solubilité augmente avec la température (tableau II). La  $\beta$  CD est la moins soluble parmi les cyclodextrines à cause de l'orientation et de la force des liaisons hydrogène formées entre les groupes hydroxyle (C2-OH) et (C3-OH) des unités de glucose adjacentes, ces dernières car elles interagissent moins avec l'eau (SIHAM, 2010).

**Tableau II** : Propriétés physico-chimiques de  $\alpha$ -,  $\beta$ - et  $\gamma$ -cyclodextrines

Propriété	$\alpha$ -CD	$\beta$ -CD	$\gamma$ -CD
Nombres d'unités de glucose	6	7	8
Formule moléculaire	$C_{36}H_{60}O_{30}$	$C_{42}H_{70}O_{35}$	$C_{48}H_{80}O_{40}$
Masse moléculaire (g/mol)	972	1135	1297
Diamètre de la cavité (Å)	5.7	7.8	9.5
Diamètre de la périphérie (Å)	14.6 -15	15.4-15.8	17.5-17.9
Hauteur du cône (Å)	7.8	7.8	7.8
Solubilité dans l'eau à 25°C (mg/ml)	145	18.5	232

### III.1.4. Toxicité des cyclodextrines

Toutes les études montrent que les cyclodextrines ne sont pas hydrolysées par les amylases salivaires et pancréatiques humaines et ne sont pas absorbées dans le tractus gastro-intestinal, présentant ainsi une toxicité orale proche de zéro. Cependant, l' $\alpha$ -CD et la  $\beta$ -CD peuvent être fermentées par la flore intestinale microbienne. L'administration orale de CD est généralement bien tolérée et n'est pas associée à des effets nuisibles significatifs (Brewster & Loftsson, 2007; Gould & Scott, 2005).

## III.2. Complexes d'inclusion

### III.2.1. Définition

Un complexe d'inclusion (figure 4) est une combinaison d'au moins deux molécules, dont l'une, le substrat ou "molécule invitée" est encapsulée totalement ou partiellement, par d'autres appelés récepteurs ou "molécules hôtes" sous l'action d'interactions faibles. En raison de l'absence de liaisons covalentes, les complexes formés peuvent être dissociés facilement (Karakasyan, 2005).

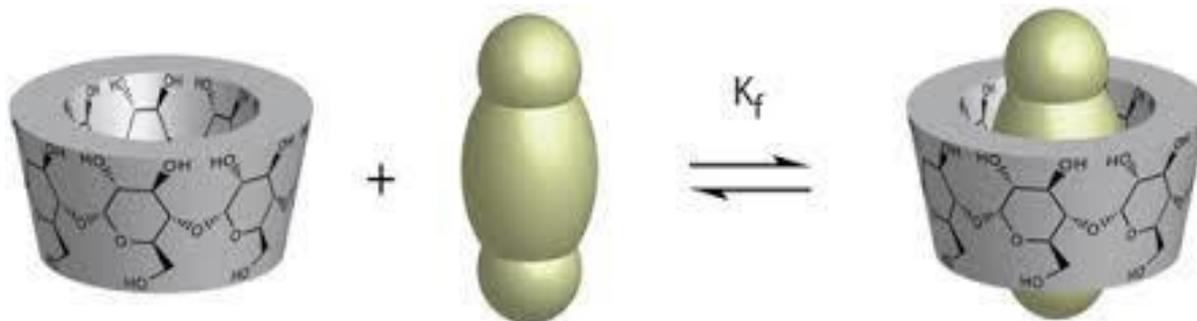


Figure 4 : complexe d'inclusion (SIHAM, 2010)

### III.2.2. Mécanisme de formation

Le principe général de confinement d'un invité à l'intérieur d'une cavité moléculaire CD repose sur le gain d'énergie réalisé par le système hôte-invité au cours du processus. En effet, dans les solutions aqueuses, la cavité légèrement apolaire de la CD sont occupées par des molécules d'eau, conduisant à des interactions énergétiques défavorables de type polaire/apolaire (Fleury, 2005).

Les molécules pénètrent dans la cavité par la plus grande ouverture et le côté le plus accessible. La molécule invitée est éloignée de telle sorte que sa partie polaire soit au maximum en contact avec la cavité hydrophobe et intégrée de telle sorte que sa partie polaire interagisse avec la surface hydrophile de la CD (SIHAM, 2010).

La formation des complexes d'inclusion est déclenchée par plusieurs interactions : interactions hydrophobes, interactions de Van der Waals, liaison hydrogène (Charumanee et al., 2004).

### III.2.3. Facteurs influençant le phénomène d'inclusion

L'un des paramètres clés dans la formation d'un complexe d'inclusion est la taille de la molécule du substrat (molécule invitée) par rapport à la taille de la cavité de la cyclodextrine. De plus, lors de la complexation de CD avec des molécules ionisables, l'effet du pH doit nécessairement

être pris en compte. Cependant, la complexité peut aussi dépendre d'autres facteurs : propriétés de la molécule hôte (composition des fonctions chimiques, solubilité, etc.), structure CD (ionité, ramification, etc.), etc. Enfin, plus la molécule est hydrophobe, plus le complexe formé est stable (Yang, 2008).

#### **III.2.4. Méthodes de préparation des complexes d'inclusion**

Il existe différents procédés pour réaliser des complexes d'inclusion. Pour toutes ces techniques et pour chaque molécule invitée, les quantités d'eaux, la vitesse et le temps d'agitation, la température et le temps de chauffage doivent être optimisés (Challa *et al.*, 2005).

Parmi ces méthodes de préparation on retrouve : la co-précipitation, le pétrissage, la lyophilisation, le co-mélange, l'extrusion, la co-évaporation, l'atomisation ou pulvérisation, l'inclusion à sec, l'inclusion par micro-ondes et l'inclusion au CO<sub>2</sub> supercritique (Ali *et al.*, 2012).

# **Matériel et Méthodes**

## Matériel et méthodes

### 1. Objectif

Notre étude vise à évaluer l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de la cannelle du Vietnam extraire par hydrodistillation et encapsulé dans la cyclodextrine.

### 2. Matériel

#### 2.1 Matériel végétal

Dans le cadre de notre étude, la matière végétale utilisée est la cannelle du Vietnam. Elle a été achetée sous forme de batonnés dans un magasin d'épices au centre ville de Bejaia.

#### 2.2 Souches bactériennes

Nous avons testé l'efficacité antibactérienne de HE contre les souches Gram-négatives et Gram-positives. Les souches ont été fournies par le Dr Souagui S. du département de microbiologie. Les souches utilisées sont de référence, de type ATCC :( American Type Culture Collection) (tableau III).

**Tableau III** : Souches bactériennes testées

souche	Référence	Gram	Famille
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922	-	Enterobacteriaceae
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 25925	+	Micrococcaceae
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853	-	Pseudomonadaceae
SARM*	ATCC 43300	+	Micrococcaceae
<i>Vibrio cholerae</i>	ATCC 27853	-	Vibrionaceae
<i>Salmonella typhi</i>	ATCC 14028	-	Enterobacteriaceae

\**Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline

#### 2.3 Milieux de culture utilisés

La gélose nutritive est utilisée pour le repicage et la conservation des souches. C'est un milieu adéquat pour la majorité des bactéries. La gélose Mueller Hinton est utilisée dans les tests de sensibilité des bactéries aux différents extraits de plantes.

### 3. Méthodes

#### 3.1. Extraction de l'huile essentielle

L'extraction a été réalisée au laboratoire de physicochimie des aliments de l'université de Bejaia en utilisant la méthode de l'hydrodistillation.

##### 3.1.1 Protocole d'extraction

La matière végétale (200 g), constituée de l'écorce de cannelle coupée en petits morceaux, est introduite dans un ballon de 2 L rempli d'eau jusqu'au (2/3) de son volume. Ce dernier est ensuite mis à ébullition pendant 3 heures. Le ballon ainsi chauffé produit de la vapeur chargée de produits volatils. Cette vapeur se condense au contact d'un réfrigérant. Le condensât est ensuite recueilli dans une ampoule à décanter lieu où s'effectue la séparation des deux phases non miscibles : phase aqueuse et phase organique. Cette dernière constitue l'HE qui sera récupérée et conservée à une température de 4°C dans un flacon en verre fumé, en vue de son analyse. Le dispositif d'extraction est illustré dans la figure 5.



Figure 5 : Photographie de l'appareil de l'hydrodistillation

##### 3.1.2. Rendement de l'extraction

Le rendement en huile essentielle est le rapport du poids d'huile essentielle extraite au poids de matière végétale utilisée (Mrabkt et al., 1999). Il est exprimé en pourcentage (%), il est calculé par la formule suivante : **Rdt % = (Mi / Mvs)\*100**

Avec : **Rdt %** : Rendement en HE.

**Mi** : Masse de l'huile essentielle extraite (g).

**Mvs** : Masse de la matière végétale sèche (g).

### 3.2. Préparation du complexe d'inclusion

Le complexe d'inclusion ( $\beta$ -cyclodextrine – HE cannelle) a été obtenu par la méthode de co-évaporation décrite par Pires et *al.* (2019) avec certaines modifications.

Le complexe d'inclusion a été préparé suivant un rapport pondéral (CD/ HE) de 85/15. Le protocole consiste à peser 850 mg de  $\beta$ -cyclodextrine et 150 mg de l'HE de cannelle. Par la suite un volume de 75 ml d'éthanol absolue a été ajouté pour dissoudre le mélange. Ce dernier est laissé sous agitation pendant 24 heures à température ambiante et à l'abri de la lumière. Le solvant a été ensuite éliminé par un évaporateur rotatif sous vide. Enfin le complexe d'inclusion a été récupéré et stocké au réfrigérateur à +4°(Pires et al., 2019).

### 3.3. Evaluation de l'activité antimicrobienne

La méthode choisie pour évaluer l'activité antibactérienne de l'huile essentielle encapsulée au CD est la méthode de diffusion sur puits gélésés.

Cette methode proposée par Cooper & woodman en 1946 et reprise par shroeder et Messing en 1949. Elle assure une diffusion radiale de l'HE a partir d un puits en donnant une zone dinhibition claire facilement mesurable. La méthode consiste à découper un trou circulaire dans la gelose a laide d'un pipette pasteur flambée et y verser une solution de l'HE de concentration connue. L'HE diffuse radialement en donnant une zone dinhibition circulaire a la surface de la gelose prealablement ensemencee avec la suspension bacterienne (Eymard, 2003).

#### 3.3.1. Préparation de l'inoculum

A partir d'une culture jeune de 18h, des suspensions bactériennes sont réalisées en prélevant 3 à 5 colonies bien isolées et identiques, et les mettre dans 5 ml d'eau physiologique stérile. Après une brève agitation au vortex, la transmittance est lue au spectrophotomètre UV-Vis réglé sur une longueur d'onde de 625 nm afin d'obtenir une concentration bactérienne de  $10^6$  UFC/ml.

#### 3.3.2. Ensemencement

Pour chaque souche bactérienne, on imbibe un écouvillon stérile de la suspension bactérienne puis on l'essor en le pressant fermement sur la paroi interne du tube, afin de décharger au maximum. On frotte l'écouvillon sur la totalité de la surface gélosée (milieu MH) de haut en bas, en stries serrés, puis on refait la même opération deux fois en tournant la boîte d'un angle de 60°, après chaque application, pour assurer une couverture de culture uniforme (Haddad & Hadji, 2016) .

### **3.3.3. protocole de la methode de diffusion sur puits**

Après avoir inoculé la surface des boites de Pétri de chaque culture bactérienne à tester, des puits de 6 mm de diamètre ont été perforés dans le milieu gélosé et remplis de 40  $\mu$ l (25  $\mu$ g/ml) du complexe d'inclusion ou de l'huile essentielle non encapsulée préalablement dissoute dans une solution d'éthanol 70 %. Les boites sont ensuite laissés diffuser à température ambiante pendant 30 min puis incubées en position inversee à 37° pendant 24 h.

La lecture a été faite par la mesure des diamètres des zones d'inhibition autour de chaque puits à l'aide d'un "pieds à coulisse".

## **Résultats et Discussion**

### Résultats et Discussions

#### 1. Rendements d'extraction en HE

L'huile essentielle extraite, par hydrodistillation à partir des écorces de *C. loureirii* (Cannelle du Vietnam), est un liquide de couleur jaunâtre et d'un parfum piquant et fort.

Nous avons obtenu en moyenne un rendement de **1,60 %** sur les différentes opérations d'extraction qu'on a réalisées. Le rendement obtenu rentre dans les intervalles de rendement décrits dans la littérature pour la même espèce (tableau IV).

**Tableau IV** : Rendements en HE (%) de la cannelle du Vietnam

N°	Rendement (%)	Référence
1	0,58	(Li et al., 2021)
2	0,82	(Aungtikun & Soonwera, 2021)
3	1,42 à 5,48	(Li et al., 2010)

Il faut noter que le rendement et la composition chimique des HE dépendent de plusieurs facteurs à savoir l'espèce, le milieu de récolte, la période de récolte, la durée de séchage, les pratiques culturales et technique d'extraction (Svoboda & Deans, 1994).

Notre huile essentielle est obtenue par la technique d'hydrodistillation. Cette dernière est considérée comme une méthode standardisée et validée pour l'extraction d'huiles (Lucchesi, 2005). L'huile obtenus avec cette méthode suggère que ses paramètres organoleptiques sont conformes à ceux de la Pharmacopée Européenne (Européenne, 2008). Nous avons signalé que le rendement d'extraction variait avec les conditions climatiques de culture, à savoir la température, l'insolation, la sécheresse, le mode de culture, la maturité à la récolte et les conditions de stockage.

#### 2. Evaluation de l'activité antimicrobienne

On rappelle que l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de cannelle *Cinnamomum loureirii* et celle du complexe d'inclusion (HE/ CD) a été évaluée *in vitro* vis-à-vis six souches bactériennes dont deux souches Gram positif (*S. aureus* et le SARM) et quatre autres de Gram négatif à savoir :

## Résultats et Discussion

*E. coli*, *Salmonella typhi*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Vibrio cholerae*. La technique utilisée dans notre travail est celle de diffusion sur gélose en utilisant des puits.

L'activité des substances testées est déterminée en mesurant le diamètre des zones d'inhibition en (mm) autour des puits en gélose.

A cet effet, une échelle de mesure de l'activité antimicrobienne a été mise par Meena et Sethi (1994) répartissant les diamètres des zones d'inhibition en 4 classes :

- Fortement inhibitrice : lorsque le diamètre de zone d'inhibition  $\geq 28$  mm ;
- Modérément inhibitrice : le diamètre de la zone d'inhibition est compris entre 16 mm et 28 mm.
- Légèrement inhibitrice : le diamètre de la zone d'inhibition est compris entre 10 mm et 16 mm.
- Non inhibitrice lorsque le diamètre de la zone d'inhibition est  $< 10$  mm.

### 2.1. Cas des bactéries à Gram négatif

Les résultats des diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'huile essentielle de la cannelle seule et celle du complexe d'inclusion (CI) sur les bactéries à Gram négatif sont présentés dans le tableau V.

**Tableau V** : Diamètres des zones d'inhibition (mm) sur les souches à Gram négatif

Souche testée	Huile essentielle	Complexe d'inclusion
<i>E. coli</i>	13,25	13,50
<i>P. aeruginosa</i>	12,25	12,75
<i>Vibrio cholera</i>	13,50	16,33
<i>Salmonella typhi</i>	13,00	17,50

Dans l'ensemble, l'huile essentielle de la cannelle ainsi que le complexe d'inclusion (HE/CD) exercent une activité antimicrobienne contre les bactéries à Gram négatif. Il est à signaler également que l'huile essentielle encapsulée avec la cyclodextrine s'est avérée la plus active contre les quatre germes cibles en comparaison avec l'huile essentielle testée seule.

Parmi les souches testées, *Salmonella typhi* s'est montrée la plus sensible vis-à-vis du CI avec une zone d'inhibition 17,50 mm. Tandis que *P. aeruginosa* était la plus résistante envers l'huile essentielle seule et même avec le complexe d'inclusion avec des zones d'inhibitions de 12,25 et 12,75 mm respectivement.

### 2.2. Cas des bactéries à Gram positif

Les résultats des diamètres des zones d'inhibition obtenus avec l'huile essentielle de la cannelle seule et celle du complexe d'inclusion (CI) sur les bactéries à Gram positif sont présentés dans le tableau VI.

**Tableau VI :** Diamètres des zones d'inhibition (mm) sur les souches à Gram positif

Souche testée	Huile essentielle	Complexe d'inclusion
<i>Staphylococcus aureus</i>	19,50	16,75
<i>Staphylococcus aureus</i> Résistante à la Méthicilline SARM	28,00	12,00

D'après les résultats du tableau VI et selon l'échelle citée par Meena et Sethi (1994), l'HE extraite des écorces de cannelle testée seule exerce une forte activité inhibitrice vis à vis du SARM (28,00 mm) et modérément inhibitrice sur *S. aureus* avec une zone d'inhibition de 19,50 mm. Cependant que le CI a manifesté un effet modéré et léger respectivement contre *S. aureus* et le *S. aureus* résistants à la Méthicilline avec des zones d'inhibitions allant de 12,00 à 16,75 mm

### Discussion

Les résultats obtenus ont montré que l'activité antibactérienne diffère selon le type de bactérie testée. Toutes les bactéries testées se sont avérées plus au moins sensibles à l'action de l'huile essentielle de cannelle et du complexe d'inclusion élaboré.

A titre de comparaison, les travaux de Seshadri (2020) ont rapporté que l'HE extraite de *C. loureirii* a une activité antibactérienne contre les bactéries et les champignons testés en raison de la présence d'un composé appelé cinnamaldéhyde ; un composé antimicrobien majeur de cette plante médicinale. Cette HE a révélé une activité inhibitrice contre *S. aureus* et *P. aeruginosa*, ce qui confirme nos résultats.

## Résultats et Discussion

---

Des études *in vitro* montrent que les huiles essentielles contenant des aldéhydes aromatiques, comme le cinnamaldéhyde, et des phénols sont les plus actives vis-à-vis des bactéries impliquées. Ces huiles ciblent la membrane cellulaire et la déstabilisent (Inouye *et al.*, 2001).

D'après Gill et Holley (2006), le cinnamaldéhyde est le principal constituant de l'huile essentielle de cannelle (*Cinnamomum cassia* et *Cinnamomum loureirii*). Ce composé est très actif contre de nombreuses bactéries Gram positif et Gram négatif des genres : *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Enterobacter*, ...). Il inhibe les ATP synthétases bactériennes et provoque une diminution de la production d'ATP intracellulaire.

# **Conclusion & Perspectives**

### Conclusion & Perspectives

Les plantes aromatiques sont une source inattendue de molécules bioactives qui peuvent servir d'alternatives aux antibactériens traditionnels.

Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés à l'obtention d'une huile essentielle de cannelle du Vietnam « *Cinnamomum loureirii* Nees ».

L'extraction de l'huile essentielle de cannelle par la méthode d'hydrodistillation a fourni un rendement de 1,60 %. L'huile ainsi obtenue nous a servi d'élaborer un complexe d'inclusion en présence de molécules cages à savoir les cyclodextrines.

Dans ce travail, nous avons évalué l'activité antibacterinne de l'huile essentielle de cannelle du Vietnam et celle du complexe d'inclusion sur 6 souches bactériennes ; quatre souches de Gram négatif à savoir : *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi* et *Vibrio cholera*, et deux souches de Gram positif : *Staphylococcus aureus* et le SARM.

Dans l'ensemble, l'huile essentielle de la cannelle ainsi que le complexe d'inclusion (HE/CD) ont exercés une activité antimicrobienne contre toutes les souches cibles. Cependant, l'huile essentielle encapsulée avec la cyclodextrine s'est avérée la plus active contre les quatre germes de Gram négatif en comparaison avec l'huile essentielle testée seule.

Parmi les souches testées, *Staphylococcus aureus* résistante à la Methicilline (SARM) s'est montrée la plus sensible avec une zone d'inhibition 18,00 mm avec l'HE de cannelle testée seule. Tandis que *P. aeruginosa* était la plus résistante envers l'huile essentielle seule et meme avec le complexe d'inclusion avec des zones d'inhibitions de 12,25 et 12,75 mm respectivement.

Dans la perspective de poursuivre et d'approfondir ce travail, il serait interessant :

- D'étudier la composition chimique de l'huile essentielle étudiée ;
- De caracteriser le complexe d'inclusion obtenu ;
- De determiner les concentrations inhibitrices minimales pour chaque souche cible ;
- D'étudier d'autres activités biologiques...

# **Références Bibliographiques**

### Références Bibliographiques

- Abdelaali, M. (2018). Approche computationnelle de: l'étude des processus d'inclusion de Thymol avec la  $\beta$ -cyclodextrine.
- Akdim, L. (2017). Comparaison de méthodes d'absorption et d'encapsulation de l'huile essentielle de *Copaifera Officinalis* L. en vue d'une application en cosmétique.
- Ali, N., Harikumar, S., & Kaur, A. (2012). Cyclodextrins: An excipient tool in drug delivery. *Int. Res. J. Pharm*, 3(4450), 11.
- Aungtikun, J., & Soonwera, M. (2021). Improved adulticidal activity against *Aedes aegypti* (L.) and *Aedes albopictus* (Skuse) from synergy between *Cinnamomum* spp. essential oils. *Scientific Reports*, 11(1), 4685.
- Boyd, B., Ford, C., Koepke, M., Gary, K., Hom, E., Mc Analley, S., & Mc Analley, B. (2003). Etude pilote ouverte de l'effet antioxydant d'Ambrotose AOTM sur des personnes en bonne santé. *GlycoScience et Nutrition*, 4(6), 7.
- Brewster, M. E., & Loftsson, T. (2007). Cyclodextrins as pharmaceutical solubilizers. *Advanced drug delivery reviews*, 59(7), 645-666.
- Bruneton, J. (1999). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 3ème éd. *Lavoisier, Paris*, 1120.
- Buronzo, A. (2008). *Grand guide des huiles essentielles*. Hachette Pratique.
- Charumanee, S., Okonoki, S., & Sirithunyalug, J. (2004). Improvement of the dissolution rate of piroxicam by surface solid dispersion. *CMU J*, 3(2), 77-84.
- Chaudhari, L., Jawale, B. A., Sharma, S., Sharma, H., Kumar, C., & Kulkarni, P. A. (2012). Antimicrobial activity of commercially available essential oils against *Streptococcus mutans*. *J Contemp Dent Pract*, 13(1), 71-74.
- Couic-Marinier, F., & Lobstein, A. (2013). Les huiles essentielles gagnent du terrain à l'officine. *Actualités pharmaceutiques*, 52(525), 18-21.
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: A critical review. *Medicines*, 3(4), 25.
- Drulis-Kawa, Z., & Dorotkiewicz-Jach, A. (2010). Liposomes as delivery systems for antibiotics. *International journal of pharmaceutics*, 387(1-2), 187-198.
- Européenne, P. (2008). 6ème édition, Conseil d'Europe. In: Strasbourg.

## Références Bibliographiques

---

- Eymard, S. (2003). *Mise en évidence et suivi de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (Trachurus trachurus): choix des procédés* [Université de Nantes].
- Faix, Š., Faixová, Z., Plachá, I., & Koppel, J. (2009). Effect of Cinnamomum zeylanicum Essential Oil on Antioxidative Status in Broiler Chickens. *Acta Veterinaria Brno*, 78(3), 411-417. <https://doi.org/10.2754/avb200978030411>
- Festy, D. (2018). *Ma bible des huiles essentielles*. Éditions Leduc.
- Fleury, G. (2005). *Des polyrotaxanes de haute masse moléculaire au réseau topologique: Les gels à points de réticulation glissants* [Strasbourg 1].
- Gali-Muhtasib, H., Hilan, C., & Khater, C. (2000). Traditional uses of Salvia libanotica (East Mediterranean sage) and the effects of its essential oils. *Journal of Ethnopharmacology*, 71(3), 513-520.
- Goswami, S. K., Inamdar, M. N., Jamwal, R., & Dethé, S. (2013). Efficacy of Cinnamomum cassia Blume. in age induced sexual dysfunction of rats. *Journal of Young Pharmacists*, 5(4), 148-153.
- Gould, S., & Scott, R. C. (2005). 2-Hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin (HP- $\beta$ -CD): A toxicology review. *Food and Chemical Toxicology*, 43(10), 1451-1459.
- Haddad, D., & Hadji, D. (2016). Contribution à l'Etude de l'huile essentielle De Myrtus communis L. *Doc. Pharmacie. Université Mouloud Mammeri Tizi ouzou*.
- HADDOUCHI, F., & BENMANSOUR, A. (2008). Huiles essentielles, obtentions, utilisations et activités biologiques. Application à deux plantes aromatiques. *Les technologies de laboratoire*, 3(8).
- HADDOUM, L., & OUGHLIS, M. (2021). Contribution à l'étude de la composition chimique et de quelques activités biologiques d'extraits d'une algue brune (*Sargassum vulgare* L.) et de cannelle (*Cinnamomum loureirii* et *Cinnamomum cassia*)
- Helen, M. (2003). Aromatherapy: Therapy Basics.—. In: Hodder Education.
- Henniche, H. (2018). *Extraction et valorisation des huiles essentielles du Romarin (Algérie) obtenues par différents procédés* [Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés].
- Hill, M. (2009). Chemical product engineering—the third paradigm. *Computers & Chemical Engineering*, 33(5), 947-953.
- Kaloustian, J., & Hadji-Minaglou, F. (2012). *La connaissance des huiles essentielles: qualilogie et aromathérapie; Entre science et tradition pour une application médicale raisonnée*. Springer.

## Références Bibliographiques

---

- Karakasyan, C. (2005). *Fonctionnalisation de surfaces par l'intermédiaire du couple adamantane/ $\beta$ -cyclodextrine: application du procédé pour l'élaboration d'un immunocapteur* Paris 12].
- Kohen, R., & Nyska, A. (2002). Invited review: oxidation of biological systems: oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions, and methods for their quantification. *Toxicologic pathology*, 30(6), 620-650.
- Ksouri, A., Dob, T., Belkebir, A., Dahmane, D., & Nouasri, A. (2017). Volatile compounds and biological activities of aerial parts of *Pituranthos scoparius* (Coss and Dur) Schinz (Apiaceae) from Hoggar, southern Algeria. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 16(1), 51-58.
- Laib, I., & Barkat, M. (2017). Etude des activités antioxydante et antifongique de l'huile essentielle des fleurs sèches de *Lavandula officinalis* sur les moisissures des légumes secs.
- Lakhdar, L. (2015). *Evaluation de l'activité antibactérienne d'huiles essentielles marocaines sur *aggregatibacter actinomycetemcomitans*: étude in vitro*
- Li, R., Wang, Y., Jiang, Z.-T., & Jiang, S. (2010). Chemical composition of the essential oils of *Cinnamomum loureirii* Nees. From China obtained by hydrodistillation and microwave-assisted hydrodistillation. *Journal of Essential Oil Research*, 22(2), 129-131.
- Li, Y., Tan, B., Cen, Z., Fu, Y., Zhu, X., He, H., Kong, D., & Wu, H. (2021). The variation in essential oils composition, phenolic acids and flavonoids is correlated with changes in antioxidant activity during *Cinnamomum loureirii* bark growth. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(8), 103249.
- Lucchesi, M.-E. (2005). *Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles* Université de la Réunion].
- Medagama, A. B. (2015). The glycaemic outcomes of Cinnamon, a review of the experimental evidence and clinical trials. *Nutrition journal*, 14, 1-12.
- Mrabkt, N., Lahlou, H., & Benjilali, B. (1999). Effet de quelques extraits du ciste ladanifère du Maroc (*Cistus ladaniferus* L.) sur la croissance de quatre champignons. *Cryptogamie Mycologie*, 20(1), 23-33.
- Nabavi, S. F., Di Lorenzo, A., Izadi, M., Sobarzo-Sánchez, E., Daglia, M., & Nabavi, S. M. (2015). Antibacterial effects of cinnamon: From farm to food, cosmetic and pharmaceutical industries. *Nutrients*, 7(9), 7729-7748.
- Pasupuleti, V. R., & Gan, S. (2014). Cinnamon: a multifaceted medicinal plant. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014.

## Références Bibliographiques

---

- Paul, I. (2001). Encyclopédie des plantes médicinales, Ed. *Larousse-Bordas Paris*, 14.
- Pires, T., Schlinger, E., & Garrette, D. (2019). How multilingual is multilingual BERT? *arXiv preprint arXiv:1906.01502*.
- Ranasinghe, P., Pigera, S., Premakumara, G., Galappaththy, P., Constantine, G. R., & Katulanda, P. (2013). Medicinal properties of 'true' cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*): a systematic review. *BMC complementary and alternative medicine*, 13(1), 1-10.
- Rasheed, A. (2008). Cyclodextrins as drug carrier molecule: a review. *Scientia Pharmaceutica*, 76(4), 567-598.
- Rassem, H. H., Nour, A. H., & Yunus, R. M. (2016). Techniques for extraction of essential oils from plants: A review. *Aust. J. Basic Appl. Sci*, 10(16), 117-127.
- Richard, H., & à l'ENSIA, E. (1992). Épices et herbes aromatiques. *Tec & Doc, Lavoisier, Paris*.
- ROBERT, D., & ROMBI, M. (2007). 120 plantes médicinales composition mode d'action et intérêt thérapeutique. *Monaco: Alpen Editions*, 102-110.
- Saeed, M., Yasmin, I., Khan, M. I., Nadeem, M., Shabbir, M. A., & Azam, M. (2016). Herbs and spices as a potential antimicrobial agents for food application. *Pak J Food Sci*, 26(3), 153-160.
- Senhaji, O., Faid, M., Elyachioui, M., & Dehhaoui, M. (2005). Antifungal activity of different cinnamon extracts. *Journal de Mycologie Médicale*, 15(4), 220-229.
- Senhaji, O., Faid, M., & Kalalou, I. (2006). Étude du pouvoir antifongique de l'huile essentielle de cannelle. *Phytothérapie*, 4, 24-30.
- SIHAM, B. (2010). *Greffage de cyclodextrines modifiées par traitement Corona sur matériaux cellulose* Thèse de doctorat en Chimie-physique. Université Henri Poincaré Nancy 1. p7].
- Svoboda, K., & Deans, S. (1994). Biological activities of essential oils from selected aromatic plants. *Internat. Symposium on Medicinal and Aromatic Plants* 390,
- Teisseire, P. J. (1991). *Chimie des substances odorantes*. Technique et Documentation-Lavoisier.
- Tharin, M. (2002). *Synthèse de polyéthers linéaires cycliques substitués par des cyclodextrines: application en chromatographie gazeuse et électrophorèse capillaire* Université de Neuchâtel].
- Yang, H. (2008). *uc781: Beta-cyclodextrin complexation and formulation as an anti-hiv microbicide* University of Pittsburgh].

## Références Bibliographiques

---

---

### Résumé

Une augmentation de la fréquence des infections microbiennes et résistance aux traitements traditionnels, notre travail vise rechercher de nouvelles substances pour remplacer ces traitements. Par conséquent, nous sommes intéressés à l'étude de l'huile essentielle de cannelle du Vietnam (*Cinnamomum loureirii*) et de son encapsulation dans les cyclodextrines. L'huile a été extraite par la méthode d'hydro distillation. L'HE ainsi obtenu ainsi que le complexe d'inclusion ont fait l'objet d'une étude d'activité antibactérienne *in vitro* sur six souches bactériennes (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, SARM, *Vibrio cholerae* et *Salmonella typhi*). Cette activité antibactérienne a été évaluée par la méthode des puits sur gélose. Les huiles essentielles et le complexe d'inclusion ont exercé une activité antibactérienne sur l'ensemble des germes cibles.

**Mots clés :** Huile essentielle, Cyclodextrine, Activité antimicrobienne, *Cinnamomum loureirii*.

### Abstract

An increase in the frequency of microbial infections and resistance to traditional treatments, our work aims to find new substances to replace these treatments. Therefore, we are interested in studying the essential oil of Vietnamese cinnamon (*Cinnamomum loureirii*) and its encapsulation in cyclodextrins. The oil was extracted by the hydro distillation method. The EO obtained as well as the inclusion complex were the subject of an *in vitro* antibacterial activity on six bacterial strains (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, MRSA, *Vibrio cholerae* and *Salmonella typhi*). This antibacterial activity was evaluated by the agar well method. The essential oils and the inclusion complex exerted an antibacterial activity on all the target germs.

**Keywords :** Essential oil, Cyclodextrin, Antimicrobial activity, *Cinnamomum loureirii*.