

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud MAMMERY

FACULTÉ DE MÉDECINE

TIZI-OUZOU

Département de Pharmacie



ⵜⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ ⵜⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ ⵜⴰⵏⵓⵙⵔⴰⵢⵜ ⵜⴰⵖⵔⴰⵏⵜ ⵜⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة مولود معمري

كلية الطب

تيزي وزو

THÈSE D'EXERCICE

N° D'ORDRE : /FM/DP/2017

Présentée et soutenue publiquement le : 06 Juillet 2017

En vue de l'obtention du diplôme de Docteur en Pharmacie

THÈME

ÉTUDE DE L'ACTIVITÉ ANTIMICROBIENNE
DE L'HUILE ESSENTIELLE EXTRAITE DES
FRUITS DE *Coriandrum sativum* L.

Réalisée par : KACHETEL Lydia & SAHMI Antinéa

Encadrées par : Dr DAHMOUNE Amina

Composition du jury :

IBOUKHOULEF	Sabrina	MAHU	Faculté de Médecine	UMMTO	Présidente du jury
DAHMOUNE	Amina	MAHU	Faculté de Médecine	UMMTO	Promotrice
AZZAM	Amina	MAHU	Faculté de Médecine	UMMTO	Examinatrice
MOKRANI	Belaid	AHU	Faculté de Médecine	UMMTO	Examinateur



Dédicaces

Je dédie ce travail de fin d'études

- ◆ *À mes parents, pour leurs encouragements. Que dieu vous protège et vous garde.*
- ◆ *À mes deux grand-mères.*
- ◆ *À mon frère Yassine et mes deux sœurs Fetta et Hayat.*
- ◆ *À ma belle sœur Amina et mes beaux-frères Takfarinas et Djamel.*
- ◆ *À mes neveux et nièces : Adam, Neïla, Enzo, Nelya, Naëlle, Imen, Elyas et Anir.*
- ◆ *À mon meilleur ami Sami.*
- ◆ *À tous mes amis et à tous mes camarades particulièrement : Yasmine, Nabila, Thinhinane, Lylla, Bouchra, Mery, Nina et Rabah.*
- ◆ *Sans oublier ma collègue et amie Lydia.*

Antinéa 



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,

- ◆ *À mes parents, qui, tout au long de ma vie m'ont prodigué tous les moyens matériels et immatériels pour être qui je suis aujourd'hui ;*
- ◆ *À mon frère, Salim, de même qu'à mes sœurs, Amel, Rania et Raya ;*
- ◆ *À mes oncles et tantes ainsi qu'à leurs enfants ;*
- ◆ *À mes grand-mères ;*
- ◆ *À la mémoire de mon oncle Farid et de mes grands-pères, puisse Dieu les accueillir dans son vaste paradis ;*
- ◆ *À tous mes proches et mes amis qui ont constamment été présents pour moi et sur lesquels je peux toujours compter ;*
- ◆ *Sans oublier ma collègue et amie Antinea.*

Lydia 

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu le tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné courage, force et volonté pour réaliser ce travail.

Nous remercions profondément notre promotrice, Dr Dahmoune, maître assistante en Botanique médicale, pour ses précieux conseils et orientations, et de nous avoir fait part de ses connaissances et son savoir faire durant la réalisation de ce travail.

Nos sincères remerciements au Dr Azzam, maître assistante en Microbiologie et au Dr Mamou, chef du département de pharmacie et maître assistant en Chimie Analytique, ainsi qu'au Dr Amziane maître assistant en Chimie Analytique pour avoir mis à notre disposition le nécessaire pour la réalisation de ce travail.

Nous remercions chaleureusement tous les résidents en pharmacie qui nous ont aidées de près ou de loin dans l'accomplissement de ce travail, particulièrement Dr Boursouti Mourad, résident en Chimie Analytique et Dr Hadji Djazira, résidente en Parasitologie.

Nos vifs remerciements à Mme Bouamra, ingénieure du laboratoire de Botanique médicale du département de pharmacie, pour son soutien et sa permanente disponibilité, ainsi qu'au personnel du laboratoire de Microbiologie de la faculté de médecine de l'UMMTO.

Nos profonds remerciements vont également aux membres du jury pour le temps et l'énergie qu'ils ont consacrés pour évaluer notre travail.

Et enfin, nous tenons à exprimer notre gratitude envers tous les enseignants et le personnel de la faculté de médecine de l'UMMTO qui ont contribué à notre formation.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION.....1

OBJECTIFS.....2

PARTIE THÉORIQUE

I- AROMATHÉRAPIE

1. Définition de l'aromathérapie 3

2. L'aromathérapie en médecine traditionnelle..... 3

3. L'aromathérapie en médecine moderne..... 4

II- HUILES ESSENTIELLES

1. Définition des huiles essentielles..... 5

2. Répartition des huiles essentielles dans le règne végétal 5

3. Biosynthèse des composés chimiques des huiles essentielles 6

3.1. Composition chimique des huiles essentielles 6

3.2. Biosynthèse..... 7

4. Facteurs de variabilité des huiles essentielles 9

5. Modes d'extraction des huiles essentielles 11

5.1. L'hydrodistillation..... 11

5.2. L'entraînement à la vapeur d'eau 12

5.3. L'hydrodiffusion..... 12

5.4. La distillation à vapeur saturée 13

5.5. Distillation sèche 13

5.6. L'expression à froid 13

6. Rendement de l'extraction des huiles essentielles 14

7. Caractérisation des huiles essentielles 14

7.1. Caractérisation organoleptique 14

7.2. Caractérisation physique..... 15

7.3. Caractérisation chimique 16

8. Conservation et étiquetage des huiles essentielles	17
8.1. Conservation.....	17
8.2. Étiquetage	18
9. Intérêt des huiles essentielles	18
9.1. Intérêt physiologique des huiles essentielles pour la plante	18
9.2. Intérêt des huiles essentielles en pharmacie et leurs propriétés thérapeutiques	19
9.3. Intérêt des huiles essentielles en parfumerie	21
9.4. Intérêt des huiles essentielles en cosmétologie.....	21
9.5. Intérêt des huiles essentielles en industrie chimique	21
9.6. Intérêt des huiles essentielles en agroalimentaire.....	22
10. Modes d'utilisation des huiles essentielles.....	22
11. Toxicologie des huiles essentielles	24
11.1. Toxicocinétique	24
11.2. Toxicité selon la durée d'exposition à l'huile essentielle.....	25
11.3. Toxicité selon la localisation	26
11.4. Précautions d'emploi des huiles essentielles	27
12. Réglementation	28
 III- ACTIVITÉ ANTIMICROBIENNE	
1. Définition	31
2. Bactéries	31
2.1 Définition.....	31
2.2 Activité antibactérienne des huiles essentielles.....	32
3. Champignons	33
3.1 Définition.....	33
3.2 Activité antifongique des huiles essentielles	33
4. Activité antivirale des huiles essentielles	34
5. Activité antiparasitaire des huiles essentielles	34
6. Activité antiseptique des huiles essentielles.....	34

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE EXPÉRIMENTALE

I- MONOGRAPHIE DE LA PLANTE

1. Nom scientifique	35
2. Noms vernaculaires	35
3. Systématique	35
4. Description botanique	36
5. Culture.....	38
6. Distribution géographique	38
7. Composition chimique.....	39
8. Propriétés thérapeutiques.....	40
9. Toxicité et précautions d'emploi de l'huile essentielle de coriandre	42

II- MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Étude anatomique de la plante de <i>Coriandrum sativum</i> L.....	43
1.1 Réalisation des coupes.....	43
1.2 Technique de la double coloration.....	44
2. Extraction de l'huile essentielle de <i>Coriandrum sativum</i> L.....	45
3. Caractérisation de l'huile essentielle de <i>Coriandrum sativum</i> L.	48
3.1 Caractérisation organoleptique	48
3.2 Caractérisation physico-chimique	48
4. Évaluation de l'activité antimicrobienne de l'HECS	54
4.1 Évaluation qualitative de l'activité antimicrobienne de l'HECS « AROMATOGRAMME »	54
4.2 Évaluation quantitative de l'activité antimicrobienne de l'HECS.....	58

III- RÉSULTATS.....	61
---------------------	----

IV- DISCUSSION.....	82
---------------------	----

CONCLUSION.....	91
-----------------	----

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

[α]_D : pouvoir rotatoire

°C : degré celsius

μ l : microlitre

AFNOR : Agence Française de Normalisation

AFSSAPS : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé

ANSM : Agence Nationale de Sécurité des Médicaments

CHU : Centre Hospitalo-Universitaire

CMB/CMF : Concentration Minimale Bactéricide/ Concentration Minimale Fongicide

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice

CPG : Chromatographie en Phase Gazeuse

d^{20}_{20} : Densité relative

DL50 : Dose Létale 50

eV : électron Volt

FPP : Pyrophosphate de Farnésyle

g : gramme

G : Grossissement

GC/MS : chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

h : heure

HE : Huile Essentielle

HECS : Huile Essentielle de *Coriandrum sativum*

HECT : Huile Essentielle Chémotypée

I_A : Indice d'Acide

I_E : Indice d'Ester

I_s : Indice de Saponification

ISO : International Organisation for Standardization

IV : Intraveineuse

Kg : Kilogramme

l : litre

L. : Linné

LPS : Lipopolysaccharides

m : masse

m : mètre

mg : milligramme

MH : Muller Hinton

LISTE DES ABRÉVIATIONS

min : minute

mm : millimètre

N : Normale

NF : Norme Française

n^T : indice de réfraction

ORL : Oto-Rhino-Laryngologie

PEP : Phosphoenolpyruvate

PPI-2 : pyrophosphate d'isopentén-2-yle

PPI-3 : pyrophosphate d'isopentén-3-yle

R^{dt} : Rendement

SM : Spectrométrie de Masse

SNC: Système Nerveux Central

Tr : Temps de rétention

UMMTO : Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou

var. : variété

VO : Voie Orale

z : valence

ρ : Masse Volumique

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Souches microbiennes	55
Tableau II : Teneur des différents constituants de l'HECS	73
Tableau III: Résultats de l'aromatogramme reflétant la sensibilité des souches bactériennes à l'huile essentielle de <i>Coriandrum sativum</i> L.	75
Tableau IV: Résultats de l'aromatogramme antifongique	75
Tableau V : Résultats des CMI pour les souches bactériennes testées	77
Tableau VI : Résultats des CMI pour les souches fongiques testées.....	78
Tableau VII: Récapitulatif des résultats des CMI pour les germes sensibles.....	79
Tableau VIII: Résultats des CMB pour les souches bactériennes testées	80
Tableau IX: Résultats des CMF pour les souches fongiques testées.....	81
Tableau X: Récapitulatif des résultats des CMB/CMF pour les germes sensibles.....	81
Tableau XI: Comparaison des résultats des caractères organoleptiques de l'HE de Coriandre aux normes AFNOR/ISO	82
Tableau XII : Comparaison de la composition chimique de notre HE aux normes	84
Tableau XIII : Principaux constituants de l'huile essentielle des fruits de <i>Coriandrum sativum</i> (exprimés en %) rapportés par la littérature	85
Tableau XIV: Classification des souches microbiennes testées selon leur degré de sensibilité à l'HECS	86
Tableau XV: Évaluation de l'effet antimicrobien intrinsèque de l'HECS avec le ratio CMB(F)/CMI	86
Tableau XVI: Comparaison entre les résultats de l'activité antimicrobienne de l'HE étudiée avec d'autres études	87

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Hydrodistillation	11
Figure 2 : Entraînement à la vapeur d'eau	12
Figure 3 : Hydrodiffusion	12
Figure 4: Structure schématique d'une bactérie	31
Figure 5: <i>Coriandrum sativum</i> L.	35
Figure 6: Drogue entière de <i>Coriandrum sativum</i> L.	37
Figure 7: Drogue pulvérisée de <i>Coriandrum sativum</i> L.	37
Figure 8: Réalisation des coupes de <i>Coriandrum sativum</i> L.	43
Figure 9: A- coupes mises dans l'eau de javel ; B- rinçage à l'eau.	44
Figure 10: A- coupes mises dans le Vert de méthyle ; B- dans le Rouge Congo	45
Figure 11: Coupes colorées conservées dans de l'eau et de la glycérine.	45
Figure 12: Clevenger	46
Figure 13: Étapes préalables à l'extraction	47
Figure 14: Recueil de l'huile essentielle	47
Figure 15: Dépôt de la goutte d'huile essentielle	48
Figure 16: Pesée de la fiole	49
Figure 17: Réfractomètre d'Abbe	50
Figure 18 : Polarimètre.....	51
Figure 19: Pesée de l'huile essentielle	52
Figure 20: Reflux du mélange.....	52
Figure 21: Titrage de l'excès de KOH par du HCl	53
Figure 22 : Préparation des cultures jeunes.....	55
Figure 23: Préparation de la suspension microbienne.....	56
Figure 24: Ensemencement de la suspension microbienne.....	56
Figure 25: Dépôt des disques et de l'huile essentielle	57
Figure 26: Détermination de l'activité antimicrobienne par diffusion de l'HE à partir du disque	58
Figure 27: Différentes étapes de préparation des dilutions.....	59
Figure 28: Dépôt de la suspension microbienne sur les disques.....	59
Figure 29: Réalisation des CMB	60
Figure 30: Observation d'une coupe transversale de la tige de <i>Coriandrum sativum</i> au microscope photonique (G 4X10)	62

LISTE DES FIGURES

Figure 31: Observation d'une partie de la coupe transversale de la tige <i>Coriandrum sativum</i> au microscope photonique (G 10X10)	62
Figure 32: Observation du faisceau cribro-vasculaire de la tige de <i>Coriandrum sativum</i> au microscope photonique (G 40X10)	63
Figure 33: Observation d'une coupe transversale du rachis de <i>Coriandrum sativum</i> au microscope photonique (G 10X10)	64
Figure 34: Observation d'une coupe transversale de la feuille de <i>Coriandrum sativum</i> L. au microscope photonique (G 10X10)	65
Figure 35: Observation d'une coupe transversale du méricarpe du fruit de <i>Coriandrum sativum</i> au microscope photonique (G 4X10)	66
Figure 36: Observation des tissus de revêtement et de soutien du fruit de <i>Coriandrum sativum</i> au microscope photonique (G 40X10)	66
Figure 37: Observation d'une coupe transversale de la racine de <i>Coriandrum sativum</i> au microscope photonique (G 10X10)	68
Figure 38: Observation du tissu de revêtement secondaire de la racine de <i>Coriandrum sativum</i> au microscope photonique (G 40X10)	68
Figure 39: HE de <i>Coriandrum sativum</i>	69
Figure 40: Absence de cristaux dans l'HECS	69
Figure 41: Évaporation de l'huile essentielle	70
Figure 42: Lecture du résultat au réfractomètre	70
Figure 43: Huile essentielle miscible à l'éthanol (96°, 80°, 65°)	71
Figure 44: Huile essentielle non-miscible à l'éthanol (33°)	71
Figure 45: Neutralisation / virage de couleur vers le rose	72
Figure 46: Fin de titrage avec disparition de la couleur rose	72
Figure 47 : Profil chromatographique (GC/MS) de l'HECS	73
Figure 48 : Diagramme à secteurs représentant la composition chimique de l'HECS	74

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Liste de certaines plantes aromatiques par famille

Annexe II : Structure chimique de quelques constituants des huiles essentielles

Annexe III : Les différentes voies de synthèse des huiles essentielles

Annexe IV : Les principales huiles essentielles antibactériennes

Annexe V : Les principales huiles essentielles antifongiques

Annexe VI : Résultats des antibiogrammes des souches bactériennes testées

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La pratique médicale révèle chaque jour les inconvénients liés à l'usage de certaines familles chimiques de médicaments, sans nier pour autant leur utilité thérapeutique évidente, particulièrement dans les maladies graves ou aiguës.

Parmi ces inconvénients, on peut citer l'émergence de résistances développées par les germes suite à la prescription intempestive d'antibiotiques au risque de voir, à terme, l'antibiothérapie totalement désarmée face aux maladies infectieuses, ce qui aurait des conséquences désastreuses sur la santé de la population.

Pour pallier à cela, la nature a mis à notre disposition une vaste gamme de molécules, contenues dans les huiles essentielles synthétisées par les plantes aromatiques, possédant entre autres, différentes propriétés thérapeutiques, la plus connue étant la propriété antimicrobienne.

Dans le présent travail, on va s'intéresser à l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle extraite à partir des fruits de *Coriandrum sativum* L. sur certaines souches bactériennes et fongiques. Ce choix s'est basé sur la disponibilité des fruits de coriandre en Algérie et sur le fait que relativement peu de travaux ont été faits dans ce sens sur son huile essentielle.

Notre étude sera scindée en deux parties :

Une partie bibliographique comprenant trois chapitres, où le premier donnera un aperçu sur l'aromathérapie, tandis que le second sera consacré à l'étude des huiles essentielles d'une manière générale alors que le troisième concernera l'activité antimicrobienne des huiles essentielles

Une partie expérimentale, qui quant à elle, comprendra une monographie de la plante *Coriandrum sativum* L., les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail à savoir l'hydrodistillation, l'étude anatomique de la plante, la caractérisation organoleptique et physicochimique et l'évaluation de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle, ainsi qu'une présentation des différents résultats obtenus et leur discussion par rapport aux références issues d'une recherche bibliographique.

Elle finira par une conclusion générale résumant l'ensemble des résultats obtenus et dégageant les principales perspectives.

OBJECTIFS

L'objectif de ce travail est de rechercher de nouvelles alternatives, naturelles et disponibles en Algérie, aux agents antimicrobiens de synthèse afin d'enrichir l'arsenal thérapeutique tout en valorisant la flore algérienne.

Pour atteindre cet objectif, on a choisi d'étudier l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* L. sur quatre volets :

- ◆ La réalisation d'une monographie de la plante *Coriandrum sativum* L. ;
- ◆ L'extraction de l'huile essentielle ;
- ◆ L'étude de ses caractéristiques organoleptiques et physicochimiques ;
- ◆ Et enfin, l'évaluation son pouvoir antimicrobien vis-à-vis de souches bactériennes et fongiques.

PARTIE
THÉORIQUE

I

AROMATHÉRAPIE

1. Définition de l'aromathérapie

Branche de la phytothérapie, l'aromathérapie est l'utilisation des extraits aromatiques des plantes (tandis que la phytothérapie fait usage l'ensemble des éléments d'une plante) [1,2].

Le mot « Aromathérapie » issu du latin « *aroma* : odeur » et du grec « *therapein* : soin » fut inventé en 1928 par le chimiste français René-Maurice Gattefossé [3].

C'est une "biochimio-thérapie" naturelle sophistiquée qui repose sur l'utilisation des huiles essentielles chémotypées (HECT) extraites des plantes aromatiques à des fins thérapeutiques et ce, par voie cutanée, orale, vaginale, rectale, nasale, auriculaire ou olfactive [4,5].

Cette aromathérapie scientifique recourt à une méthodologie rigoureuse qui s'inspire de données scientifiques solides confirmées tant par la clinique que par le laboratoire. C'est une thérapie naturelle de qualité supérieure, d'une prodigieuse efficacité et qui complète très bien toutes les autres approches alternatives ou allopathiques [4].

2. L'aromathérapie en médecine traditionnelle

Dans l'histoire de la médecine, au moins jusqu'au XVI^e siècle, l'histoire de l'aromathérapie se confond en grande partie avec celle de la phytothérapie. Les plantes, dans leur ensemble, constituaient la base de la pharmacopée des civilisations antiques.

Si l'on retrouve des traces de méthodes de distillation ou d'extraction, en Chine ou en Inde, datant de plusieurs millénaires, c'est en Égypte que leur utilisation a été avérée. En Grèce, les écrits de Dioscoride font référence à l'utilisation d'extraits aromatiques. Les Romains les utilisèrent aussi sous forme d'onguents gras.

On attribue au médecin alchimiste perse Avicenne l'invention, au XI^e siècle, de l'alambic. Les procédés d'extractions s'améliorèrent par la suite, les pharmacopées les utilisant surtout après le XVI^e siècle. C'est à partir du XIX^e siècle, que l'on commença à isoler et classer les principes actifs des molécules odoriférantes ce qui permit leur utilisation spécifique [6].

3. L'aromathérapie en médecine moderne

La médecine « scientifique » occidentale a, jusqu'à présent, un peu délaissé l'étude des propriétés pharmacologiques des huiles essentielles (HE), peut-être à cause de leur extrême variabilité chimique, qui peut être à l'origine d'erreurs et donc de danger, peut-être aussi parce qu'elles sont trop connotées médecine « douce » ou « alternative » à l'heure où la synthèse chimique prime dans l'industrie pharmaceutique [7].

Néanmoins cela change, l'aromathérapie scientifique ouvre aux médecines naturelles une voie nouvelle vers la reconnaissance de leur intérêt, de leur valeur, et de leur utilité première pour la santé humaine. [8] Et actuellement, on peut trouver plusieurs médicaments et produits parapharmaceutiques, vendus en pharmacie, qui sont à base d'HE.

L'aromathérapie peut être à la base du renouveau médical [7] car par opposition aux drogues obtenues par synthèse chimique ou par extraction des principes actifs, l'aromathérapie est la médecine naturelle par excellence. La structure d'une HE est complexe et ne possède jamais une seule propriété thérapeutique mais bien plusieurs. Il existe dès lors, des possibilités de synergie et de potentialisation qui permettent une individualisation de la thérapeutique. Mais la caractéristique principale réside dans le fait qu'elle est une médecine de terrain visant à rétablir l'équilibre d'un organisme dans sa globalité (thérapeutique et psychique) [9].

Il n'est en aucun cas question de remplacer un traitement majeur allopathique par un mélange d'HE, mais ce dernier est proposé quand le traitement conventionnel est inopérant dans certains cas, ou mal toléré, ou que le traitement aromatique soit moins dangereux, voire quelquefois plus efficace. La médecine allopathique et l'aromathérapie ne sont pas concurrentes mais complémentaires [6]. Les substances chimiques de synthèse ont permis des résultats exceptionnels que tout le monde reconnaît. Mais l'action brutale et brève des drogues chimiques, les effets recherchés souvent dépassés et les effets secondaires fréquents expliquent la désaffection du public pour les médications allopathiques classiques. Aussi, dans le contexte général d'écologie, les patients aspirent à des médications certes efficaces mais plus simples et plus naturelles. Cette tendance très actuelle est la raison principale du renouveau d'une aromathérapie scientifique crédible [9].

Les huiles essentielles, de composition chimique très souvent complexe constituent des médications réactives, puissantes et d'une richesse thérapeutique insoupçonnée qui laisse augurer un avenir prometteur [9].

II

HUILES

ESSENTIELLES

1. Définition des huiles essentielles

Pour la 8^{ème} édition de la Pharmacopée française (1965), les huiles essentielles (= essences = huiles volatiles) sont: « des produits de composition généralement assez complexe renfermant les principes volatils contenus dans les végétaux et plus ou moins modifiés au cours de la préparation. Pour extraire ces principes volatils, il existe divers procédés. Deux seulement sont utilisables pour la préparation des essences officinales: celui par distillation dans la vapeur d'eau de plantes à essence ou de certains de leurs organes, et celui par expression ». La Pharmacopée précise ensuite que le second procédé est recommandé pour obtenir les essences des fruits du genre *Citrus*. Depuis la 9^{ème} édition (1972), la Pharmacopée n'utilise plus que le terme « huile essentielle» [10].

Plus récemment, les normes AFNOR NF T 75-006 et AFNOR ISO 9235 ont donné la définition suivante d'une huile essentielle: « Produit obtenu à partir d'une matière première végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des *Citrus*, soit par distillation sèche. L'huile essentielle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques pour les deux premiers modes d'obtention; elle peut subir des traitements physiques n'entraînant pas de changement significatif de sa composition [par exemple, redistillation, aération, ...] » [10].

2. Répartition des huiles essentielles dans le règne végétal

Parmi les 800 000 espèces végétales prospérant sur la planète, seuls 10% ont la possibilité de synthétiser une essence; ces plantes aromatiques montrent un degré de sophistication important. Elles poussent dans le monde entier, chacune ayant sa zone géographique et son climat de prédilection [11,8].

La majorité d'entre elles appartient, chez les angiospermes, aux ordres suivants : Astéales, Lamiales, Laurales, Magnoliales, Rutales et Sapindales ; et chez les gymnospermes, à la classe des conifères [8].

La classification de certaines de ces plantes selon leurs familles d'appartenance est citée dans l'Annexe I.

❖ Localisation des huiles essentielles dans les plantes aromatiques

L'huile essentielle se trouve dans les cellules sécrétrices spécifiques. Ce sont des structures histologiques spécifiques servant à leur synthèse et à leur stockage. Les cellules sécrétrices sont rarement à l'état isolé, mais le plus souvent regroupées dans des poches (Myrtacées, Rutacées), dans les canaux sécréteurs (Apiacées, Astéracées) ou dans les poils sécréteurs (Lamiacées). Ces cellules sont le plus souvent à la périphérie des organes extérieurs de la plante [12].

La partie de la plante utilisée pour l'obtention de l'huile essentielle doit être précisée, soit pour des questions de rendement, soit parce que la composition chimique de la partie considérée conduira à une application spécifique. Par exemple:

- Fleurs : oranger, lavande, rose ;
- Feuilles : eucalyptus, citronnelle, menthe ;
- Ecorces : cannelier ;
- Bois : rose, camphrier, santal ;
- Rhizomes : curcuma, gingembre ;
- Fruits secs : badiane, anis, persil ;
- Graines : muscade [12].

Le nom de l'huile essentielle peut différer en fonction de l'organe producteur; par exemple, l'oranger amer (*Citrus aurantium var. amara*), sa feuille donne de l'HE de petit grain bigaradier, sa fleur de l'HE de néroli, son zeste de l'essence d'orange amère [13].

3. Biosynthèse des composés chimiques des huiles essentielles

3.1. Composition chimique des huiles essentielles

Ce sont des mélanges complexes et variables, de constituants appartenant de façon quasi-exclusive à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes d'une part et le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane d'autre part. Le poids moléculaire de ces composés est assez faible, généralement compris entre 150 et 200 daltons [14]. (Annexe II)

➤ **Groupe des terpénoïdes**

Dans le cas des HE, les terpénoïdes les plus volatils (masse moléculaire la moins élevée : monoterpènes et les sesquiterpènes) sont les plus concernés. Porteurs de fonctions dont le degré d'oxydation est variable, ils donnent naissance à des milliers de substances différentes [14].

* **Monoterpènes**

Ils sont constitués de deux molécules d'isoprène C_5H_8 et ont pour formule de base $(C_5H_x)_2$. Ils peuvent être acycliques (linéaires) comme le géraniol et le linalol, monocycliques comme le menthol et le thymol ou bicycliques comme l'eucalyptol. Les monoterpènes constituent parfois plus de 90% de l'HE (citrus, térébenthine) [14,15].

* **Sesquiterpènes**

Ce sont des dérivés d'hydrocarbures en $C_{15}H_{22}$ (assemblage de trois unités d'isoprène). Il s'agit de la classe la plus diversifiée des terpènes qui se divise en plusieurs catégories structurales, acycliques, monocycliques, bicycliques, tricycliques, polycycliques. Ils se trouvent sous forme d'hydrocarbures ou sous forme d'hydrocarbures oxygénés. À l'exemple du farnésène et du zingiberène [15,16].

➤ **Groupe des composés aromatiques**

Contrairement aux dérivés terpéniques, les composés aromatiques sont moins fréquents dans les HE. Très souvent il s'agit d'allyle et de propenylphénol. Ils constituent un ensemble important car ils sont généralement responsables des caractères organoleptiques des huiles essentielles, à l'exemple de l'eugénol qui est responsable de l'odeur du clou de girofle [17].

➤ **Composés d'origines diverses**

Lors de la préparation des HE, certains composés aliphatiques de faible masse moléculaire sont entraînés lors de l'hydrodistillation tels que les carbures, les acides, les alcools, les aldéhydes et les esters [14].

3.2. Biosynthèse

Elle se fait selon deux voies principales (voir Annexe III):

➤ Voie des terpénoïdes

Biogénétiquement, le précurseur universel de tous les terpènes est l'acide mévalonique, obtenu après condensation enzymatique de trois molécules d'acide acétique. Sa phosphorylation suivie d'une décarboxylation aboutit à l'unité isoprénique de base : le pyrophosphate d'isopentén-3-yle (PPI-3) qui en s'isomérisant donne le pyrophosphate d'isopentén-2-yle (PPI-2). Sa propriété d'être un agent alkylant électrophile lui permet de fixer des unités (PPI-3) donnant une combinaison qui est à l'origine, selon le nombre d'unités isopréniques fixées, des intermédiaires biosynthétiques suivant :

- Géranylpyrophosphate (C-10) : donne naissance aux monoterpènes ;
- Farnésylpyrophosphate (C-15) : aboutit aux sesquiterpènes ;
- Géranylgeranylpyrophosphate (C-20) conduit aux diterpènes [16].

* **Biosynthèse des monoterpènes** : l'isopentényl-pyrophosphate se combine à du diméthylallyl-pyrophosphate pour donner du géranyl-pyrophosphate.

L'élimination du groupe « pyrophosphate » mène à la formation de monoterpènes acycliques comme l'ocimène ou le myrcène. L'hydrolyse du groupe phosphaté donne le monoterpénoïde linéaire prototypique : le géraniol. D'autres réarrangements et oxydations amènent à des composés comme le citral, le citronellal, le citronellol, le linalol et bien d'autres [15].

En plus de ces formes linéaires, l'isopropène peut s'arranger de manière à former des cycles : les plus communs ont un cycle à six carbones. L'exemple classique est celui du limonène, composé cyclique formé à partir du géranyl-pyrophosphate.

Le géranyl-pyrophosphate peut également engendrer une séquence de deux réactions de cyclisation pour donner des monoterpènes bicycliques, comme le pinène, principal constituant de la résine de pin [15].

* **Biosynthèse des sesquiterpènes** : le pyrophosphate de farnésyle (FPP), sous deux configurations (2Z, 6E) et (2E, 6E), est à l'origine de la quasi-totalité des composés sesquiterpéniques.

Les sesquiterpènes acycliques sont donc directement issus de ces précurseurs, ou par transformation des carbocations correspondants.

Les sesquiterpènes cycliques sont formés par cyclisation des carbocations issus des deux isomères géométriques du FPP [18].

➤ Voie des phénylpropanoïdes

La synthèse des HE par cette voie, commence par un métabolite du fructose, le PEP (phosphoenolpyruvate). Elle aboutit à un très grand nombre de composés aromatiques, via une série d'acides, dont l'acide shikimique (d'où son nom, voie shikimique) et l'acide cinnamique. Les métabolites terminaux, importants en thérapeutique, sont les acides aromatiques suivants : acide salicylique, cinnamique et benzoïque et leurs esters dont le salicylate de méthyle, les cinnamates, les benzoates, certains phénols (eugénol) ainsi que les coumarines, etc.

Quelques grandes familles chimiques de molécules non volatiles, comme les tannoïdes et les flavonoïdes, se trouvent incluses dans cette voie [17].

4. Facteurs de variabilité des huiles essentielles

La qualité des huiles essentielles varie selon :

* **L'origine botanique** : la composition d'une HE varie selon l'espèce productrice. Ainsi, il semble utile de souligner l'importance qu'il convient d'accorder à la nomenclature scientifique [19].

* **Le mode de culture** : cela précise si la plante est sauvage ou cultivée et issue d'une culture biologique ou non [20].

* **La nature du sol** : les résultats des expériences représentent une très bonne illustration sur l'influence de la nature du sol sur le rendement en huiles essentielles :

-L'azote augmente le rendement en essences des plantes ;

-Le potassium employé seul, au contraire, diminue sensiblement la teneur en HE [19].

* **Le stade de développement botanique** : les caractéristiques des chémotypes dépendent parfois du stade de développement (cueillette avant, pendant ou après floraison ...) [20]. Des variations parfois très importantes sont couramment observées dans certaines espèces par exemple, pour la coriandre, la teneur en linalol (alcool) est 50% plus élevée chez le fruit mur que chez le fruit vert. De ce fait le choix d'une date de récolte s'impose [19].

* **L'organe distillé (ou exprimé pour le zeste de citrus uniquement)** : la composition biochimique des HECT varie en fonction de la partie ou organe de la plante distillée [20].

* **Le mode d'obtention**: la labilité des constituants des huiles essentielles explique que la composition du produit obtenu par hydrodistillation soit, le plus souvent différente de celle du

mélange initialement présent dans les organes sécréteurs du végétal. En effet, au cours de l'hydrodistillation, l'eau et la température peuvent induire l'hydrolyse des esters, mais aussi, des réarrangements, des isomérisations et des oxydations.

Donc pour assurer la qualité du produit et de la constance, il faut étudier, définir et contrôler l'ensemble des paramètres de la culture à l'élaboration du produit final [19].

*** La lumière et la température :** elles sont les plus influentes sur la composition des HE, d'ailleurs elles agissent sur celle-ci simultanément. Certains auteurs admettent que la quantité d'HE augmente dans la journée, atteint un maximum dans l'après-midi ou le soir et diminue dans la nuit. D'autres disent, que les plantes aromatiques doivent être cueillies avant l'aube, lorsque la rosée du matin est encore présente et avant que la chaleur n'en libère la substance aromatique. Cependant, sur d'autres espèces, on signale que le rendement nocturne en HE est de 20% supérieur à celui du jour [19].

*** Les facteurs génétiques**

Les hybridations : les hybridations introduisent l'hétérogénéité dans une population végétale. La composition des huiles essentielles issues de ces hybrides est variable et se situe en général entre celles des huiles essentielles des plantes mères [19].

Les facteurs de mutations : par mutation, une nouvelle race chimique peut apparaître. Elle peut être à peine perceptible dans les caractères morphologiques, alors qu'elle est susceptible de provoquer de profondes modifications dans la composition de l'huile essentielle [19].

Les races chimiques : les chimiotypes ou races chimiques sont très fréquents chez les plantes à huiles essentielles, et ceci, pour une même espèce botanique.

Ces races chimiques peuvent fournir de part leur composition, différentes huiles essentielles.

*** Les problèmes phytosanitaires**

Les maladies : les plantes malades sont caractérisées par une déformation, une chute prématurée des feuilles ainsi que les rameaux aux taches brunes. La récolte est alors compromise et la qualité de l'HE dépréciée [19].

Les ennemis animaux : les plus dévastateurs et donc les plus redoutables sont les nématodes pathogènes. Par les attaques qu'ils occasionnent aux parties sous-terraines, ces derniers diminuent la longévité des cultures et les rendements [19].

5. Modes d'extraction des huiles essentielles

Il existe plusieurs méthodes pour extraire les huiles essentielles. Les principales sont basées sur l'entraînement à la vapeur, l'expression, la solubilité et la volatilité. Le choix de la méthode la mieux adaptée se fait en fonction de la nature de la matière végétale à traiter, des caractéristiques physico-chimiques de l'essence à extraire, de l'usage de l'extrait et de l'arôme de départ au cours de l'extraction [21].

5.1. L'hydrodistillation

L'hydrodistillation est la méthode normée pour l'extraction d'une huile essentielle, ainsi que pour le contrôle de qualité. Elle a pour principe celui de la distillation des mélanges binaires non miscibles (distillation hétérogène) [22].

Elle consiste à immerger la biomasse végétale dans un alambic (à l'échelle industrielle, et un Clevenger à l'échelle laboratoire) rempli d'eau, que l'on porte ensuite à l'ébullition. La vapeur d'eau et l'essence libérée par le matériel végétal forment un mélange non miscible.

Cette méthode est simple dans son principe et ne nécessite pas un appareillage coûteux. Cependant, à cause de l'eau, de l'acidité et de la température du milieu, il peut se produire des réactions d'hydrolyse, de réarrangement, de racémisation, d'oxydation, d'isomérisation, etc. qui peuvent très sensiblement conduire à une dénaturation de l'HE [21]. (Figure 1)

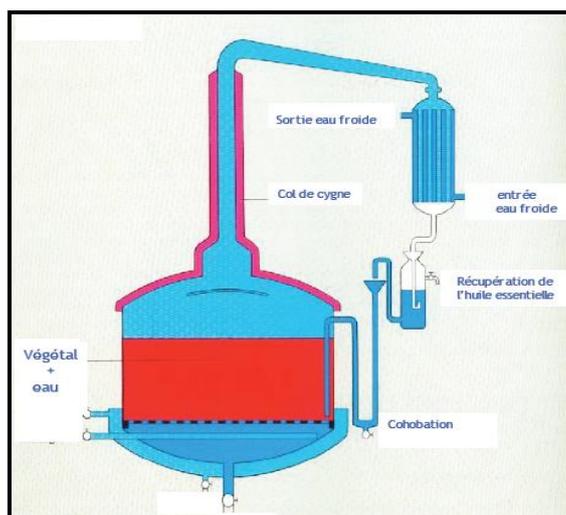


Figure 1: Hydrodistillation [23]

5.2. L'entraînement à la vapeur d'eau

L'entraînement à la vapeur d'eau est l'une des méthodes officielles pour l'obtention des huiles essentielles. À la différence de l'hydrodistillation, cette technique ne met pas en contact direct l'eau et la matière végétale à traiter. De la vapeur d'eau fournie par une chaudière traverse la matière végétale située au dessus d'une grille. Durant le passage de la vapeur à travers le matériel, les cellules éclatent et libèrent l'HE qui est vaporisée sous l'action de la chaleur pour former un mélange « eau + HE ». Le mélange est ensuite véhiculé vers le condenseur et l'essencier avant d'être séparé en une phase aqueuse et une phase organique [22]. (Figure 2)

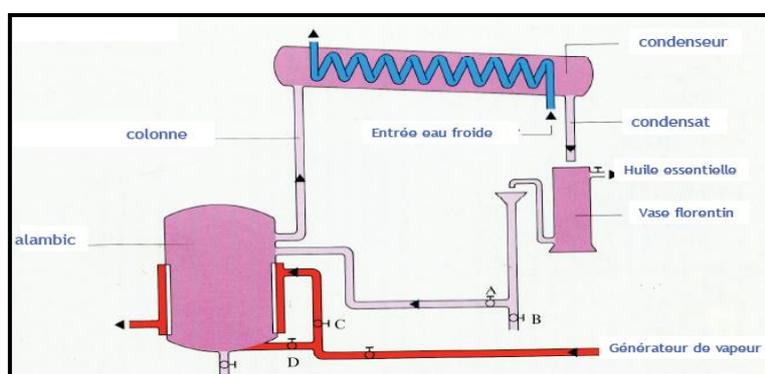


Figure 2 : Entraînement à la vapeur d'eau [23]

5.3. L'hydrodiffusion

Elle est une variante de l'entraînement à la vapeur. Dans le cas de l'hydrodiffusion, le flux de vapeur n'est pas ascendant mais descendant. Comme pour l'entraînement à la vapeur d'eau, l'hydrodiffusion présente l'avantage de ne pas mettre en contact le matériel végétal et l'eau. De plus, l'hydrodiffusion permet une économie d'énergie due à la réduction de la durée de la distillation et donc à la réduction de la consommation de vapeur [22]. (Figure 3)

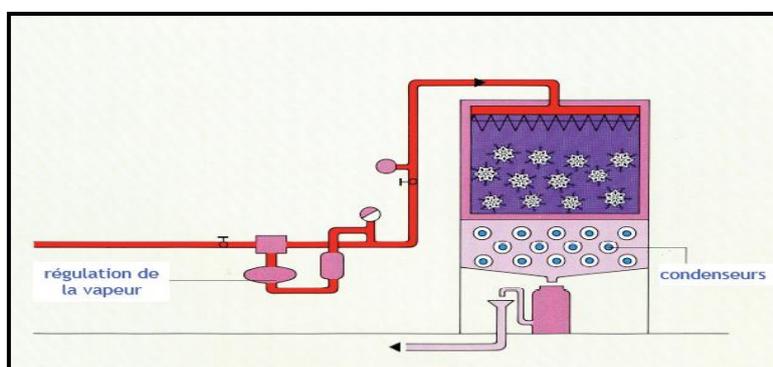


Figure 3 : Hydrodiffusion [23]

5.4. La distillation à vapeur saturée

Dans cette variante, la matière végétale n'est pas en contact avec l'eau. La vapeur d'eau est injectée au travers de la masse végétale disposée sur des plaques perforées. La distillation à vapeur saturée est la méthode la plus utilisée à l'heure actuelle dans l'industrie pour l'obtention des huiles essentielles à partir de plantes aromatiques ou médicinales. En général, elle est pratiquée à la pression atmosphérique ou à son voisinage et à 100°C, température d'ébullition d'eau. Son avantage est que les altérations de l'HE recueillie sont minimisées [21].

5.5. Distillation sèche

La distillation « sèche », aussi appelée distillation destructive, est utilisée pour la séparation des produits chimiques liquides contenus dans des matériaux solides [22]. Elle est réalisée, de préférence, sur le bois ou les écorces. La distillation sèche n'utilise pas d'eau ou la vapeur d'eau ajoutée au végétal, contrairement à l'entraînement par la vapeur et aboutit à un distillat ayant souvent l'apparence d'un goudron, qui est ensuite raffiné par distillation fractionnée, afin d'éliminer les produits toxiques [12].

5.6. L'expression à froid

L'extraction par expression est souvent utilisée pour extraire les huiles essentielles des agrumes du genre *Citrus*. Son principe consiste à rompre mécaniquement les poches sécrétrices d'HE qui se trouvent dans le péricarpe. L'huile essentielle est séparée par décantation à froid ou centrifugation. D'autres machines rompent les poches par dépression et recueillent directement l'HE, ce qui évite les dégradations liées à l'action de l'eau [12].

D'autres extraits végétaux sont obtenus par extraction avec des solvants non aqueux volatils (hexane, éther...) tandis qu'un nouveau procédé d'extraction s'est développé récemment, l'extraction au CO₂ supercritique. Dans tous ces cas, il ne s'agit alors plus d'huiles essentielles, terme réservé aux produits de la distillation aqueuse, à sec ou de l'expression à froid, mais d'extraits végétaux qui portent différents noms selon les procédés successifs qui leur sont appliqués : concrètes, absolues, résinoïdes, oléorésines, etc.

Enfin, l'extraction sans distillation par de l'alcool, de l'eau liquide ou un mélange des deux, porte différents noms selon les méthodes pratiquées : tisane, macération, décoction, extrait hydro-alcoolique, teinture, etc.

L'ensemble est regroupé sous le terme générique « extraits naturels complexes » [15].

6. Rendement de l'extraction des huiles essentielles

Selon l'AFNOR 2000, le rendement est défini comme étant le rapport entre la masse de l'HE obtenue et la masse du matériel végétal utilisé pour cent. Après récupération des HE, le rendement est calculé par la méthode suivante :

$$R^{dt} \% = (m_{HE} / m_{végétal}) \times 100$$

$R^{dt} \%$: rendement en HE en g pour 100 g de la matière végétale ;

m_{HE} : masse d'HE récupérée en grammes (g) ;

$m_{végétal}$: masse du matériel végétal utilisé en grammes (g) [17].

Le rendement peut aussi être exprimé en ml/kg de matière végétale.

Quantitativement, les teneurs en HE des végétaux sont plutôt faibles, souvent inférieures à 10 ml/kg (1%) [24]. Ce qui explique leur coût de production mais aussi leur puissante activité [25].

Des teneurs fortes comme celle du bouton floral du giroflier (150 ml/kg soit environ 15% et plus dans les plantes sèche) sont exceptionnelles. Déterminer la bonne période de récolte est primordial en termes de rendement et de qualité. Les plantes sont généralement distillées à l'état frais, parfois après séchage comme le clou de girofle, ou préfanées quelques heures, voire 1 jour ou 2, comme par exemple dans le traitement des lavandes et lavandins.

Ainsi, il ne faut pas négliger l'impact du climat sur le rendement et la qualité, mais aussi celui de la zone géographique, de la période de récolte, du moment et du mode d'extraction [24].

7. Caractérisation des huiles essentielles

7.1. Caractérisation organoleptique

- ❖ **Aspect** : Liquides à température ambiante, rarement visqueuses (myrrhe), certaines cristallisent partiellement ou totalement à plus faible température (anis : anéthole; menthe des champs: menthol; thym saturéioïde : boméol); de même qu'à basse température (eucalyptus: eucalyptole).

Elles n'ont pas le toucher gras et onctueux des huiles fixes [26,8].

- ❖ **Couleur:** les HE fraîches sont rarement colorées [26].
- ❖ **Odeur :** agréable, aromatique [27,28].
- ❖ **Saveur :** douce, piquante, caractéristique, fruitée, fraîche, etc. [29].

7.2. Caractérisation physique

- ❖ **Pouvoir rotatoire :** définit l'activité optique, qui est une caractéristique des molécules énantiomères (chirales), c'est-à-dire qu'elles existent sous deux configurations spatiales différentes et non superposables [12]. Elles ont la propriété de faire tourner le vecteur d'un faisceau lumineux les traversant.

Il est mesuré à l'aide d'un polarimètre [15].

Les HE sont le plus souvent optiquement actives [30].

- ❖ **Densité relative :** elle représente le rapport de la masse d'un volume de liquide (HE dans notre cas) par la masse du même volume d'eau. Elle est sans unité et varie selon la température. La densité relative est mesurée par deux appareils : le densimètre (ou aéromètre) et le pycnomètre [12]. La densité des HE est plus souvent inférieure à celle de l'eau [30], cependant, certaines ont une densité supérieure ou voisine de celle de l'eau, comme l'HE d'écorces de *Cinnamomum verum*; ainsi que celles de saffran, clous de girofle, et graines de carotte [8].

- ❖ **Indice de réfraction :** c'est une grandeur sans dimension caractéristique d'un milieu, décrivant le comportement de la lumière dans celui-ci ; il dépend de la longueur d'onde de mesure mais aussi des caractéristiques de l'environnement dans lequel se propage la lumière [15].

L'appareil le plus couramment utilisé pour sa mesure est le réfractomètre d'Abbe [12].

Les HE ont un indice de réfraction élevé [30].

❖ Solubilité des huiles essentielles

- **Dans l'eau :** elles ne sont naturellement pas, ou très peu, solubles dans l'eau ; certains composants sont néanmoins plus solubles que d'autres (verbénone du romarin officinal, lavandulol de la lavande vraie) ; quelques-unes ont des constituants particulièrement solubles, ce qui entraîne, durant la distillation des écorces de cannelle, l'obtention habituelle d'émulsions [8].
- **Dans les huiles fixes :** elles sont totalement solubles dans les huiles grasses (meilleurs solvants des huiles essentielles) [8].

- **Dans l'éthanol :** plusieurs tests de solubilité sont réalisés avec des volumes croissants d'alcool par rapport à la même quantité d'HE. Il suffira de déterminer la limite de solubilité de l'HE à analyser par rapport à l'éthanol.
Une composition très riche en terpénoïdes et souvent en molécules polaires, permet la solubilisation des HE dans l'éthanol [12].
 - **Dans les solvants organiques :** les HE s'y solubilisent très bien [8].
- ❖ **Point d'ébullition :** le point d'ébullition des HE est relativement haut (150°C-300°C) cependant, elles sont extrêmement volatiles à température ambiante [29].
 - ❖ **Point de solidification :** c'est la température maximale observée lorsque le liquide se solidifie au cours du refroidissement. Elle augmente en fonction de la teneur en 1,8-cinéole qui est dosé par des techniques chromatographiques [12]. Rares sont les HE qui se solidifient au froid (*Tanacetum annuum*: chamazulène) [8].

7.3. Caractérisation chimique

- ❖ **Indice d'acide :** I_A est le nombre de milligramme (mg) de potasse nécessaire pour neutraliser les acides libres dans 1 gramme (g) d'HE selon la réaction :

$$\text{RCOOH} + \text{KOH} \longrightarrow \text{RCOOK} + \text{H}_2\text{O}$$
 (réaction à température ambiante) [12]
- ❖ **Indice d'ester :** I_E est le nombre de milligramme (mg) de potasse nécessaire pour saponifier les esters présents dans 1 gramme (g) d'HE selon la réaction :

$$\text{RCOOR}' + \text{KOH} \longrightarrow \text{RCOOK} + \text{R}'\text{OH}$$
 (réaction à chaud) [12]
- ❖ **Indice de saponification :** I_S est la masse d'hydroxyde de potassium KOH, exprimée en milligrammes, nécessaire pour neutraliser les acides libres et saponifier les acides estérifiés contenus dans un gramme d'HE [15].
- ❖ **Eau dans les huiles essentielles :** la méthode de Karl et Fischer est très efficace pour doser la teneur en eau des HE. Elle se base sur l'oxydation du dioxyde de soufre en présence d'eau : $\text{SO}_2 + \text{I}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{HI}$.
Or, cette équation est réversible, l'eau n'est donc pas consommée entièrement et son dosage ne peut pas être quantitatif. Pour remédier à cela, il faut ajouter une base : l'imidazole. Celle-ci va capter toute l'acidité formée lors de la réaction (HI et H_2SO_4) et permettre de déplacer la réaction vers la droite, cette dernière pourra ainsi être utilisée quantitativement [12,15].

❖ **Analyse des composés chimiques de l'huile essentielle :** différentes méthodes analytiques sont utilisées, telles que la spectroscopie infrarouge, la chromatographie sur couche mince et la chromatographie en phase gazeuse (CPG ou GC) qui est la méthode la plus utilisée dans le domaine des huiles essentielles.

◆ **Chromatographie en phase gazeuse :** c'est une méthode de séparation des composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans subir une décomposition.

La CPG s'applique à des échantillons gazeux ou susceptibles d'être vaporisés sans la décomposition dans l'injecteur. La phase mobile est alors un gaz (hélium, azote, argon ou hydrogène), appelé gaz vecteur qui balaie en permanence la colonne. Cette dernière contient la phase stationnaire. Un grand choix de détecteurs permet l'analyse sélective et parfois l'identification de mélanges très complexes comme dans le cas des huiles essentielles [30].

La détermination de la composition chimique des HE est généralement réalisée par la combinaison de la chromatographie en phase gazeuse avec la spectrométrie de masse (MS), qui est une technique physique d'analyse qui permet de détecter et d'identifier des molécules d'intérêt par mesure de leur masse, le couplage GC/MS permet donc de séparer, de comptabiliser et d'identifier les composés chimiques d'après leur indice de rétention et leur spectre de masse [26, 27, 15].

8. Conservation et étiquetage des huiles essentielles

8.1. Conservation

Les principaux facteurs responsables des altérations des huiles essentielles sont l'air, la lumière, la chaleur et la présence des métaux lourds.

La conservation sous atmosphère d'azote, l'utilisation de flacons de faibles volumes et l'emploi de billes de verre réparties à la surface du liquide minimisent l'action oxydante de l'oxygène de l'air.

L'emploi de flaconnage en verre brun ou mieux en aluminium ou en acier inoxydable, évite la détérioration des huiles essentielles par la lumière ou les métaux lourds [18].

Le flacon sera toujours bien scellé par un bouchon étanche afin d'éviter l'évaporation.

Le stockage doit se faire à l'abri de la chaleur à une température variant de +4° à +20°C.

Dans ces conditions, les HECT pures et naturelles se conserveront pendant au moins 5 ans.

Les essences de Citrus se conservent un peu moins bien (3 ans) [9].

8.2. Étiquetage

Selon les différentes législations, l'étiquetage des HE doit comporter les informations suivantes :

- Le nom scientifique de la matière première végétale utilisée, ainsi que le nom vernaculaire pour une meilleure identification ;
- La partie de la plante utilisée ;
- Le nom de l'huile essentielle et/ou le chémotype ;
- La méthode de production ;
- Les symboles et indications de danger équivalant à la classification ;
- Mentions : HE 100% pure, Tenir hors de la portée des enfants ;
- La quantité de remplissage lorsqu'il s'agit de substances et de préparations accessibles au grand public ;
- La désignation chimique des substances dangereuses s'il s'agit d'une préparation (mélange d'huiles essentielles), qui doit être conforme à une nomenclature internationale reconnue ;
- Numéro de lot, date de production et date de péremption ;
- Nom, adresse et numéro de téléphone du fournisseur [27,31].

9. Intérêt des huiles essentielles

9.1. Intérêt physiologique des huiles essentielles pour la plante

Le rôle des HE n'a pas pu être clairement démontré. En effet, on considère qu'il s'agit de déchets du métabolisme. Toutefois, certains auteurs présentent que la plante utilise son HE pour repousser les insectes, ou au contraire pour les attirer et favoriser la pollinisation.

D'autres les considèrent comme une ressource énergétique, facilitant certaines réactions chimiques et d'autre part, elles conservent l'humidité nécessaire à la vie des plantes exposées à des climats désertiques [19].

9.2. Intérêt des huiles essentielles en pharmacie et leurs propriétés thérapeutiques

Les huiles essentielles possèdent de nombreuses propriétés [32]. Elles sont aujourd'hui de plus en plus utilisées en pharmacie, pures ou au sein de spécialités que ce soit à des fins d'aromatisation (excipient) ou comme principe actif [33] en raison de leurs propriétés pharmacologiques suivantes :

- ❖ **Antimicrobiennes** (ce point sera détaillé plus loin dans le chapitre III)
- ❖ **Insecticides**

Certaines HE sont insectifuges ou insecticides comme celles possédant des fonctions aldéhydes comme le citronnellal contenu dans l'huile essentielle d'Eucalyptus citronné ou de citronnelle [32].

- ❖ **Anti-inflammatoires**

Les huiles essentielles possédant des aldéhydes ont des propriétés actives contre l'inflammation par voie interne comme l'huile essentielle du Cumin des prés [11].

- ❖ **Régulatrices du système nerveux**

- Antispasmodiques: comme l'huile essentielle d'Hélichryse;
- Calmantes, anxiolytiques: à l'exemple de l'huile essentielle de Verveine citronnée;
- Analgésiques, antalgiques: les huiles essentielles d'Eucalyptus citronné, de Gingembre ou encore de Lavande vraie [32].

- ❖ **Drainantes respiratoires**

- Expectorantes : les huiles essentielles riches en oxyde (1, 8 cinéole) comme l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* ou du Romarin agissent sur les glandes bronchiques et sur les cils de la muqueuse bronchique [32].
- Fluidifiantes : les huiles essentielles possédant des cétones (comme la verbénone contenu dans l'huile essentielle du Romarin) ont une action mucolytique en dissolvant les sécrétions accumulées au niveau de la muqueuse [32].

❖ Digestives

Les huiles essentielles de cumin (avec la molécule de cuminal), d'anis étoilé ou par exemple d'estragon ont une action digestive et apéritive. Elles permettent la stimulation de la sécrétion des sucs digestifs. L'huile essentielle de menthe poivrée atténue les nausées [32].

❖ Cicatrisantes

Les HE cicatrisantes sont celles de Ciste, de Lavande vraie, d'Immortelle et celle de Myrrhe. On utilise souvent un mélange de plusieurs HE cicatrisantes avec une huile végétale comme l'huile d'amande douce [32].

❖ Endocrinorégulatrices

Ici, l'activité peut être directe, ou bien s'exprimer par l'intermédiaire de l'hypophyse. On distingue cliniquement des activités :

- Œstrogen-like : comme le trans-anéthol contenu dans l'HE du fenouil doux ;
- Cortison-like : tels que les composés terpéniques de *Pinus sylvestris* ;
- Antithyroïdienne : le petit calament de montagne, et la myrrhe, ont été utilisés avec succès dans certains cas d'hyperthyroïdie [8].

❖ Vasculotropes et hémotropes

Certaines HE sont : - Hyperémiantes (Cannelle de Chine) ;
- Phlébotoniques et lymphotoniques (Cypres de Provence) ;
- Anticoagulantes, fibrinolytiques et antihématomes (Hélichryse italienne) ;
- Hémostatiques (Géranium d'Égypte) ;
- Hypotensives (Citron) ou Hypertensives (Clous de girofle) [11].

❖ Hépatostimulantes et hépatoprotectrices

Le menthol de l'huile essentielle de menthe poivrée, et le carotol de l'huile essentielle de la carotte cultivée, sont de remarquables stimulants hépatocytaires [11].

9.3. Intérêt des huiles essentielles en parfumerie

Les huiles essentielles sont largement utilisées en parfumerie, les fragrances fournies par la nature étant infinies, chaque année ce sont des centaines de nouveaux parfums qui sont lancés sur le marché [34].

Alors que le parfum est de nos jours davantage utilisé pour le plaisir et pour un usage cosmétique, les huiles essentielles retrouvent cependant progressivement une application dans le domaine thérapeutique [35].

En effet, la tendance actuelle serait l'utilisation bénéfique de l'activité antiseptique des HE, notamment, par fumigation pour purifier l'air atmosphérique dans les centres de soins (hôpitaux, cliniques) et aussi dans les maisons par diffusion d'HE dans l'air. Des travaux récents soulignent l'apport bénéfique des HE face aux infections nosocomiales bactériennes dont les souches sont résistantes aux antibiotiques utilisés traditionnellement [12].

9.4. Intérêt des huiles essentielles en cosmétologie

Les huiles essentielles sont utilisées depuis très longtemps en cosmétique car elles présentent des propriétés biologiques intéressantes [36] :

- Activité régénératrice cutanée : les HE stimulent la synthèse des kératinocytes au niveau de l'épiderme. Les kératinocytes sont des cellules spécifiques constituant environ 90% de la couche superficielle de la peau (épiderme) et des phanères (ongles, cheveux, poils) [35].
- Activité anti-oxydante et anti-inflammatoire : les HE luttent contre le vieillissement cutané. Ainsi, elles prennent en charge tous les domaines de la beauté. Leurs principes actifs franchissent très rapidement la barrière cutanée et sont absorbés par la peau pour agir en douceur [37].

9.5. Intérêt des huiles essentielles en industrie chimique

L'huile essentielle est un mélange très complexe. Il est possible d'isoler des molécules d'intérêt, soit pour un usage ultérieur en tant que produit naturel présent sous une seule forme énantiomorphe, soit pour la réalisation d'hémisynthèses avec l'obtention finale de nouvelles molécules, économiquement plus rentables que la synthèse chimique classique qui présente des rendements faibles au bout de nombreuses étapes réactionnelles [12].

9.6. Intérêt des huiles essentielles en agroalimentaire

Les huiles essentielles sont utilisées comme rehausseurs de goût et pour améliorer la saveur des produits alimentaires élaborés. Depuis peu, les industriels ont souhaité l'utilisation des huiles essentielles comme conservateurs, au détriment des molécules de synthèse classiques couramment utilisées, telles que les parabènes [12].

10. Modes d'utilisation des huiles essentielles

Les huiles essentielles peuvent être utilisées sous différentes formes : diffusion atmosphérique, par voie cutanée ou encore par voie interne.

◆ Évaporation ou diffusion atmosphérique

Cet usage permet de désinfecter, à l'aide d'un diffuseur ou d'un spray, l'atmosphère d'une pièce, susceptible d'être chargée en microbes [19].

◆ Voie nasale (inhalation)

Il y a deux formes d'inhalations possibles :

- Inhalation humide : principalement utilisée pour décongestionner les voies aériennes supérieures. Elle consiste à inspirer les huiles essentielles entraînées par la vapeur d'eau.
- Inhalation sèche : elle est utilisée lors de stress, de troubles ORL ou pour assainir les voies respiratoires. Elle consiste à déposer quelques gouttes d'huile essentielle sur un mouchoir et de le porter à son nez pour le respirer [35].

◆ Voie cutanée

C'est la voie idéale d'utilisation des huiles essentielles qui agissent au niveau local mais également de manière plus profonde dans l'organisme, les actifs traversent la barrière cutanée tout en stimulant l'odorat [19].

La plupart des huiles essentielles peuvent être utilisées par voie cutanée en massage, frictions, compresse, embaumement vivant ou bain aromatique [8,19,38,39].

Mis à part pour l'embaumement vivant [38], il est conseillé de ne pas les appliquer pures et de privilégier une dilution (1 à 50 %) avec des huiles végétales pour limiter les risques d'irritations [39].

◆ Voie orale

Prescrite dans le traitement de troubles digestifs (nausées, dyspepsie...) et d'infections respiratoires ou urinaires.

Deux modes d'ingestion possibles des huiles essentielles par voie orale:

- Par voie orale pure : elle consiste à ingérer une à deux gouttes d'huile essentielle pure sur un comprimé neutre, sur un sucre, de la mie de pain ou du miel. Renouveler deux à trois fois par jour maximum [19,35].

- Par voie orale diluée : elle impose une préparation spécifique réalisée par un pharmacien. Elle se présente alors sous forme de gélule, de soluté alcoolique, de soluté non alcoolique ou de soluté huileux [35].

◆ Rinçage et gargarisme

Ajouter 2 à 3 gouttes d'essence dans un verre d'eau bouillie pour des rinçages ou des gargarismes en cas d'inflammation des muqueuses de la bouche ou de la gorge [19].

◆ Voie rectale

Contenues dans des suppositoires, c'est la voie la plus adaptée pour administrer les huiles essentielles aux enfants [35].

Ce mode d'administration est particulièrement intéressant en cas de nausées, de vomissements ou d'intolérance gastrique. Les suppositoires sont toutefois contre-indiqués en cas d'hémorroïdes, de rectocolite et de maladie de Crohn [35].

◆ Voie gynécologique

Sous forme d'ovules, de lavement ou de crème dans toutes les inflammations, infections ou même déséquilibres notamment attribués à la ménopause [12]. La muqueuse vaginale étant très perméable, la concentration en HE doit rester faible (5 à 10% maximum) [35].

◆ Voie ophtalmique

Hydrolats uniquement (et plus précisément ceux contenant encore quelques substances des plus hydrophiles de l'HE), pour apaiser, « désenflammer » [12].

◆ Voie auriculaire

Il faut éviter d'introduire des HE dans l'oreille. En cas de nécessité, se limiter à des HE non toxiques et non irritantes, à des concentrations inférieures à 2%. En revanche, des applications péri-auriculaires sont judicieuses lors de traitements d'otites moyennes [12].

11. Toxicologie des huiles essentielles

11.1. Toxicocinétique

La toxicocinétique des huiles essentielles est difficile à établir. En effet, si l'on peut étudier et décrire les effets biologiques et/ou pharmacologiques d'un monoterpène ou sesquiterpène pur, il est difficile de parler de pharmacocinétique ou de métabolisme d'une huile essentielle, c'est-à-dire d'un mélange d'une centaine de composés [14].

À partir des connaissances disponibles, nous allons décrire la toxicocinétique des HE.

- **Absorption** : elle se fait par diffusion passive et dépend de plusieurs paramètres :
 - Du xénobiotique : poids moléculaire, lipophilie/hydrophilie ;
 - De la surface d'échange: taille, épaisseur, temps de contact.

Ce mécanisme est possible grâce à un gradient de concentration.

L'absorption des huiles essentielles dans l'organisme peut se faire selon trois voies :

- ✓ **Voie orale** : elle correspond au franchissement de la barrière gastro-intestinale. Les xénobiotiques subissent donc l'effet du premier passage intestinal et hépatique ;
- ✓ **Voie cutanée** : elle assure une absorption rapide et une biodisponibilité quasi-totale ;
- ✓ **Voie respiratoire** : l'huile essentielle atteint l'épithélium alvéolaire et y est absorbée puis se retrouve dans l'organisme [14,27].

- **Distribution** : dans le sang, les substances aromatiques peuvent se fixer réversiblement aux protéines, ce complexe (substance-protéine) est atoxique.

Les huiles essentielles sous forme libre diffusent dans l'ensemble de l'organisme, elles ont une affinité pour les organes riches en lipides [12].

- **Métabolisme** : le composé est biotransformé en métabolites par des réactions enzymatiques. Ces enzymes se retrouvent dans tous les organes, principalement dans le foie. Williams a classé les réactions de biotransformation en :

✓ Réactions de phase 1 : oxydations, réductions, hydrolyses

Trois classes d'enzymes interviennent :

- les monoamines oxydases;
- les mono oxygénases;
- les cytochromes P450.

✓ Réactions de phase 2 : conjugaison (sulfo- et glucuronoconjugaison)

Cette phase aboutit à la formation de substances conjuguées, hydrosolubles [14,27].

- **Élimination** : les composés aromatiques sont éliminés, soit directement par des fonctions d'excrétion (rénale, biliaire et pulmonaire), soit après leur transformation en métabolites plus facilement excrétés [14].

L'insuffisance de l'élimination d'une substance se traduit par un allongement de sa demi-vie, un risque d'accumulation et une augmentation de la toxicité [12].

11.2. Toxicité selon la durée d'exposition à l'huile essentielle

◆ Toxicité aiguë

Toxicité orale aiguë : elle est mesurée par la DL50 (dose létale 50) donnant pour une population test donnée, dans des conditions expérimentales données, la dose tuant 50% des cobayes. La majorité des huiles essentielles couramment utilisées ont une DL50 de 2 à 5 g/Kg (anis, eucalyptus, girofle...) ou plus fréquemment supérieure à 5g/Kg (citronnelle, camomille, lavande...)

Parmi les DL50 d'huiles essentielles reconnues comme toxiques (<1g/Kg), celles de l'armoise et de l'absinthe [12,27].

Toxicité dermique aiguë : elle représente la toxicité systémique et non la toxicité sur la peau elle-même.

Elle repose sur le même principe que la toxicité aiguë par voie orale. Elle dépend aussi de la capacité de l'huile essentielle à traverser la peau et de sa toxicité ; plus la zone d'application est importante plus le passage systémique est important [27].

◆ Toxicité chronique

Elle concerne les effets secondaires survenus sur l'ensemble du corps, quelle que soit la voie d'administration lors de l'utilisation répétée d'huiles essentielles.

Elle dépend des doses administrées, de la fréquence et de la durée des applications.

La toxicité chronique est mesurée par la dose tolérée maximale qui est une DL50 rapportée à la toxicité chronique [12,27].

11.3. Toxicité selon la localisation

◆ Toxicité sur les muqueuses

Elles sont très sensibles et perméables aux HE. Il est recommandé d'utiliser les HE diluées avant de les mettre en contact avec les muqueuses pour éviter tout risque d'irritation. Les HE contenant des phénols sont irritantes (thymol, carvacrol, eugénol) [27].

◆ Hépatotoxicité

De nombreux composants des HE ont des effets sur les enzymes hépatiques. Cette toxicité est grave lorsque de grandes quantités sont ingérées oralement. Les HE contenant des phénols ont une toxicité hépatique lorsqu'elles sont utilisées sur de longues périodes, on ne doit pas les utiliser chez des personnes souffrant de troubles hépatiques ou d'alcoolisme et chez les personnes traitées par des doses importantes de paracétamol [27].

◆ Néphrotoxicité

L'utilisation par voie orale (VO) des huiles essentielles riches en monoterpènes sur de longues périodes peut entraîner une inflammation des reins et détériorer les néphrons. Il faut donc utiliser avec prudence les huiles essentielles de *Pinus*, *Abies*, *Juniperus*, et le *Santalum album*. Les huiles essentielles riches en apiol ne doivent pas être utilisées par VO car elles présentent également une toxicité pour le rein (aneth odorant, persil à apiol) [27].

◆ Toxicité sur le système cardiovasculaire

Le linalol, le géraniol, le citronnellol, le cinéol et le terpinéol ont un effet vasodilatateur ce qui entraîne une hypotension. Leur usage normal ne pose en principe aucun problème [27].

◆ Toxicité sur le système nerveux central (SNC)

Dû à leur caractère lipophile, les huiles essentielles présentent souvent un impact au niveau du SNC. Ce sont les cétones qui montrent la plus grande toxicité [27].

◆ Toxicité sur la peau

Il y a 3 formes de réactions cutanées :

- L'irritation (phénols, aldéhydes aromatiques et terpéniques) ;
- La sensibilisation (les aldéhydes tels que le cinnamaldéhyde, sont couramment impliqués ainsi que les lactones sesquiterpéniques, les phénylpropanoïdes et les hyperoxudes) ;
- La phototoxicité (pyrocumarines).

Elles sont dose-dépendantes et varient d'un individu à un autre. L'application est potentiellement dangereuse sur une lésion cutanée ou une peau enflammée [27].

◆ Carcinogénicité

Certaines substances comme la β -asarone contenue dans l'huile essentielle d'acore calamus, le safrole ou encore le dihydrosafrole contenus dans l'HE de Sassafras, semblent être à l'origine de carcinomes hépatiques selon une étude effectuée chez les rats. Les HE riches en ces composés font actuellement l'objet d'une surveillance stricte [40].

11.4. Précautions d'emploi des huiles essentielles

- Ne jamais injecter d'huiles essentielles (pures ou en complexe) par voies intraveineuse ou intramusculaire.
- N'utiliser que des produits obéissant à des critères qualitatifs rigoureux: huiles essentielles 100% pures et naturelles.
- Les allergies respiratoires, et en particulier les états asthmatiques, constituent des contre-indications à la prescription d'aérosols d'huiles essentielles. Seuls les aérosols d'hydrosols sont autorisés en respectant les précautions d'usage.
- Ne jamais verser d'HE dans l'eau, mais la solubiliser dans un excipient approprié.
- Éviter toute exposition aux rayons solaires dans les heures qui suivent l'application ou la prise per os d'une huile essentielle photosensibilisante.
- Ne jamais laisser les flacons d'huiles essentielles à la portée des enfants.
- En cas d'absorption accidentelle, faire ingérer (et, si possible, faire vomir) de l'huile végétale (1à3 cuillères à soupe) d'olive, de tournesol, etc. Ne jamais faire boire d'eau. Les projections oculaires imposent d'urgence d'essuyer l'œil avec un coton largement imbibé d'huile végétale pure, ou de répandre une ou plusieurs gouttes de cette dernière sur le globe oculaire.
- L'huile essentielle de menthe poivrée ne doit jamais être appliquée sur une zone cutanée étendue (réaction glacée).

Les zones ano-génitales, les yeux, et le conduit auditif, ne doivent jamais faire l'objet d'applications d'huiles essentielles pures.

- Pour toutes les voies d'absorption, et tout particulièrement pour la voie orale, employer des excipients appropriés. Ne prendre les huiles essentielles pures (ou sur un morceau de sucre qui ne disperse pas les huiles essentielles) *per os* qu'exceptionnellement et sur de très courtes durées ; éviter cette forme d'absorption sur estomac vide et chez les patients atteints d'affections inflammatoires des voies digestives hautes [8].

12. Réglementation

Selon sa composition et la présentation qui en est faite, une HE destinée au consommateur pourra être considérée comme un médicament, un cosmétique ou une denrée alimentaire [41].

- **Réglementation Algérienne**

- **Huiles essentielles et médicaments**

Selon la définition du médicament, donné par l'article 170 de la loi n° 85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé «On entend par médicament toute substance ou composition présentée comme possédant des propriétés curatives ou préventives à l'égard des maladies humaines ou animales, ainsi que tout produit pouvant être administré à l'homme ou à l'animal, en vue d'établir un diagnostic médical ou de restaurer, corriger ou modifier leurs fonctions organiques ». Donc une HE qui présente une quelconque allégation thérapeutique sur son conditionnement sera considérée comme médicament. Le statut d'une HE est ainsi déterminé par son usage et par son activité pharmacologique [42].

Les spécialités pharmaceutiques à base d'HE répondent à la définition des médicaments à base de plantes, par conséquent ils doivent être conformes à la réglementation régissant les médicaments et faire l'objet d'une demande d'autorisation de mise sur le marché.

La loi n° 85-05 précise dans l'article 171 «sont également assimilés à des médicaments:

- Les produits d'hygiène et produits cosmétiques contenant des substances vénéneuses à des doses et concentrations supérieures à celles fixées par arrêté du ministre chargé de la santé ;
- Les produits diététiques ou destinés à l'alimentation animale qui renferment des substances non alimentaires leur conférant des propriétés sur la santé humaine» [42].

En effet, un grand nombre de produits cosmétiques comprennent dans leur composition des huiles essentielles, il est donc nécessaire de prendre en considération les risques que ces substances peuvent faire courir à la santé des consommateurs.

Les HE utilisées comme aromatisants sont aussi susceptibles de présenter un danger sur la santé publique, leur usage doit donc être limité dans les denrées alimentaires.

Par ailleurs, il existe des bonnes pratiques de fabrication des médicaments à base de plantes, elles regroupent les spécifications concernant les matières premières et les locaux (zones de stockage, zone de production), les instructions relatives au traitement des plantes (séchage, concassage, durée et température d'extraction...) ainsi que le contrôle de la qualité [43].

- **Huiles essentielles et vente en l'état**

Le code de la santé publique précise dans l'article 190 de la loi n°85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et la promotion de la santé que «La production, le transport, l'importation, l'exportation, la détention, l'offre, la cession, l'acquisition, l'emploi de substances ou plantes vénéneuses stupéfiante et non stupéfiante ainsi que la culture de ces plantes, sont fixées par voie réglementaire ». Par conséquent les HE et les produits à base d'HE répondant aux critères cités ci-dessus entrent dans le champ de cette directive [42].

- **Réglementation Française**

La production, la vente et l'utilisation des huiles essentielles sont contrôlées par le code de la santé publique. C'est pour cela que certaines huiles essentielles font l'objet de restrictions de délivrance et autorisation de vente: la loi N° 84-354 du 30 juin 1984 stipule dans l'article L4211-1 6° que "la vente au détail et toute dispensation au public des huiles essentielles dont la liste est fixée par décret ainsi que de leurs dilutions et préparations ne constituant ni des produits cosmétiques, ni des produits à usage ménager, ni des denrées ou boissons alimentaires appartiennent au monopole pharmaceutique".

Les huiles essentielles soumises à ce monopole sont celles énumérées à l'article D4211-13 du décret N°2007-1221 publié au journal officiel le 08 août 2007. Il précise les dénominations vernaculaires et les noms scientifiques de seize huiles essentielles ne pouvant être vendues que par les pharmaciens du fait de leur toxicité telles que les huiles essentielles d'absinthe, d'armoise, de cèdre, de rue, de sauge, de sabine, etc. [36].

L'article L5311-1 du code de la santé publique donne à l'AFSSAPS le pouvoir de suspendre ou d'interdire une huiles essentielles qui présente des dangers [44].

Le directeur général de L'ANSM (anciennement AFSSAPS) a décidé le 14 août 2013 de créer un comité Français de la pharmacopée «plante médicinale et huiles essentielles ». Ce comité participe à la préparation des monographies détaillées destinées à être ensuite proposées au niveau des pharmacopées européenne ou française [45].

En somme, il existe un manque en termes de définition juridique spécifique des huiles essentielles. Cette carence expose donc quotidiennement les professionnels de ce secteur d'activité à des difficultés liées aux incertitudes de la matière. Il faut donc être prudent sur la façon d'utiliser les huiles essentielles et en tout état de cause s'appuyer sur des bases scientifiques solides [6].

III

ACTIVITÉ

ANTIMICROBIENNE

1. Définition

Un antimicrobien représente une molécule ou un produit en général capable d'éliminer ou d'inhiber la croissance des microbes (micro-organismes) [46].

Lorsque l'antimicrobien tue les microbes, on utilise le suffixe « cide » comme pour 'bactéricide' dans le cas des bactéries; et lorsqu'il ne fait qu'inhiber leur croissance, on utilise le suffixe « statique » comme pour 'bactériostatique'.

Il existe quatre catégories principales de micro-organismes: le virus, la bactérie, le champignon microscopique (micromycètes) et le parasite unicellulaire. La plupart de ceux-ci font partie intégrante des écosystèmes. Leur présence est parfois indispensable au renouvellement ou à l'entretien de l'environnement. En revanche, l'Homme est en lutte permanente contre de nombreux microbes pathogènes, susceptibles de provoquer des maladies, voire des épidémies au sein des populations [15,47].

2. Bactéries

2.1 Définition

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires classées parmi les procaryotes. Elles ont un diamètre généralement inférieur à $1\mu\text{m}$, on peut les voir au microscope optique à l'état frais ou après coloration ; mais le détail de leur structure n'est visible qu'en microscopie électronique (Figure 4) [48]. Certaines sont pathogènes pour l'homme, d'autres interviennent dans divers cycles biologiques (par exemple le cycle de l'azote) [49].

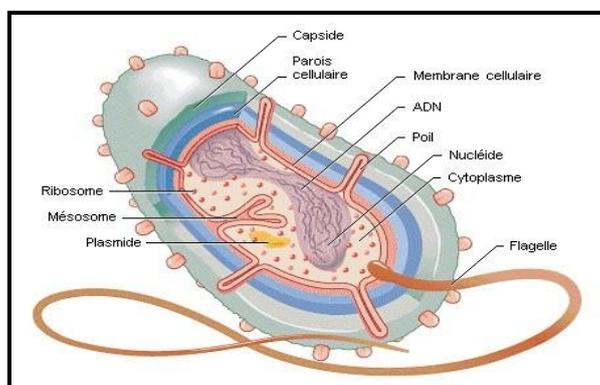


Figure 4: Structure schématique d'une bactérie [48]

2.2 Activité antibactérienne des huiles essentielles

La structure chimique des constituants des huiles essentielles conditionne leur mode précis d'action antibactérienne.

Compte tenu du nombre de différents groupes de composés chimiques présents dans les huiles essentielles, il est probable que leur activité antibactérienne ne soit pas attribuée à un mécanisme spécifique mais qu'il y ait plusieurs cibles dans la cellule [50].

Les principaux mécanismes et sites d'action des différents constituants des HE sont :

- L'altération de la paroi cellulaire;
- La dégradation de la membrane cytoplasmique;
- L'altération des protéines membranaire ;
- La fuite du contenu cellulaire ;
- La coagulation du cytoplasme ;
- L'épuisement de la force de mouvement des protons [50].

Une caractéristique importante des huiles essentielles et de leurs constituants est leur caractère hydrophobe, ce qui leur permet de s'insérer dans les couches lipidiques de la membrane cellulaire bactérienne et des mitochondries, perturbant les structures et les rendant plus perméables. La fuite des ions et autres constituants de la cellule peut alors se produire [50].

Les molécules possédant le coefficient antibactérien le plus élevé sont (par ordre décroissant) sont le carvacrol, le thymol et l'eugénol ; elles appartiennent toutes les trois au groupe des phénols [8] contenus par exemple dans l'huile essentielle de clou de girofle [32]. Une molécule n'appartenant pas au groupe des phénols (mais apparentée : présence d'un noyau benzénique), l'aldéhyde cinnamique (HE du basilic), possède une activité anti-infectieuse comparable à celle des phénols. Dans la hiérarchie anti-infectieuse, les alcools à dix atomes de carbone (ou monoterpénols) se situent immédiatement après les phénols ; leur liste est plus étendue : géraniol, linalol, thujanol et myrcénol, terpinéol, menthol et pipéritol, sont les plus connus [50].

Le groupe des aldéhydes manifeste également une certaine puissance antibactérienne : néral et géraniol (qui forment les citrals), citronnellal et cuminal, sont les plus souvent employés. Le groupe des cétones présente un intérêt dans le traitement des états infectieux mucopurulents (action le plus souvent uniquement indirecte): thujone, boméone (camphre), menthone.

En ce qui concerne les éthers, leur action antibactérienne est certaine, mais irrégulière ; seul l'aromatogramme permet de prévoir avec certitude leur utilité dans des cas précis : estragole et anéthole, sont ici les molécules les plus représentatives de ce groupe [50].

Les oxydes présentent en général des propriétés anti-infectieuses légères.

Enfin, les terpènes peuvent être intéressants, mais leur utilité en ce domaine se révélera plutôt sous forme aérodiffusée (action antiseptique atmosphérique).

Les autres groupes moléculaires ne présentent pas d'intérêt dans le cadre de la lutte antibactérienne [50].

Les principales HE possédant cette activité antibactérienne sont citées dans l'Annexe IV.

3. Champignons

3.1 Définition

Les mycètes (champignons), véritables eucaryotes, constituent un règne (fungi) distinct de celui des plantes et du règne animal. Ils assurent leur nutrition uniquement par absorption à partir du mycélium (réseau de filaments).

Les mycètes vivent en commensaux (à l'exemple du *Candida* spp) chez l'homme sans occasionner de lésions ; parfois en parasites d'où le terme « mycoses » pour les lésions qu'ils occasionnent. Selon l'état immunitaire du patient, ils peuvent passer du commensalisme au parasitisme.

On distingue trois types : les champignons filamenteux, les levuriformes et les dimorphiques [51].

3.2 Activité antifongique des huiles essentielles

Les antifongiques agissent à différents niveaux :

- Sur la membrane ;
- Sur la paroi ;
- Sur la synthèse des acides nucléiques ;
- Sur la synthèse des stérols [52].

Certaines huiles essentielles altèrent la perméabilité cellulaire en s'incorporant entre les chaînes grasses acyles constitutives des bicouches lipidiques membranaires et en inhibant la synthèse d'ergostérol, perturbant ainsi la fluidité de la membrane plasmique et conduisant à des altérations et des déformations empêchant l'adhésion des champignons aux muqueuses réduisant ainsi leur virulence et leur contagiosité [12].

Ici, les groupes moléculaires cités en priorité pour leur action antibactérienne se révèlent également actifs sur les fongis. Néanmoins, le traitement sera ici de plus longue durée. Doivent être cités également les alcools et les lactones sesquiterpéniques, dont l'activité antifongique a été révélée lors d'études fondamentales [8]. Par exemple, les huiles essentielles de Cannelle, du Clou de girofle ou de Niaouli sont des antifongiques [32].

Les principales HE possédant cette activité antifongique sont citées dans l'Annexe V.

4. Activité antivirale des huiles essentielles

Les virus sont assez sensibles aux huiles essentielles à phénol et à monoterpénol. Plus d'une dizaine d'huiles essentielles possèdent des propriétés antivirales. Nous pouvons citer l'huile essentielle de Ravintsara, l'huile essentielle de Bois de Hô, ou l'huile essentielle de Cannelle de Ceylan [32].

5. Activité antiparasitaire des huiles essentielles

Les molécules aromatiques possédant des phénols ont une action puissante contre les parasites. Les huiles essentielles du thym à linalol et de la sarriette des montagnes sont d'excellentes huiles essentielles antiparasitaires [32].

6. Activité antiseptique des huiles essentielles

Les propriétés antiseptiques et désinfectantes sont souvent retrouvées dans les huiles essentielles possédant des fonctions aldéhydes ou des terpènes comme l'huile essentielle d'*Eucalyptus radiata* [32].

PARTIE
EXPÉRIMENTALE

I

MONOGRAPHIE DE LA
PLANTE

4. Description botanique

➤ Description botanique de la plante

Plante annuelle pouvant atteindre 0,8 m de hauteur, dégageant à l'état frais une odeur désagréable de punaise ; glabre et luisante, elle possède une racine pivotante et fuselée, des tiges rondes, grêles, finement striées et ramifiées dans leur partie supérieure [53].

Les feuilles, vert clair sont glabres, alternes et tombent assez rapidement ; les feuilles basales sont longuement pétiolées, pennatiséquées, composées de segments ovales, incisés et dentés (rappelant un peu les feuilles du persil plat, d'où ses appellations vernaculaires) ; les feuilles supérieures sont sessiles, finement découpées en lanières (bi- ou tri-pennatiséquées) et pourvues d'une longue gaine, large et membraneuse. L'axe principal ainsi que les rameaux latéraux se terminent par une ombelle composée, plate, constituée de 3 ou 5 rayons, pourvue d'involucre insignifiant formé d'un nombre très réduit de bractées ; les involucelles sont unilatérales et formées de 3 bractées linéaires [53].

Les fleurs sont radiales, régulières au centre de l'ombellule mais irrégulières en périphérie ; elles comportent un calice à 5 sépales inégaux dont 2 extérieurs nettement plus longs que les autres et une corolle à 5 pétales de couleur blanche ou rosée ; les fleurs de la périphérie ont 2 à 4 mm de long et sont irrégulières car les 2 pétales extérieurs sont bifides et de plus grande taille que ceux situés à l'intérieur de l'ombellule ; les étamines sont au nombre de 5, le gynécée porte 2 styles relativement longs, l'ovaire est supère et bicarpellaire. La floraison a lieu de juillet à août [53].

Le fruit est formé de 2 méricarpes (diakène) qui restent accolés l'un à l'autre même à maturité et conservent aussi longtemps leur forme globuleuse [53].

➤ Description botanique de la drogue

➤ Description botanique de la drogue entière

Diakène de forme sphérique (ce qui le différencie aisément des autres fruits d'Apiacées) et de la taille d'un grain de poivre : son diamètre est compris entre 1,5 à 5 mm et atteint jusqu'à 7 mm pour les fruits de forme plutôt ovoïde, originaires d'Inde ; de couleur brun jaunâtre pâle, de consistance dure et cassante et à surface glabre, il est formé de 2 méricarpes hémisphériques restant généralement accolés, mais qu'il est facile de détacher manuellement ;

chaque méricarpe comporte 9 côtes peu saillantes (fruit diplozygié) : les 5 côtes primaires sont ondulées et peu apparentes car légèrement déprimées, alors que les 4 côtes secondaires sont plutôt droites, saillantes et légèrement carénées. Les restes des dents du calice et des 2 branches du style filiforme s'unissent en cône mais restent difficilement visibles [53] (Figure 6).



Figure 6: Drogue entière de *Coriandrum sativum* L.

► **Description botanique de la drogue pulvérisée**

Examinée dans l'hydrate de chloral, la poudre de couleur brune (Figure 7) se caractérise par la présence de fragments de fibres scléreuses provenant du mésocarpe, ces fibres sont accompagnées d'importants fragments d'albumen qui renferment de petites macles d'oxalate, des gouttelettes lipidiques (également visibles sous forme isolée) et des grains d'aleurone ; des fragments de l'exocarpe formé de cellules polygonales à parois épaissies et ponctuées, remplies de cristaux d'oxalate ; à un niveau inférieur, une couche de cellules à section rectangulaire, étroites et allongées dans la même direction, provenant de l'endocarpe ; des fragments de faisceaux libéro-ligneux ainsi que des éléments sécréteurs. L'amidon doit être absent [53].



Figure 7: Drogue pulvérisée de *Coriandrum sativum* L.

5. Culture

La coriandre aime les sols légers, sablonneux et calcaires, situés dans des endroits secs, ensoleillés ou semi-ombragés, mais s'accommode aussi de situations humides et fraîches. Le semis a lieu à partir de fin mars jusqu'en avril, sur des rangées séparées de 25 à 30 cm et recouvrant à peine les semences (pas plus d'1 cm de terre). S'il est effectué en août, les plants ayant passé l'hiver sont plus robustes, plus élevés et leurs fruits mûrissent plus tôt. La récolte s'effectue en août ou en septembre avant la pleine maturité des fruits, de préférence le matin tôt pour éviter la chute des fruits trop mûrs. Les tiges et leurs infructescences sont séchées puis les fruits récupérés en les vannant. Ils perdent au cours de la dessiccation leur odeur repoussante pour prendre progressivement une odeur agréable et suave [53].

6. Distribution géographique

La coriandre est inconnue à l'état sauvage, si bien qu'il est difficile de connaître exactement son centre d'origine, mais on pense qu'elle vient du bassin méditerranéen, de l'Asie Mineure ou du Proche-Orient [54].

L'espèce cultivée a été progressivement importée dans les régions Est de la méditerranée, en Afrique du Nord, en Europe du Sud et en Europe centrale, en Asie de l'Est, en Amérique du Nord et du Sud [53]. Elle est aujourd'hui cultivée un peu partout sur la planète, principalement dans l'hémisphère nord et les zones tempérées du monde entier [15] notamment en Ukraine, en Russie, en Chine, en Inde, au Pakistan, au Maroc, en Argentine, au Mexique et en Roumanie où elle est cultivée à grande échelle pour ses fruits. En Europe de l'Est et en Russie, on cultive une sous-espèce dont les fruits sont plus petits et plus riches en huile essentielle [54].

En Algérie, la coriandre est cultivée dans tout le pays, même dans le désert [55].

Les principaux pays producteurs sont : l'Égypte, l'Inde, le Groupement des États indépendants, le Maroc et les États-Unis ; à ces pays s'ajoutent, la Hongrie, la Pologne, la Tchéquie, la Hollande, la France, l'Italie, la Turquie, les Balkans, l'Allemagne, la Chine, l'Inde, l'Iran, l'Amérique centrale et du Sud [53].

Les principaux pays exportateurs sont : la Bulgarie, le Maroc, la Hongrie, la Roumanie, l'Égypte, la France, l'Italie, la Turquie, le Groupement des États Indépendants ainsi que d'autres pays de l'Europe de l'Est [53].

7. Composition chimique

Selon les normes : ISO 2255 (coriandre) ; NF ISO 3516 (huile essentielle de coriandre, *Coriandrum sativum* L.).

➤ Composition chimique de la plante

◆ Huile essentielle :

- Aldéhydes aliphatiques insaturés sont majoritaires près de 83%, plus particulièrement du (E)-dec-2-éanal sa teneur avoisine les 46% et augmente progressivement, du (E)-dodec-2-éanal à 10%, du (E)-tétra-dec-2-éanal à 6%, du (E)-tridec-2-éanal et du linalol dont les teneurs s'accroissent également au cours du temps ;
- Déc-2-énoïl à une teneur de 9% ;
- Décanal à 4%.

◆ Isocoumarines :

- Coriandrones A à E ;
- Coriandrine et dihydrocoriandrine.

◆ Flavonoïdes : le 3-O-glycosides de quercétol et de kaempférol [53].

➤ Composition chimique de la drogue

◆ Huile essentielle : 0,1 à 2% (les plus fortes teneurs concernent les variétés à petits fruits, celles fournissant des fruits de taille plus élevée n'atteignant que 0,1 à 0,3%) ; elle est constituée de :

- Principalement le linalol ou coriandrol qui existe sous forme de l'énantiomère (3S)-(+), atteignant 45 à 85% ;
- α -pinène de 1 à 15% ;
- Limonène de 0 à 4% ;
- γ -terpinène de l'état de traces à 15% ;
- p-cymène de 0 à 15% ;
- Camphre de 0 à 10% ;
- Géraniol de 0 à 7% ;
- Acétate de géranyle de 1 à 20%.

La composition chimique de cette huile essentielle varie selon les chémotypes : celui provenant de la presque île d'Arabie et du subcontinent indien ne renferme par exemple ni

limonène, ni camphre. Les fruits immatures renferment, de la même manière que la plante, des aldéhydes insaturés responsables de l'odeur si caractéristique.

- ◆ Lipides de 13 à 21%, avec de fortes teneurs en acide pétrosélinique (38%) ;
- ◆ Hydrocoumarines: présentes en très faibles quantités : scopolérol, ombelliférone ;
- ◆ Dérivés de l'acide hydroxycinnamique : acide cafeique, souvent accompagné de dérivés de l'acide quinique, comme les acides chlorogéniques, 4- et 5-caféoylquinique, p-coumaroylquinique ;
- ◆ Triterpènes : coriandrinondiol [53].

8. Propriétés thérapeutiques

➤ Selon la tradition

Une enquête auprès de la population a révélé que la plante de *Coriandrum sativum* L. était traditionnellement utilisée pour :

- ◆ Le traitement du muguet, soit en appliquant sur celui-ci le liquide obtenu après le pilonnage de la plante de coriandre, soit en mâchant cette plante ;
- ◆ La conservation des denrées alimentaires ;

Tandis qu'il est cité dans la littérature que celle-ci était traditionnellement utilisée :

- ◆ Comme remède pour l'hyperglycémie ;
- ◆ Dans la littérature ayurvédique, l'utilisation régulière d'une décoction de fruits de coriandre était efficace pour abaisser les taux de lipides sanguins ;
- ◆ En outre, l'utilisation de la coriandre comme diurétique traditionnel ou pour traiter les infections urinaires a été signalée dans la pharmacopée marocaine et palestinienne ;
- ◆ Dans la médecine ayurvédique, la coriandre a été employée dans le traitement de l'arthrite et d'autres troubles inflammatoires. En effet, une formule polyherbale traditionnelle, Maharasnadhi Quather (MRQ), contenant des fruits de coriandre comme l'un de ses composants principaux, était recommandée par les praticiens ayurvédiques pour le traitement des affections arthritiques ;
- ◆ Dans la médecine iranienne traditionnelle, la coriandre a une longue histoire d'usage médical pour prévenir les convulsions, l'anxiété et l'insomnie ;
- ◆ La coriandre a également été utilisée dans les troubles de la voie respiratoire tels que la toux et bronchite [56].

➤ **Selon la littérature**

Propriétés principales

- ◆ Antibactérienne ;
- ◆ Antivirale ;
- ◆ Antifongique ;
- ◆ Antalgique ;
- ◆ Stomachique, antispasmodique ;
- ◆ Tonique et stimulante, calmante et sédative (c'est selon la dose et la réponse personnelle du système nerveux central) ;
- ◆ Euphorisante, stupéfiante à forte dose [10, 8].

Indications

- ◆ Troubles digestifs divers : ballonnements, gaz, indigestion, crampes ou spasmes digestifs ;
- ◆ Douleurs musculaires, rhumatismales et articulaires, arthrose;
- ◆ Infections virales, bactériennes et fongiques :
 - Des voies respiratoires (bronchites, grippe, sinusite) ;
 - Des voies digestives (gastrite infectieuse, diarrhée, intoxication alimentaire) ;
 - Infections urinaires et gynécologiques (cystite);

De nombreuses études confirment cette propriété antibiotique contre les collibacilles, les salmonelles, les staphylocoques et les streptocoques y compris ceux résistants à certains antibiotiques, ainsi que contre *candida albicans* (mycose) et *Campylobacter jejuni* (responsable d'intoxications alimentaires);

Une étude a été effectuée sur l'existence de l'effet antibactérien synergique entre l'huile essentielle de coriandre et six antibactériens (chloramphénicol, ciprofloxacine, gentamicine, tetracycline, pipéracilline ou cefopérazone). Il a été prouvé que l'HE pouvait agir comme un potentiel agent améliorant des antibiotiques contre *Acinetobacter baumannii* qui est un agent pathogène multirésistant aux antibiotiques [57].

- ◆ Infection chronique de la peau, comme l'acné ou certaines infections à staphylocoque doré ;
- ◆ Énervement, excitation, troubles du sommeil, stress, angoisse;

- ◆ Antioxydant, en combattant la formation de radicaux libres dus au stress et les toxines ;
- ◆ Contre l'obésité, en encourageant un bon métabolisme des hydrates de carbone ;
- ◆ La drogue freine l'augmentation du taux de lipides sanguins et réduit les taux de LDL et VLDL, au profit du HDL. Elle stimule aussi l'élimination du cholestérol par voie biliaire et provoque la diminution du taux sanguin en peroxydes lipidiques [10,53, 58].

9. Toxicité et précautions d'emploi de l'huile essentielle de coriandre

- L'huile essentielle de coriandre est contre-indiquée chez les femmes enceintes et allaitantes et chez les enfants avant 6 ans ;
- Ne pas l'utiliser dans la période post-éruptive de la rougeole ;
- Ne pas l'associer à des fortifiants ;
- Ne pas utiliser l'huile essentielle pure par voie interne ;
- Ne pas s'exposer au soleil après l'utilisation de l'huile essentielle ;
- À des doses élevées, l'HE de coriandre peut provoquer des troubles nerveux du fait de la présence de cétones (camphre) aux propriétés neurotoxiques, des troubles digestifs et rénaux, il est recommandé de ne pas utiliser la coriandre de manière prolongée ;
- Les personnes sujettes à l'épilepsie et à l'hypertension doivent l'employer avec précaution ;
- L'overdose peut engendrer des troubles oculaires ;
- Le linalol, composant principal de l'huile essentielle de coriandre s'oxyde à l'air et produit des composés secondaires qui peuvent être à l'origine de réactions allergiques [58, 59].

II
MATÉRIELS
ET
MÉTHODES

Les fruits utilisés pour la réalisation de ce travail ont été achetés à Azazga (wilaya de Tizi-Ouzou) chez un épicier qui se fournit auprès de producteurs locaux. La plante a été cueillie, elle aussi, dans les environs.

Toute la partie expérimentale a été réalisée au niveau du laboratoire de Botanique médicale de la faculté de médecine UMMTO, à l'exception de l'étude de l'activité antimicrobienne, qui elle, a été réalisée au niveau du laboratoire de Microbiologie-Parasitologie du CHU de Tizi-Ouzou ainsi qu'au laboratoire de Microbiologie de la faculté de médecine UMMTO.

1. Étude anatomique de la plante de *Coriandrum sativum* L.

Pour chercher des spécificités morphologiques et anatomiques de la plante et localiser éventuellement les sites sécréteurs des huiles essentielles, des coupes histologiques microscopiques au niveau de la tiges, du rachis, des feuilles, de la racine, et des fruits de la plante ont été réalisées puis colorées par la technique de la double coloration (vert de méthyle - rouge Congo), celle-ci permet la distinction des différents constituants tissulaires de la plante [60].

1.1 Réalisation des coupes

À l'aide d'une lame de rasoir, ont été réalisées des coupes transversales aussi fines que possible au niveau de la tige, du rachis, d'un méricarpe préalablement ramolli dans de l'alcool et de la racine de *Coriandrum sativum*, ainsi qu'au niveau d'un rectangle délimité sur l'une des ses feuilles et dont l'axe de symétrie était la nervure centrale (Figure 8).

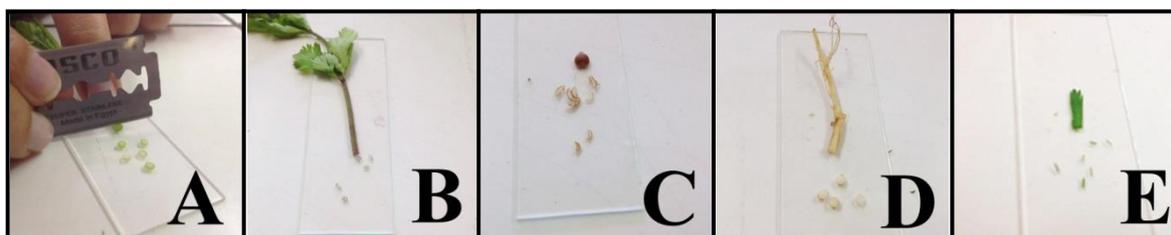


Figure 8: Réalisation des coupes de *Coriandrum sativum* au niveau de :

A- la tige ; B- le rachis ; C- le fruit ; D- la racine ; E- la feuille.

Après la réalisation des coupes, celles-ci ont été déposées dans des microplines afin d'effectuer la coloration.

1.2 Technique de la double coloration

- Les coupes histologiques ont été placées dans une solution d'hypochlorite de sodium (eau de javel) pendant 20 minutes afin de les vider de leur contenu cellulaire et de ne garder que les parois squelettiques (Figure 9-A);
- Puis elles ont été lavées à l'eau de robinet plusieurs fois pour enlever l'excès d'hypochlorite de sodium (Figure 9-B);

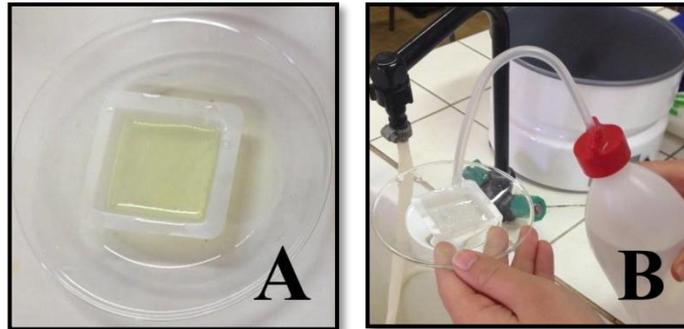


Figure 9: A- coupes mises dans l'eau de javel ; B- rinçage à l'eau.

- Elles ont ensuite été introduites successivement :
 - Dans une solution de Vert de méthyle (colore les tissus lignifiés et scléreux en vert) pendant 4 minutes (Figure 10-A), suivi immédiatement par un rinçage à l'eau jusqu'à ce que l'eau de rinçage devienne limpide ;
Elles auraient normalement dues être introduites préalablement dans une solution d'acide acétique pour neutraliser le caractère basique induit par l'hypochlorite de sodium mais cette étape n'a pas été faite en raison de la présence d'acide acétique dans la solution du vert de méthyle.
 - Puis, dans une solution de Rouge Congo (colore les parois cellulosesiques en rose) pendant 4 minutes (Figure 10-B), suivi également par un rinçage à l'eau;

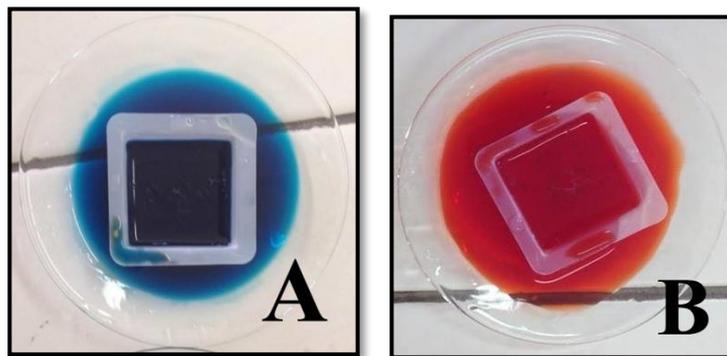


Figure 10: A- coupes mises dans le Vert de méthyle ; B- dans le Rouge Congo

- Puis elles ont été placées dans un mélange d'eau et de glycérine pour éviter leur déshydratation et permettre leur conservation plusieurs jours (Figure 11);



Figure 11: Coupes colorées conservées dans de l'eau et de la glycérine.

- Et enfin, les coupes ont été déposées entre lame et lamelle après avoir déposé dessus une goutte d'eau puis elles ont été observées au microscope photonique à différents grossissements.

2. Extraction de l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* L.

Pour extraire l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* (HECS), c'est la technique d'hydrodistillation simple qui a été utilisée, celle-ci se produit dans l'appareil de Clevenger et consiste à porter à ébullition l'eau à laquelle est mélangé le broyat végétal (la poudre des

fruits de coriandre) dans un ballon de laboratoire, et ce, grâce à un chauffe-ballon. Les vapeurs hétérogènes ascendantes provenant du ballon progressent dans la partie A puis se condensent sur la surface froide du réfrigérant (partie B). Le condensat est récupéré dans la partie C où l'huile essentielle se sépare de la phase aqueuse grâce à leur différence de densité. L'eau en excès retourne dans le ballon par la partie D qu'un robinet à 3 voies (f) fait communiquer avec la partie C (Figure 12).

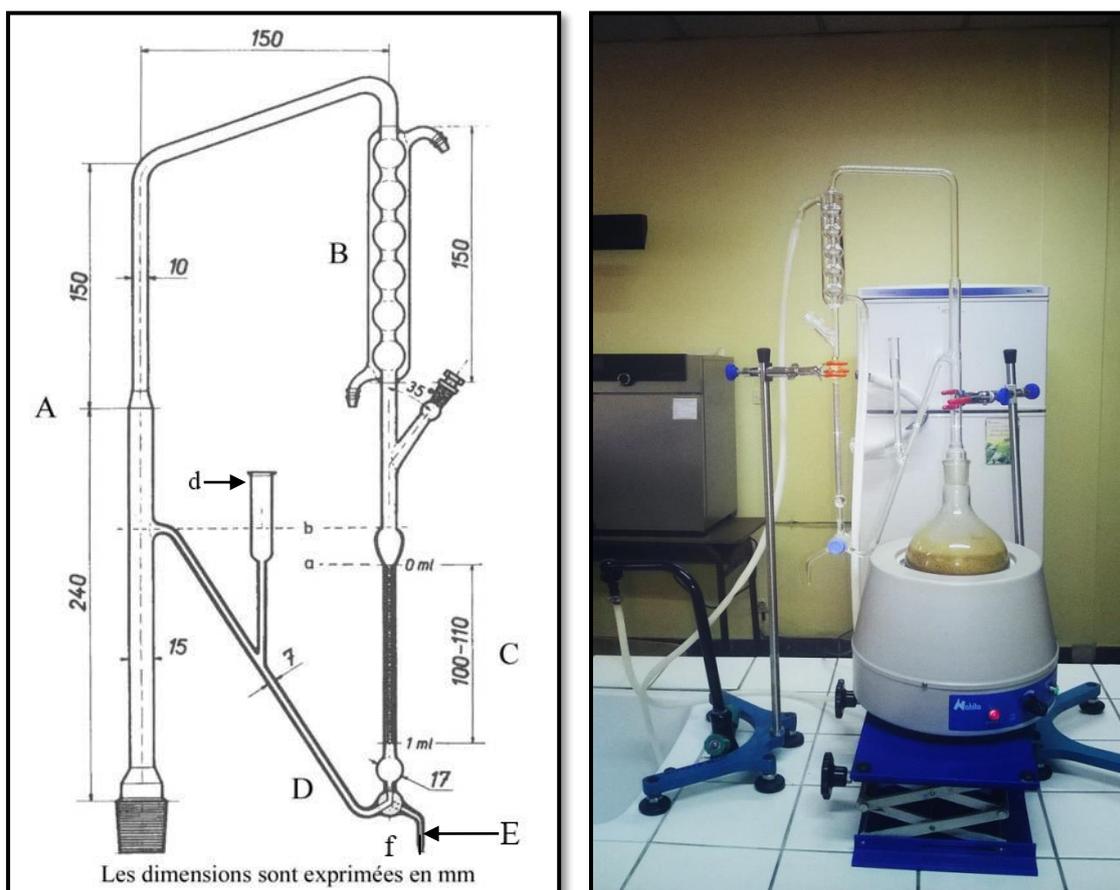


Figure 12: Clevenger (Schéma [61])

Afin de réaliser cette extraction, les étapes suivantes ont préalablement été réalisées (Figure 13) :

- 1* Débarrasser les fruits de *Coriandrum sativum* des impuretés ;
- 2* Broyer ces fruits à l'aide d'un moulin à café afin d'obtenir une poudre ;
- 3* Mélanger environ 50 grammes de cette poudre à 500ml d'eau contenue dans un ballon de laboratoire d'un litre de volume [23] ;
- 4* Placer ce ballon dans le chauffe-ballon et introduire l'ouverture du Clevenger dans celle du ballon ;

5* Établir un équilibre entre les volumes d'eau présents dans les parties basses du Clevenger (C, D et d) en introduisant de l'eau par l'ouverture « d » jusqu'à atteindre le niveau « b » (voir Figure 13) ;

6* Allumer le chauffe-ballon.

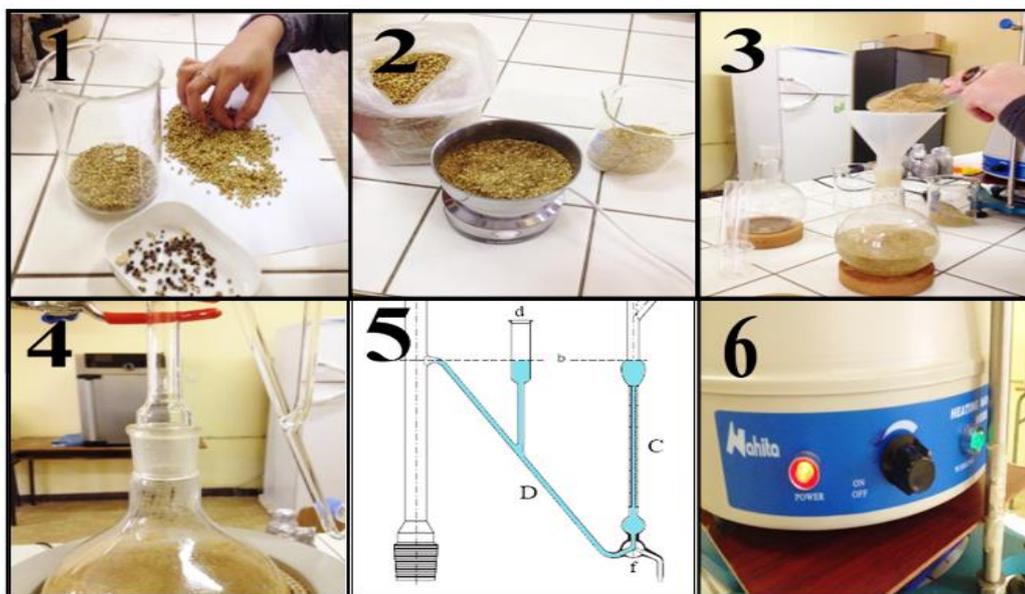


Figure 13: Étapes préalables à l'extraction (les numéros correspondent aux étapes sus-citées)

Après trois heures d'extraction, les deux phases (eau florale et huile essentielle) présentes dans la partie C ont été recueillies en faisant communiquer la partie C et la partie E en tournant le robinet à 3 voies.

L'HECS a été prélevée avec une pipette, puis déshydratée avec du sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4) pour éliminer les traces d'eau avant d'être conservée dans un flacon en verre hermétique et ombré à une température variant entre $+4^\circ$ et $+20^\circ\text{C}$ (Figure 14).



Figure 14: Recueil de l'huile essentielle

Afin d'atteindre les objectifs de notre étude, l'huile essentielle a été caractérisée sur le plan organoleptique et physicochimique et enfin, son pouvoir antimicrobien vis-à-vis de certaines souches bactériennes et fongiques a été évalué.

3. Caractérisation de l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* L.

3.1 Caractérisation organoleptique

Cette caractérisation a porté sur 3 volets :

- ◆ L'aspect ;
- ◆ La couleur ;
- ◆ L'odeur.

3.2 Caractérisation physico-chimique

Pour obtenir des données sur la composition de l'HE, et dans certains cas, pour l'identifier, ses propriétés physiques et chimiques ont été étudiées en suivant les protocoles suivants :

➤ **Caractères physiques**

- **Recherche des esters étrangers dans l'HE de coriandre**

Dans un Erlen Meyer, mélanger 1ml d'HE avec 3ml d'une solution extemporanée d'hydroxyde de potassium (KOH) à 100g/l dans l'alcool 96° ;

Chauffer pendant 2 minutes au bain-marie ;

Laisser refroidir pendant 30 minutes [29].

- **Recherche des huiles grasses et des HE résinifiées dans l'HE de coriandre**

Faire tomber 1 goutte d'HE sur du papier filtre (Figure 15) ;

Laisser 24 heures à l'air libre [29].



Figure 15: Dépôt de la goutte d'huile essentielle

- **Densité relative (AFNOR NFT 75.111.2000)**

L'AFNOR recommande l'utilisation d'un pycnomètre d'une capacité de 5ml, mais à défaut, celui-ci a été remplacé par une fiole jaugée d'une capacité de 10ml.

Peser successivement : la fiole vide, la fiole remplie de volumes égaux d'HE et d'eau purifiée récemment préparée (Figure 16);

Noter à chaque fois leurs poids exacts ;

La pesée a été réalisée à une température de 20°C, à l'aide d'une balance analytique.



Figure 16: Pesée de la fiole

Calcul de la densité de l'huile essentielle à partir de la loi suivante :

$$d = (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)$$

m₀: masse en gramme de la fiole de 10 ml vide ;

m₁: masse en gramme de la fiole remplie d'eau purifiée ;

m₂: masse en gramme de la fiole remplie d'HE de *Coriandrum sativum* [17].

- **Indice de réfraction (AFNOR NFT 75.112.2000)**

Le réfractomètre d'Abbe (Figure 17) a été utilisé pour mesurer l'indice de réfraction de l'huile essentielle, à une température T indiquée par le thermomètre de l'appareil.

Placer une goutte d'HE de *Coriandrum sativum* sur le prisme du réfractomètre ;
Effectuer le réglage nécessaire grâce à la micro-visse ;
Puis lire le résultat.

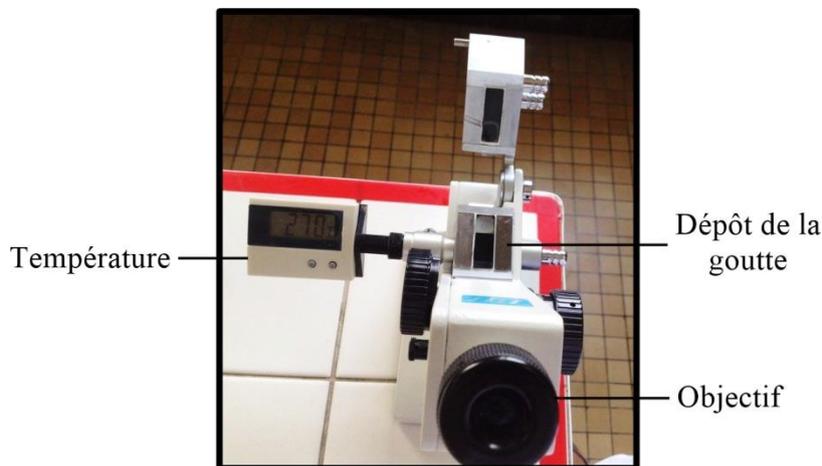


Figure 17: Réfractomètre d'Abbe

L'indice de réfraction diminue lorsque la température augmente. Lorsque sa mesure est réalisée à une température $T^{\circ}\text{C}$, utiliser la formule suivante pour la ramener à la valeur de référence de 20°C :

$$n^{T'} = n^T + 0,00045 * (T - T')$$

$n^{T'}$: indice de réfraction de référence ;

n^T : indice de réfraction mesurée de l'HE à une température $T^{\circ}\text{C}$;

T : température de mesure de l'indice de réfraction de l'HE ;

T' : température de référence qui est de 20°C [17].

- **Pouvoir rotatoire (AFNOR NFT 75.113.2000)**

Remplir la cellule du polarimètre (Figure18) par l'huile essentielle diluée dans l'éthanol à raison de 0,2g dans 100ml ;

La température de référence est de 20°C ;

Lire l'angle de rotation à l'aide de l'appareil.



Figure 18 : Polarimètre

Calcul du pouvoir rotatoire par la formule suivante :

$$[\alpha]^{20}_D = \alpha / (L * C)$$

$[\alpha]^{20}_D$: pouvoir rotatoire spécifique de l'HE à 20°C ;

α : angle de déviation de la lumière polarisée (lu sur le polarimètre) en ° ;

C : concentration de l'essence exprimée en g/100ml;

L : trajet optique ou épaisseur de la cellule de mesure en dm [17].

- **Miscibilité à l'éthanol (AFNOR 75.101.2000)**

Une huile essentielle est dite miscible à V volumes et plus de l'éthanol de titre alcalimétrique déterminé à la température de 20°C, lorsque le mélange de 1 volume d'huile essentielle et de V volumes de cet éthanol est limpide, et le reste après addition graduelle d'éthanol de même titre jusqu'à un total de 20 volumes.

Dans un Erlen Meyer, mettre 1 ml d'HE de *Coriandrum sativum* puis ajouter graduellement à l'aide d'une burette, l'éthanol. À une température de 20°C.

Évaluer leur miscibilité en agitant énergiquement lors de l'ajout du solvant. Lorsque la solution obtenue est parfaitement limpide, noter le volume V de la chute de burette, puis poursuivre l'addition de l'éthanol (solvant) par fractions de 0,5 ml jusqu'à un total de 20 ml en agitant après chaque addition ; la solution doit rester limpide.

La miscibilité des huiles essentielles dans l'éthanol à la température de 20°C, est exprimée par : un volume d'huile essentielle dans V volumes d'éthanol [17].

➤ **Caractères chimiques**

• **Indice d'acide (AFNOR 2000)**

Dans un Erlen Meyer, mélanger 2 g d'HE de *Coriandrum sativum* L. avec 5 ml d'éthanol à 96° et environ 5 gouttes d'indicateur qui est la phénolphthaléine.

Ensuite, titrer par une solution alcoolique d'hydroxyde de potassium (KOH) 0,1 N (0,1 mol/l), à la température ordinaire de 25°C. La couleur jaune clair du liquide (la couleur de l'HE) vire à la neutralisation, vers une couleur rose qui persiste quelques minutes avant de reprendre la couleur initiale. Lire, directement sur la burette, le volume de KOH qui a servi à la neutralisation.

Calcul de l'indice d'acide (I_A) par la formule suivante :

$$I_A = (56,10 * C * V) / m$$

V : volume en ml de la chute de burette (solution alcoolique de KOH à 0,1 N) ;

C : concentration de la solution de KOH qui est égale à 0,1 mol/l ;

m : masse en gramme de l'HE [17].

• **Indice de saponification**

Introduire dans un ballon de 100 ml, 1g d' huile essentielle de *Coriandrum sativum* (Figure 19) et 25 ml d'une solution alcoolique d'hydroxyde de potassium (KOH) 0,5 M à l'aide d'une burette, ainsi que quelques pierres ponce, porter l'ensemble au reflux pendant 1 heure (Figure 20).

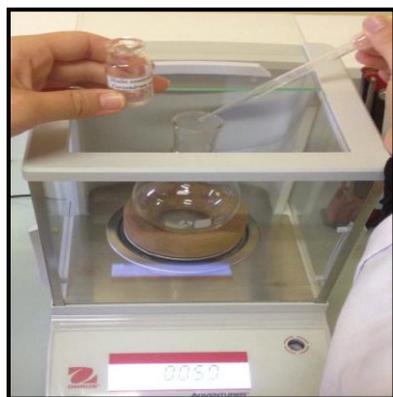


Figure 19: Pesée de l'huile essentielle

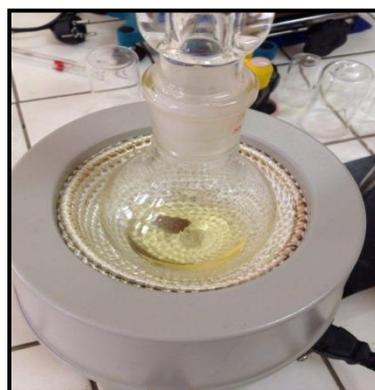


Figure 20: Reflux du mélange

Après refroidissement de la solution, ajouter 20 ml d'eau distillée et 5 gouttes de phénolphtaléine.

Titre l'excès de KOH par une solution d'acide chlorhydrique (HCl) 0,5N jusqu'à la disparition de la couleur rose (Figure 21).



Figure 21: Titrage de l'excès de KOH par du HCl

Réaliser une opération à blanc dans les mêmes conditions que précédemment.

Calcul de l'indice de saponification (I_S) à l'aide de la relation suivante :

$$I_S = [28,05 * (V_0 - V_1) / m]$$

V_0 : volume en ml de la solution d'HCl mesuré dans l'essai à blanc ;

V_1 : volume en ml de la solution d'HCl mesuré pour le calcul de l' I_S ;

m : masse en gramme de la prise d'essai [57].

- **Indice d'ester**

Calcul de l'indice d'ester (I_E) par la relation suivante :

$$I_E = I_S - I_A$$

I_S : Indice de saponification ;

I_A : Indice d'acide [57].

- **Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse**

Afin de déterminer la composition chimique de l'huile essentielle de coriandre, l'analyse par GC/MS a été réalisée au Centre National de Toxicologie (CNT) selon une procédure interne qui est la suivante :

▫ Conditions expérimentales :

Type d'instrument : GC-MS SQ8T mass spectrometer clarus 680.

-Dilution : 1/500 dans toluène ;

-Type d'injecteur : mode splitless ;

-Volume d'injection : 1 µl ;

-Température d'injection : 280°C ;

-Colonne : capillaire RTX1 30 m, diamètre interne 0,32 mm ; diamètre de fil 0,25 mm ;

-Programme thermique : 50°C pendant 10 min ; montée à 200°C en 25 min, hold 10 min ;

-Débit de phase mobile : 1ml/min ;

-Mode d'ionisation : Impact Électronique (IE), 70 eV (mode positif) ;

-Température de la ligne de transfert : 290°C ;

-Température de la source : 280°C ;

-Type d'analyse full scan masse entre 40 et 450 m/z ;

-Temps d'analyse : 95 min.

4. Évaluation de l'activité antimicrobienne de l'HECS

4.1 Évaluation qualitative de l'activité antimicrobienne de l'HECS « AROMATOGRAMME »

Cette méthode repose sur le pouvoir migratoire des huiles essentielles sur un milieu solide à l'intérieur d'une boîte de Pétri. Elle permet de mettre en évidence l'effet antibactérien et antifongique de l'huile essentielle, ainsi que la détermination de la résistance ou la sensibilité de ces bactéries et champignons vis-à-vis de cette huile essentielle.

Protocole expérimental

- ◆ **Souches microbiennes**

Les souches utilisées pour la réalisation de l'activité antimicrobienne (Tableau I) ont été fournies par le laboratoire de microbiologie du CHU Nedir Mohammed de Tizi-Ouzou.

Celles-ci ont été isolées à partir des prélèvements des malades hospitalisés, puis identifiées par les spécialistes en microbiologie du même laboratoire. Les sensibilités et les résistances relevées des antibiogrammes effectués dans ce même laboratoire sur ces germes sont détaillées dans l'Annexe VI.

Tableau I: Souches microbiennes

Souches bactériennes	<i>Acinetobacter baumannii</i>
	<i>Escherichia coli</i>
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
	<i>Staphylococcus aureus</i>
Souches fongiques	<i>Candida albicans</i>
	<i>Rhodotorula sp</i>

◆ Préparation des suspensions microbiennes

Les microbes à tester ont été ensemencés sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose nutritive (GN) et incubées pendant 24 heures (ou 48 à 72h pour les souches fongiques), afin d'obtenir une culture jeune des germes et des colonies isolées (Figure 22).



Figure 22 : Préparation des cultures jeunes

À partir de ces boîtes, et à l'aide d'une pipette pasteur, 2 à 3 colonies bien isolées et parfaitement identiques ont été relevées puis déchargées dans 5 ml d'eau physiologique stérile. La suspension microbienne a été homogénéisée, son opacité était approximativement

de 0,5 Mc Farland (Figure 23). L'ensemencement doit se faire en moins de 15 min après la préparation de l'inoculum [57].

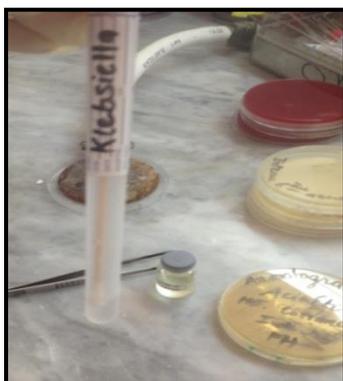


Figure 23: Préparation de la suspension microbienne

◆ Ensemencement

20ml de l'agar de Muller Hinton (ou Sabouraud) ont été coulés en surfusion dans des boîtes de Pétri. Après solidification du milieu de culture, 100 μ l de la suspension microbienne à tester ont été étalés en stries serrées en tournant la boîte à chaque fois d'un angle de 60° [57] (Figure 24).



Figure 24: Ensemencement de la suspension microbienne

◆ Dépôt des disques

Dans des conditions aseptiques et à l'aide d'une pince stérile, des disques de papier buvard d'un diamètre de 6mm ont été déposés sur l'agar, précédemment inoculé avec le microorganisme choisi, puis ils ont été imbibés par 10 μ l d'huile essentielle de *Coriandrum sativum* L. (Figure 25).



Figure 25: Dépôt des disques et de l'huile essentielle

Les boîtes ont été maintenues à 4°C pendant 1 heure pour que l'huile essentielle puisse diffuser [57].

◆ Contrôle négatif

Un disque de papier buvard a été déposé sans être imbibé d'huile essentielle de *Coriandrum sativum* L.

◆ Incubation

Les boîtes ont été incubées à l'étuve à 37°C pendant 24 h pour les souches bactériennes, et pendant 48 à 72h à 25° pour les souches fongiques [57].

◆ Expression des résultats

À la sortie de l'étuve, l'absence de la croissance microbienne s'est traduite par un halo translucide autour du disque, identique à la gélose stérile, dont le diamètre a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse (y compris le diamètre de disque de 6mm) (Figure 26).

La sensibilité des germes à l'huile essentielle a été classée par le diamètre des halos d'inhibition:

Non sensible (-) pour les diamètres moins de 8mm ;

Sensible (+) pour des diamètres de 8 à 14mm ;

Très sensible (++) pour des diamètres de 15 à 19mm ;

Extrêmement sensible (+++) pour les diamètres plus de 20mm [62].

Les micro-organismes montrant une sensibilité à l'huile essentielle ont été sélectionnés pour déterminer la concentration minimale inhibitrice.

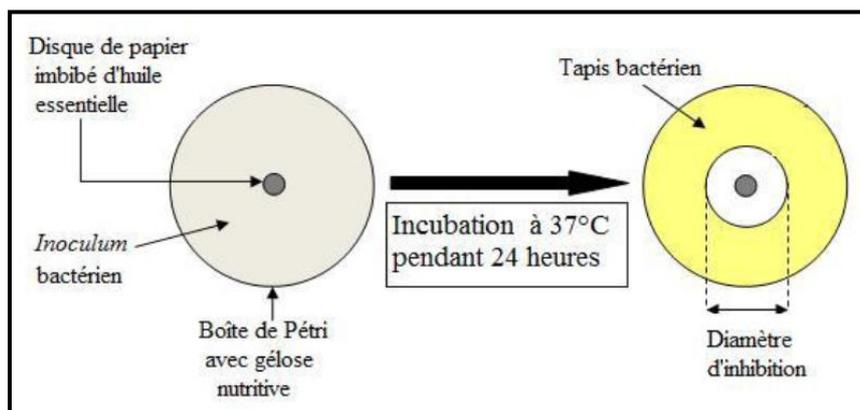


Figure 26: Détermination de l'activité antimicrobienne par diffusion de l'huile essentielle à partir du disque [57]

4.2 Évaluation quantitative de l'activité antimicrobienne de l'HECS

➤ Concentration minimale inhibitrice (CMI)

Les CMI ont été déterminées pour les souches qui ont présenté une sensibilité à l'HE de *Coriandrum sativum*. Cette technique est économique puisque elle nous permet de tester plusieurs souches dans la même boîte [63].

◆ Préparation des dilutions de l'HE : et ce, en suivant les étapes suivantes :

- Incorporer 1 ml de l'HE de *Coriandrum sativum* L. dans 49 ml d'un milieu gélosé MH (ou Sabouraud) liquéfié (fondu puis refroidi à 45°C). Agiter à l'aide d'un agitateur magnétique afin d'homogénéiser le mélange. Une dilution (D_0) à 2% volumes à volumes (v/v) a alors été obtenue.
- Prélever 25 ml du mélange précédent (D_0) et les diviser dans deux boîtes de pétri à 12,5 ml chacune.
- Ajouter 25 ml du milieu gélosé liquéfié MH (ou Sabouraud) au 25 ml restant de D_0 à 2% afin d'obtenir une dilution (D_1) à 1%.
- Prélever 25 ml de D_1 et les diviser dans deux boîtes de pétri à 12,5 ml chacune, puis ajouter 25 ml du milieu gélosé liquéfié MH (ou Sabouraud) au 25 ml restant de D_1 permettant ainsi d'obtenir une dilution (D_2) à 0,5%.
- Poursuivre les mêmes étapes afin de réaliser les dilutions : D_3 à 0,25%, D_4 à 0,125%, D_5 à 0,06% et D_6 à 0,03%.

- Préparer également deux boîtes sans huile essentielle comme témoins négatifs, l'une à 12,5 ml de MH et l'autre à 12,5 ml de Sabouraud [64] (Figure 27).

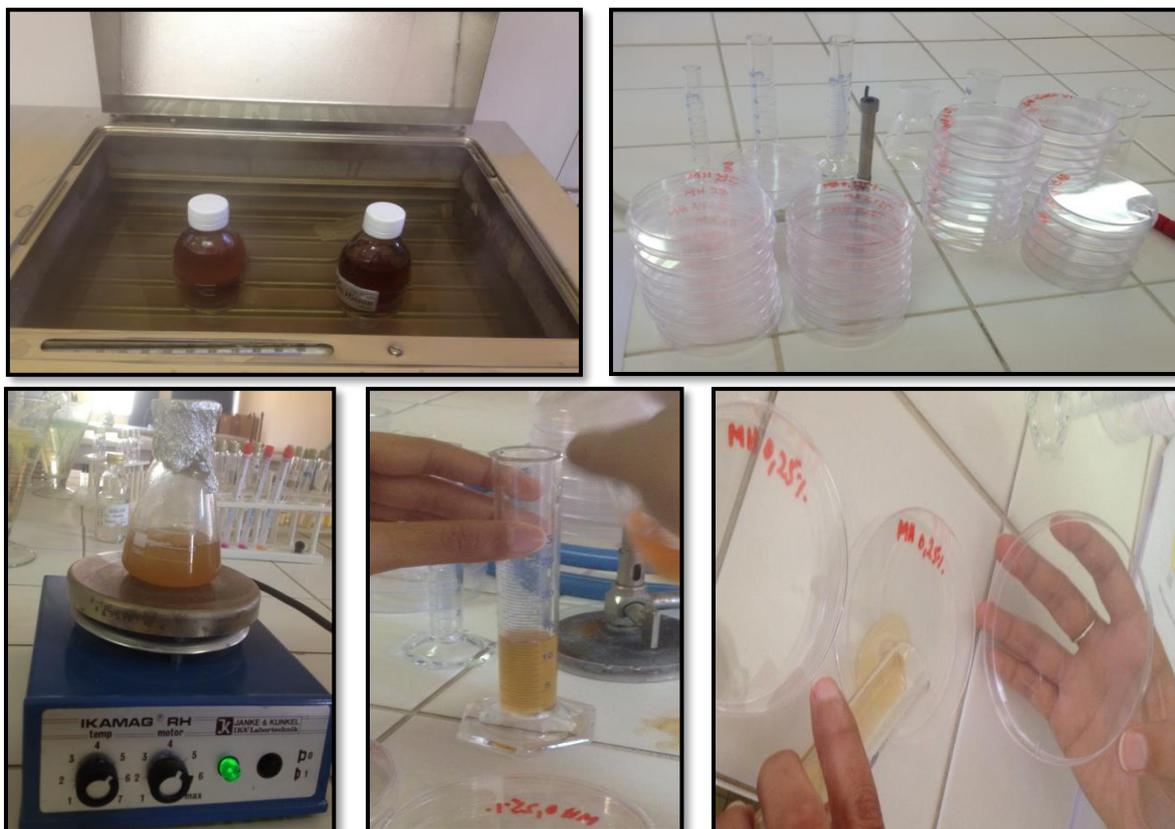


Figure 27: Différentes étapes de préparation des dilutions

◆ Dépôt des disques

Après solidification des milieux, des disques de papier buvard stériles de 6 mm de diamètre ont été déposés dessus puis imprégnés de 10 μ l de chaque suspension bactérienne (ou fongique) [63] (Figure 28).



Figure 28: Dépôt de la suspension microbienne sur les disques

◆ Incubation

Les boîtes MH ont été incubées à 37°C pendant 24 heures et les boîtes Sabouraud à 25°C pendant 48-72 heures [63].

◆ Lecture

La CMI correspond à la plus petite concentration en huile essentielle de *Coriandrum sativum* inhibant toute croissance bactérienne ou fongique visible à l'œil nu [63].

➤ Concentration minimale bactéricide (CMB)

Pour chaque germe, les disques de chacune des dilutions précédentes qui étaient supérieures ou égales à la CMI ont été transférés dans des boîtes contenant 12,5 ml de gélose MH (ou Sabouraud) sans huile essentielle (Figure 29).

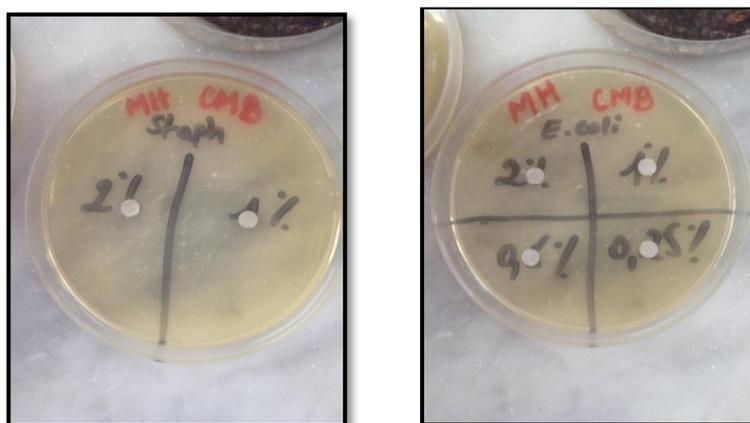


Figure 29: Réalisation des CMB

Les boîtes MH ont été incubées à 37°C pendant 24 heures et les boîtes Sabouraud à 25°C pendant 48-72 heures.

La plus faible concentration dont aucune croissance microbienne n'est apparue correspond à la CMB, qui est la concentration minimale détruisant 99,9% des micro-organismes en culture sur ce milieu [63].

III

RÉSULTATS

1. Étude anatomique de *Coriandrum sativum* L.

❖ Coupes transversales de la tige de *Coriandrum sativum* L.

Sur une coupe transversale de la tige (Figure 30 et Figure 31), un organe à section ronde légèrement crénelée, à symétrie axiale, a pu être observé, de la périphérie vers le centre :

- **Le cortex** : comprenant
 - Un épiderme, comme tissu de revêtement, constitué d'une seule assise de cellules rectangulaires, de taille moyenne et pourvues de fines parois pecto-cellulosiques (colorées en rose car ces cellules sont vivantes) ;
Cet épiderme est recouvert, sur sa face externe, d'une couche lipidique, la cuticule ;
 - Un collenchyme angulaire, comme tissu de soutien, constitué de cellules vivantes à parois très épaisses ;
 - Des canaux sécréteurs d'huile essentielle ;
 - Un parenchyme cortical, constitué de cellules vivantes arrondies, à parois pecto-cellulosiques, relativement petites comparées à celles du parenchyme médullaire ;

- **Le cylindre central** (largement dominant) : comprenant
 - Un phloème, à différenciation centripète ;
 - Un liber, constitué de cellules vivantes déposées en files radiales ;
 - Un xylème, à différenciation centrifuge ;
Ces tissus constituent le système vasculaire de la plante, appelé le faisceau cribro-vasculaire (Figure 32), ils sont nombreux et disposés en un seul cercle ;
 - Un parenchyme médullaire, recouvrant une grande surface de la tige et constitué de très grosses cellules vivantes à fines parois pecto-cellulosiques.

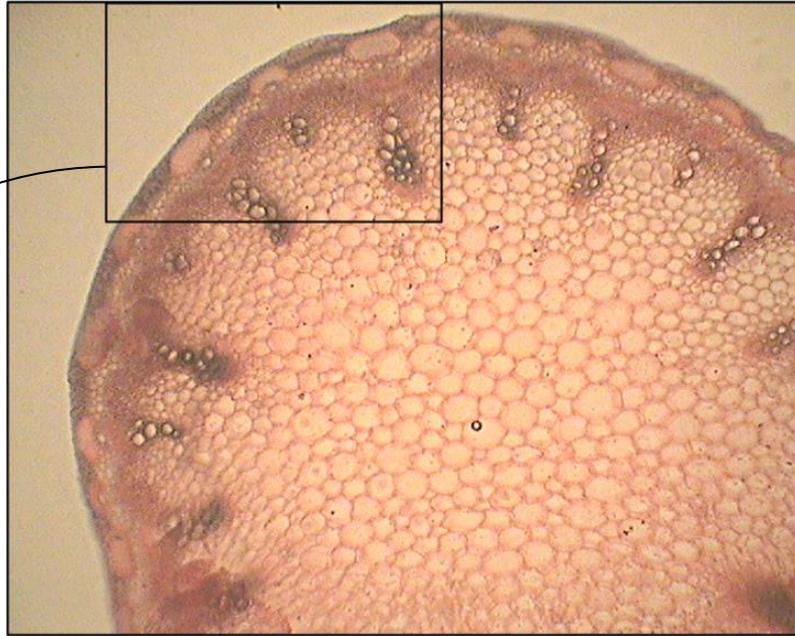


Figure 30: Observation d'une coupe transversale de la tige de *Coriandrum sativum* au microscope photonique (G 4X10)

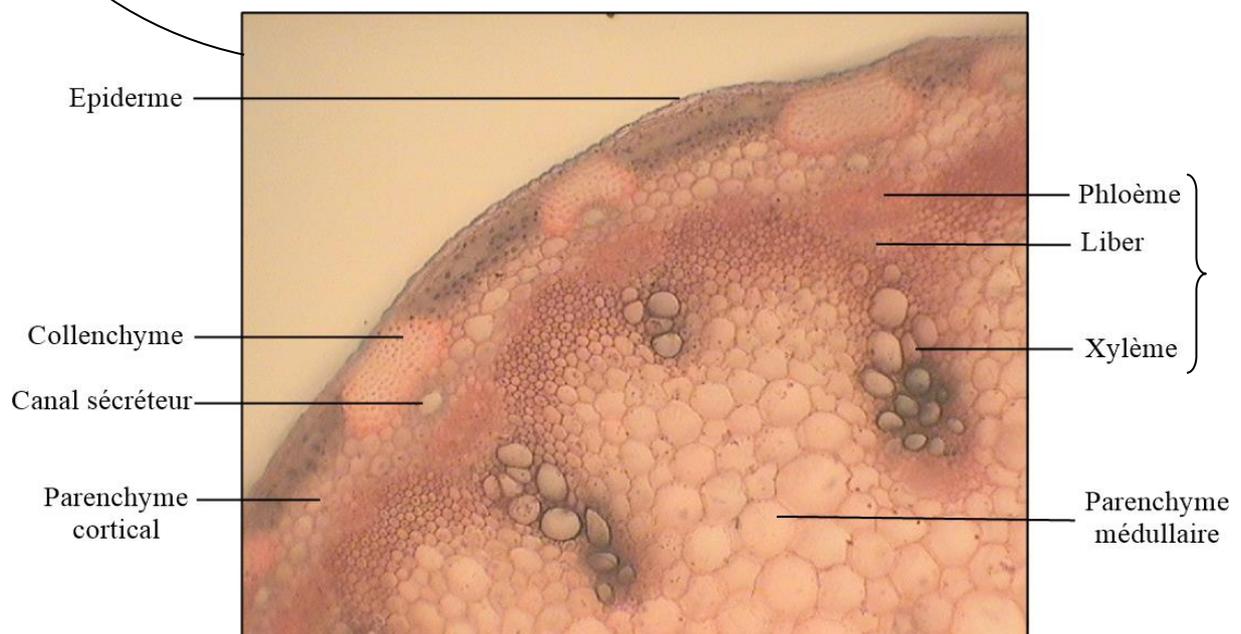


Figure 31: Observation d'une partie de la coupe transversale de la tige *Coriandrum sativum* au microscope photonique (G 10X10)

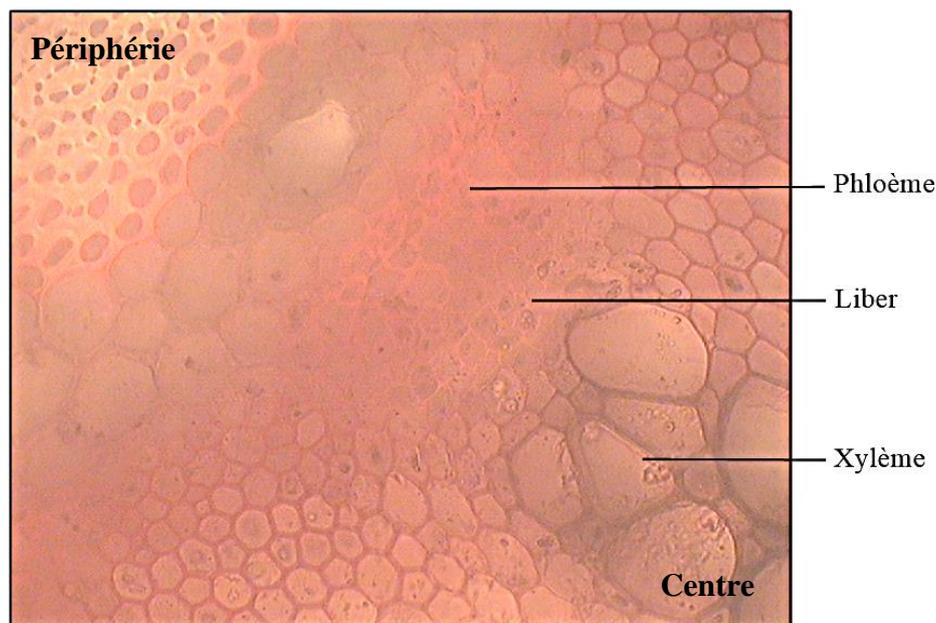


Figure 32: Observation du faisceau cribro-vasculaire de la tige de *Coriandrum sativum* au microscope photonique (G 40X10)

❖ **Coupes du rachis de *Coriandrum sativum* L. :**

Sur une coupe transversale du rachis (Figure 33), un organe à symétrie bilatérale, a pu être observé, de la périphérie vers le centre :

- Un épiderme, comme tissu de revêtement, constitué d'une seule assise de cellules rectangulaires, de taille moyenne et pourvues de fines parois pecto-cellulosiques (colorées en rose car ces cellules sont vivantes) ;
Cet épiderme est recouvert, sur sa face externe, d'une couche lipidique, la cuticule ;
- Un collenchyme angulaire, comme tissu de soutien, constitué de cellules vivantes à parois très épaisses ;
- Des canaux sécréteurs d'huile essentielle ;
- Un parenchyme médullaire, recouvrant une grande surface de la tige, constitué de très grosses cellules vivantes à fines parois pecto-cellulosiques ;
- Un liber, constitué de cellules vivantes déposées en files radiales ;
- Un bois ;

Ces deux derniers tissus secondaires constituent le système vasculaire de la plante.

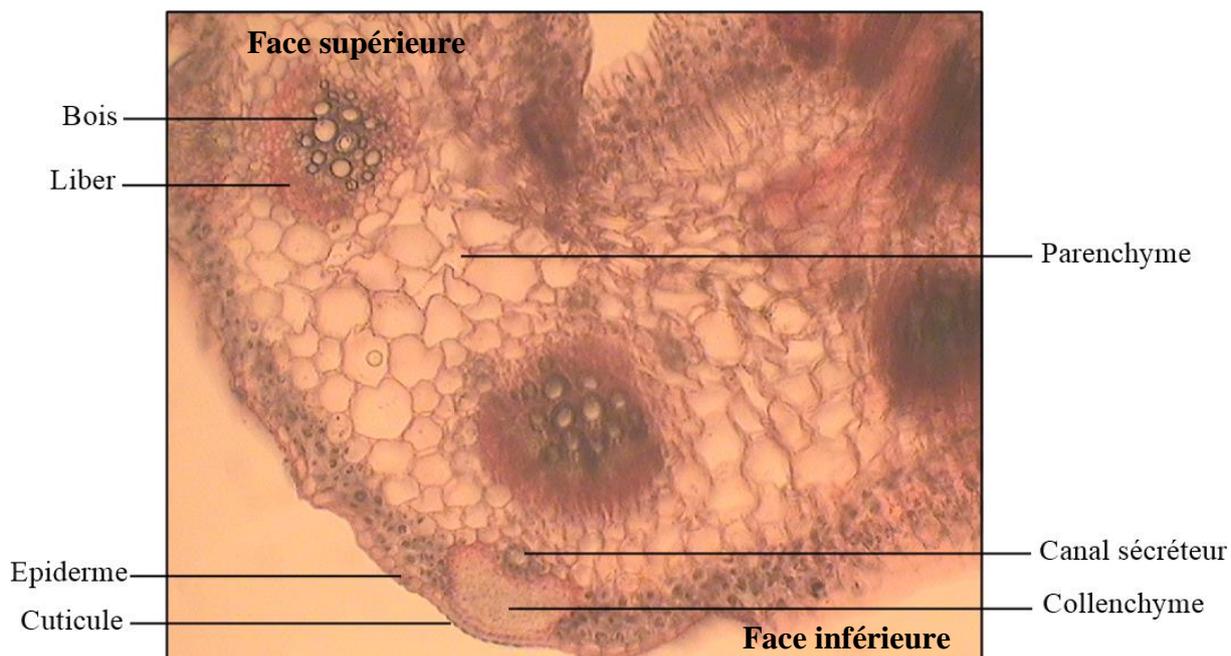


Figure 33: Observation d'une coupe transversale du rachis de *Coriandrum sativum* au microscope photonique (G 10X10)

❖ Coupes de la feuille de *Coriandrum sativum* L.

Sur une coupe transversale de la feuille (Figure 34), un organe aplati à symétrie bilatérale, ont pu être observés au niveau du limbe :

- Deux épidermes (un inférieur et un supérieur) cutinisés constitués d'une seule assise de cellules vivantes, à fines parois pecto-cellulosiques colorées en rose ;
- Un parenchyme palissadique constitué de cellules allongées à parois fines, du côté de la face supérieure ;
- Un parenchyme lacuneux constitué de grandes cellules arrondies formant des lacunes entre elles, du côté de la face inférieure.

Et au niveau de la nervure centrale, ont pu être observés :

- Des éléments conducteurs : liber et bois ;
- Un canal sécréteur d'huile essentielle ;
- Et, de part et d'autre des éléments sus-cités, se trouve le collenchyme.

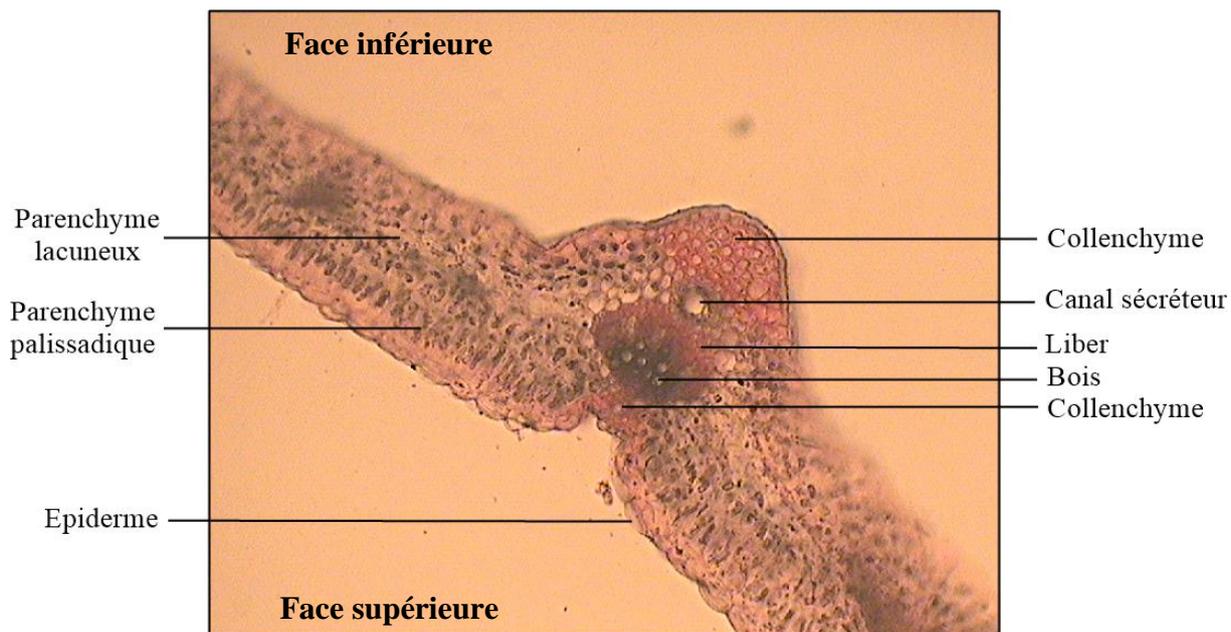


Figure 34: Observation d'une coupe transversale de la feuille de *Coriandrum sativum* au microscope photonique (G 10X10)

❖ Coupes du fruit de *Coriandrum sativum* L.

Sur une coupe transversale du fruit (Figure 35), un organe à symétrie axiale, a pu être observé, de la périphérie vers le centre :

- Un tissu de revêtement (Figure 36), constitué par un épicarpe à cellules vivantes allongées ;
- Un canal sécréteur d'huile essentielle ;
- Un tissu de soutien, constitué par un sclérenchyme à petites cellules scléreuses, mortes à parois épaisses lignifiées (colorée en vert) ;
- Une graine, occupant la majeure partie du fruit ;

Ces 3 tissus étaient séparés les uns des autres par un parenchyme à grandes cellules vivantes ayant de fines parois pecto-cellulosiques colorées en rose ;

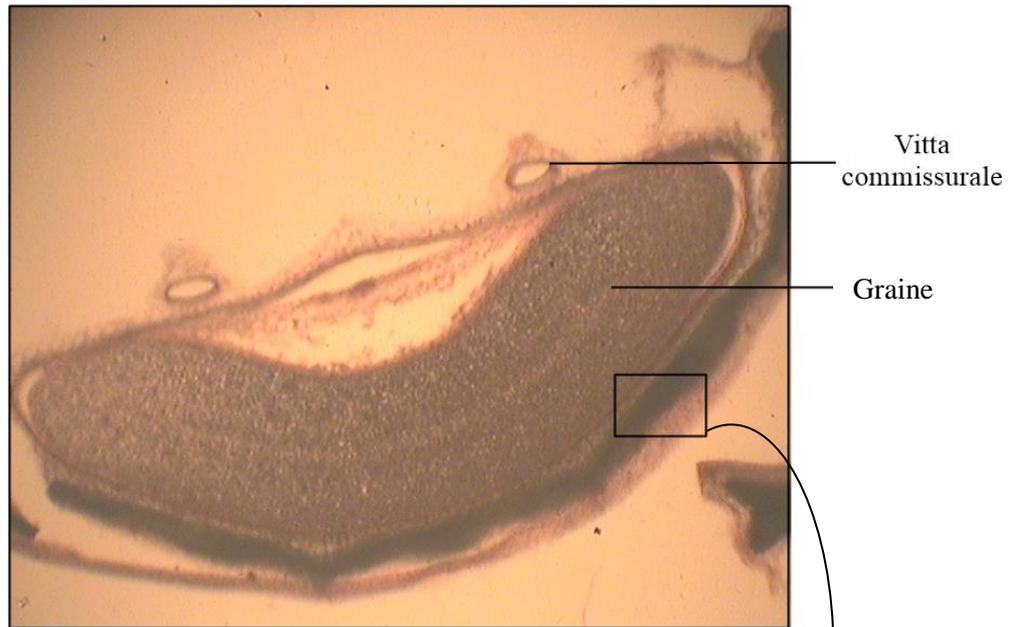


Figure 35: Observation d'une coupe transversale de la méricarpe de *Coriandrum sativum* L. au microscope photonique (G 4X10)

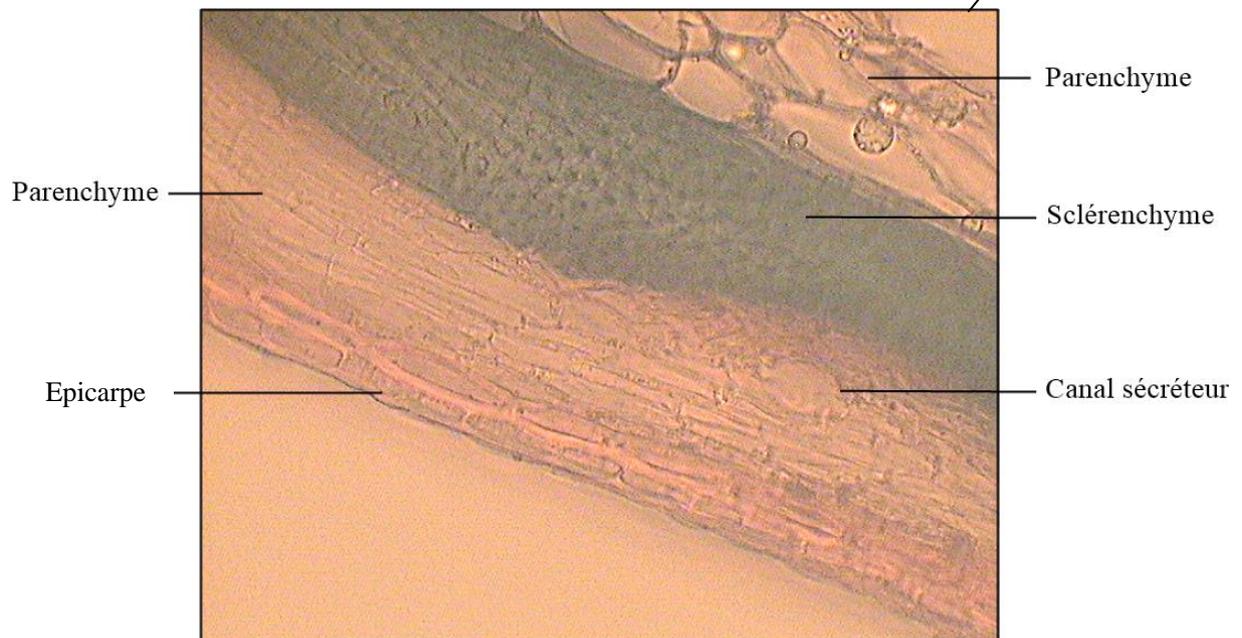


Figure 36: Observation des tissus de revêtement et de soutien du fruit de *Coriandrum sativum* au microscope photonique (G 40X10)

❖ Coupes transversales de la racine de *Coriandrum sativum* L.

Sur une coupe transversale de la racine (Figure 37), un organe à symétrie axiale et à section ronde, a pu être observé, de la périphérie vers le centre :

- **Le cortex** : comprenant
 - Un tissu de revêtement secondaire en files radiales (Figure 38), constitué par :
 - ✓ Un suber, à cellules mortes ;
 - ✓ Un phelloderme, à cellules vivantes très allongées ;L'assise subéreuse a complètement disparu.
 - Un parenchyme cortical, constitué de très grosses cellules vivantes à fines parois pecto-cellulosiques.

- **Le cylindre central** (largement dominant) : comprenant
 - Un liber, constitué de cellules vivantes déposées en files radiales ;
 - Un bois, constitué de cellules mortes déposées en files radiales ;
 - Un xylème, constitué de cellules mortes à parois colorées en vert.

Absence de canaux sécréteurs.

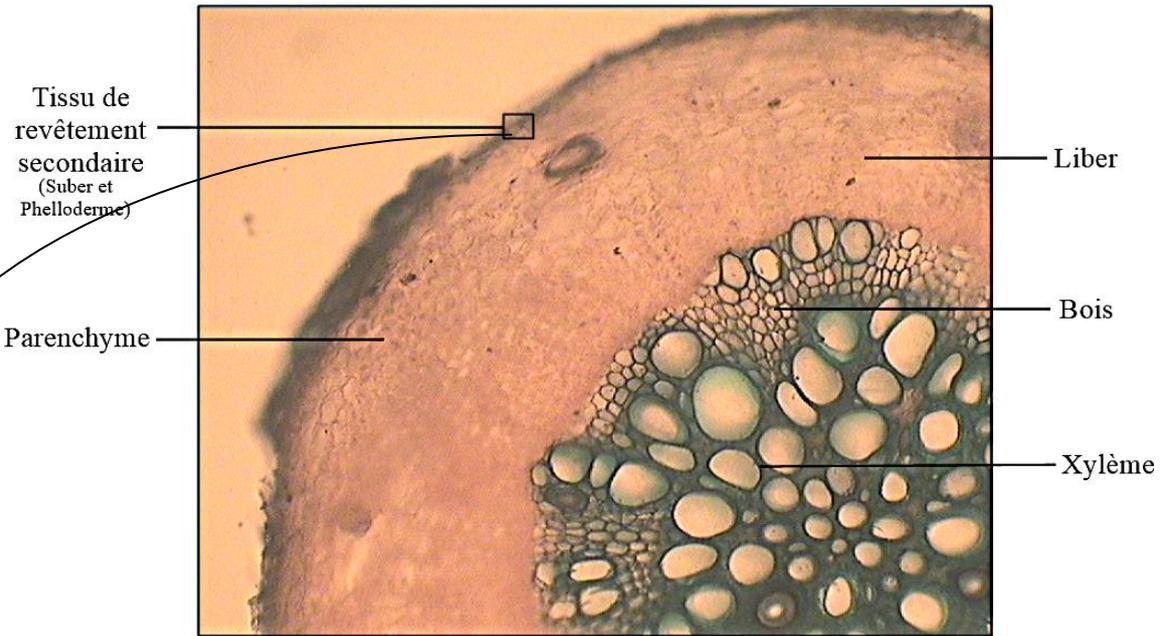


Figure 37: Observation d'une coupe transversale de la racine de *Coriandrum sativum* au microscope photonique (G 10X10)

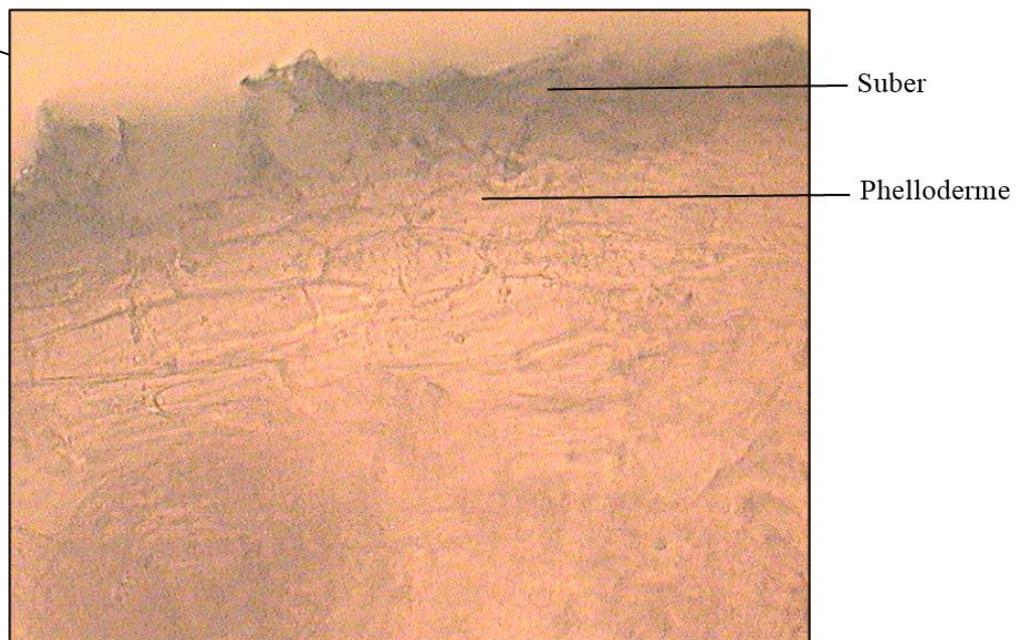


Figure 38: Observation du tissu de revêtement secondaire de la racine de *Coriandrum sativum* au microscope photonique (G 40X10)

2. Rendement

À la fin de l'extraction, un volume de 0,3 ml d'HE de *Coriandrum sativum* L a été récupéré.

$R^{dt} \% = (m_{HE} / m_{végétal}) \times 100$	$R^{dt} \% = 0,518 \%$
$m_{HE} = 0,259 \text{ g}$	$m_{végétal} = 50,015 \text{ g}$

3. Caractérisation organoleptique

Cette caractérisation de l'HE de *Coriandrum sativum* (Figure 39) a porté sur 3 volets :

- ◆ L'aspect : liquide mobile, limpide ;
- ◆ La couleur : jaune clair ;
- ◆ L'odeur et la saveur : Caractéristiques et semblables à celles de la plante de *Coriandrum sativum*.



Figure 39: HE de *Coriandrum sativum*

4. Caractérisation physico-chimique

4.1 Caractères physiques

- Recherche des esters étrangers dans l'HE de *Coriandrum sativum*

Absence de cristaux même après refroidissement (Figure 40).



Figure 40: Absence de cristaux dans l'HECS

- Recherche des huiles grasses et des HE résinifiées dans l'HE de coriandre

L'huile essentielle s'est complètement évaporée après 24 heures sans laisser de tache translucide ou grasse (Figure 41).

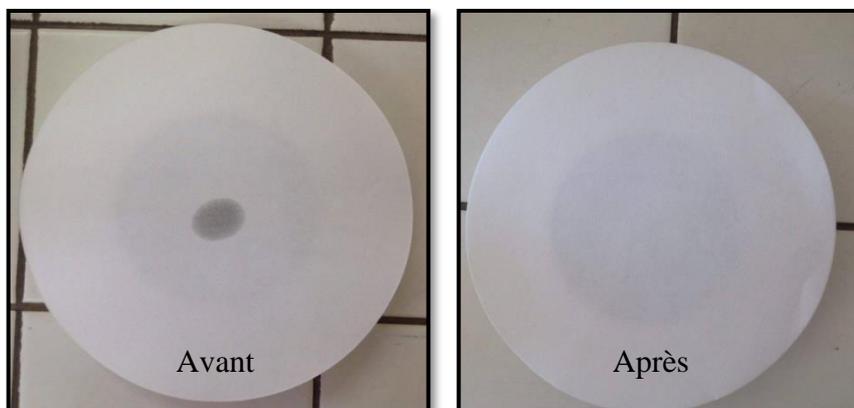


Figure 41: Évaporation de l'huile essentielle

- La densité relative

$d = (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)$		d = 0,869
$m_0 = 13,749 \text{ g}$	$m_1 = 23,680 \text{ g}$	$m_2 = 22,378 \text{ g}$

- L'indice de réfraction (Figure 42)



Figure 42: Lecture du résultat au réfractomètre

$n^{T'} = n^T + 0,00045 * (T - T')$		$n^{T'} = 1,4627$
$n^T = 1,4595$	$T = 27^\circ \text{ C}$	$T' = 20^\circ \text{ C}$

- **Le pouvoir rotatoire**

$[\alpha]^{20}_D = \alpha / (L * C)$	$[\alpha]^{20}_D = + 5$
$\alpha = 2^\circ$	$C = 0,2 \text{ g}/100\text{ml d'éthanol}$
	$L = 2 \text{ dm}$

- **La miscibilité à l'éthanol**

L'huile essentielle de *Coriandrum sativum* a été miscible à **V = 1 ml** (1 Volume) d'éthanol de titre alcalimétrique de **96°** à la température de 20°C. Le mélange était limpide, et l'est resté après addition graduelle d'éthanol de même titre jusqu'à un total de 20 volumes.

L'huile essentielle de *Coriandrum sativum* a été miscible à **V = 1,4 ml** (1,4 Volumes) d'éthanol de titre alcalimétrique de **80°** à la température de 20°C. Le mélange était limpide, et l'est resté après addition graduelle d'éthanol de même titre jusqu'à un total de 20 volumes.

L'huile essentielle de *Coriandrum sativum* a été miscible à **V = 3 ml** (3 Volumes) d'éthanol de titre alcalimétrique de **65°** à la température de 20°C. Le mélange était limpide, et l'est resté après addition graduelle d'éthanol de même titre jusqu'à un total de 20 volumes (Figure 43).



Figure 43: Huile essentielle miscible à l'éthanol (96°, 80°, 65°)

L'huile essentielle de *Coriandrum sativum* a été non-miscible, même après l'ajout de 20 volumes, à l'éthanol de titre alcalimétrique de **33°** à la température de 20°C (Figure 44).



Figure 44: Huile essentielle non-miscible à l'éthanol (33°)

4.2 Caractères chimiques

- **Indice d'acide** (Figure 45)



Figure 45: Neutralisation / virage de couleur vers le rose

$I_A = (56,10 * C * V) / m$		$I_A = 5,57$
$C = 0,1 \text{ mol/L}$	$V = 2 \text{ ml}$	$m = 2,013 \text{ g}$

- **Indice de saponification** (Figure 46)

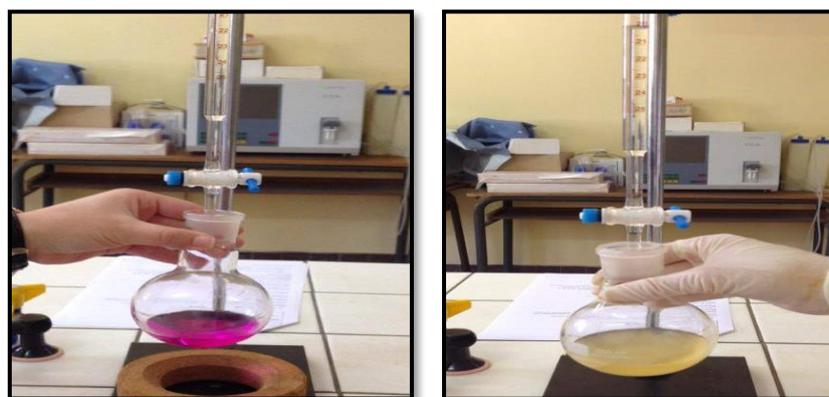


Figure 46: Fin de titrage avec disparition de la couleur rose

$I_S = [28,05 * (V_0 - V_1) / m]$		$I_S = 16,75$
$V_0 = 20,5 \text{ ml}$	$V_1 = 19,9 \text{ ml}$	$m = 1,005 \text{ g}$

- **Indice d'ester**

$I_E = I_S - I_A$	$I_E = 11,18$
-------------------	---------------------------------

- Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

Les résultats de la GC/MS de l'HECS sont présentés dans le tableau II selon l'ordre de prédominance ainsi que dans les figures 47 et 48.

Tableau II : Teneur des différents constituants de l'HECS

Composé	Classe chimique	Tr (min)	Surface	Teneur %
Linalol	Monoterpénol	24	4612887712	68,17
Ethyl-benzene	Dérivé du benzène	7,9	499119616	7,38
α -pinene	Monoterpène	11,6	405617632	5,99
γ -terpinene	Monoterpène	20,45	389094368	5,75
L-camphor	Monoterpénone	26,69	210935216	3,12
Limonene	Monoterpène	18,23	134555424	1,99
ρ -cymene	Monoterpène	17,88	125388568	1,85
β -myrcene	Monoterpène	15,57	116971176	1,73
L-borneol	Monoterpénol	28,51	39590288	0,59
Camphene	Monoterpène	12,55	36818284	0,54
Estragole	Phénylpropène	30,5	36229932	0,54
β -pinene	Monoterpène	14,42	36129428	0,53
Acetochlorone	-	14,56	21481136	0,32
Sabinene	Monoterpène	14,19	20888016	0,31
α -terpinolene	Monoterpène	22,36	19493520	0,29
α -terpineol	Monoterpénol	30,3	17781354	0,26
Terpinen-4-ol	Terpineol	29,22	13872120	0,20
Anethole	Phénylpropène	30,68	10809776	0,16
Heptanol	Alcool simple	9,76	9897551	0,15
Terpinen-4-acetate	Ester terpénique	17,32	5988196	0,09
Benzaldehyde	Aldéhyde	13,35	3459038	0,05

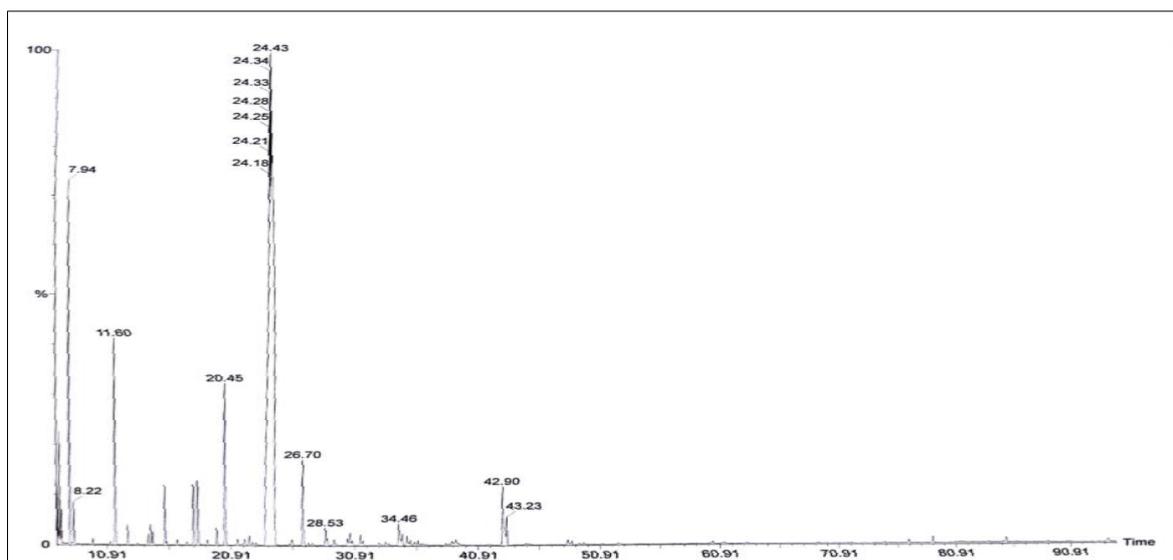


Figure 47 : Profil chromatographique (GC/MS) de l'HECS

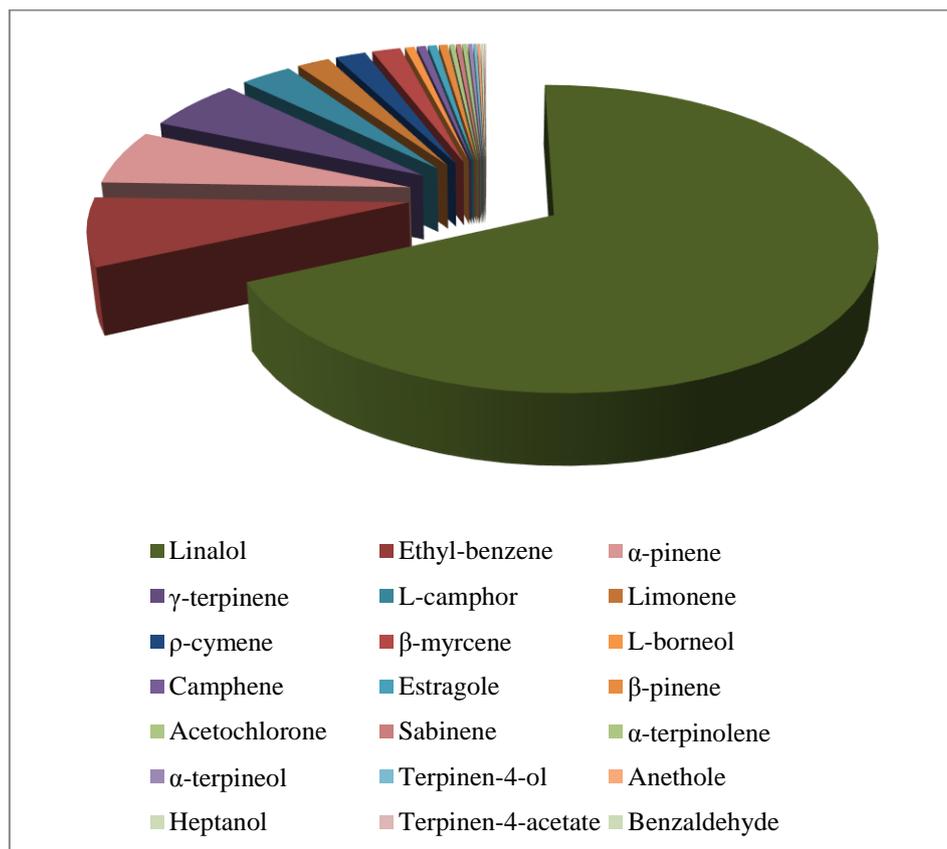


Figure 48 : Diagramme à secteurs représentant la composition chimiques de l'HECS

La teneur (%) des différents composés a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{Teneur (\%)} = (\text{surface sous la courbe du composé} / \text{somme des surfaces}) \times 100$$

5. Évaluation de l'activité antimicrobienne de l' HECS

5.1 Évaluation qualitative de l'activité antimicrobienne de l'HECS « AROMATOGRAMME »

Les résultats de l'aromatogramme se sont manifestés sous forme d'halos d'inhibition dont les diamètres ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse, les moyennes des deux diamètres sont présentées dans les tableaux III et IV.

Sachant que suite au fait que les souches fongiques n'ont pas poussé à 2 reprises après 72h contrairement au témoin négatif, nous avons réduit de moitié le volume d'huile essentielle utilisé.

Tableau III: Résultats de l'aromatogramme reflétant la sensibilité des souches bactériennes à l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* L.

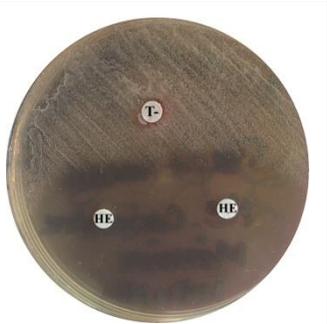
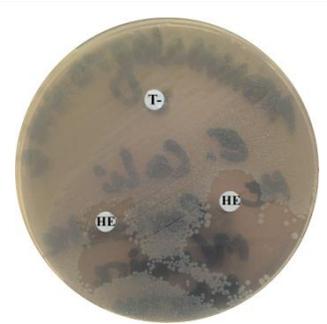
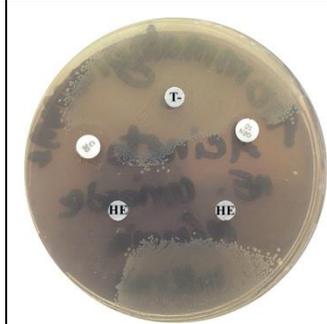
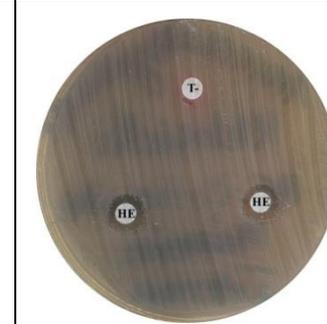
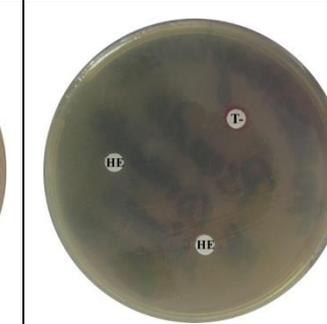
Souche bactérienne	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Acinetobacter baumannii</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Diamètre d'inhibition (moyenne)	34 mm	20 mm	19 mm	10 mm	06 mm
Image					

Tableau IV: Résultats de l'aromatogramme antifongique

Souche fongique	<i>Candida albicans</i>	<i>Rhodotorula</i> sp
Diamètre d'inhibition	18 x 2 = 36 mm	20 x 2 = 40 mm
Résultat		

5.2 Évaluation quantitative de l'activité antimicrobienne de l'HECS**❖ Détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice « CMI »**

La CMI de l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* L. pour un germe donné, correspond à la concentration minimale inhibant toute croissance visible à l'œil nu et donc dans notre cas, à la dilution minimale à laquelle il n'y a pas de croissance visible autour du disque imbibé de suspension microbienne après incubation.

Les résultats sont exprimés dans les tableaux V, VI et VII et les symboles suivants signifient :

+ : pousse microbienne

- : absence de pousse microbienne

Tableau V : Résultats des CMI pour les souches bactériennes testées

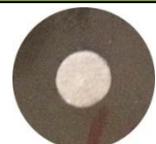
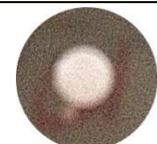
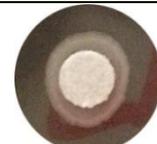
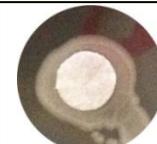
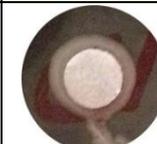
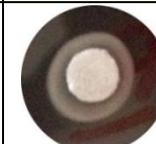
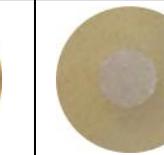
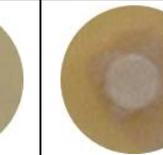
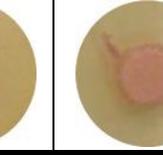
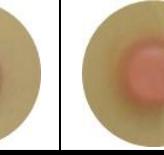
Concentration en HE	2%	1%	0.5%	0.25%	0.125%	0.06%	0.03%	0% Témoin négatif
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
Image								
<i>Escherichia coli</i>	-	-	-	+	+	+	+	+
Image								
<i>Acinetobacter baumannii</i>	-	-	+	+	+	+	+	+
Image								
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	-	+	+	+	+	+	+
Image								

Tableau VI : Résultats des CMI pour les souches fongiques testées

Concentration en HE	2%	1%	0.5%	0.25%	0.125%	0.06%	0.03%	0% Témoin négatif
<i>Candida albicans</i>	-	-	-	-	+	+	+	+
Image								
<i>Rhodotorula sp</i>	-	-	-	-	-	+	+	+
Image								

- ◆ Une croissance visible a été observée autour de tous les disques imbibés des suspensions de *Staphylococcus aureus* pour toutes les dilutions. La CMI de *S. aureus* est par conséquent supérieure à 2%.
- ◆ Pour *Escherichia coli*, il y a eu une culture bactérienne autour des disques placés dans la boîte témoin et dans les dilutions allant de 0.03% à 0.25% ; celle-ci est devenue absente dans les dilutions allant de 0.5% à 2%. Sa CMI est donc de l'ordre de 0.5%.
- ◆ Pour *Acinetobacter baumannii*, il y a eu une culture bactérienne autour des disques placés dans la boîte témoin et dans les dilutions allant de 0.03% à 0.5% ; celle-ci est devenue absente dans les dilutions 1% et 2%. Sa CMI est donc de l'ordre de 1%.
- ◆ Pour *Klebsiella pneumoniae*, il y a eu une culture bactérienne autour des disques placés dans la boîte témoin et dans les dilutions allant de 0.03% à 0.5% ; celle-ci est devenue absente dans les dilutions 1% et 2%. Sa CMI est donc de l'ordre de 1%.
- ◆ Pour *Candida albicans*, il y a eu une culture fongique autour des disques placés dans la boîte témoin et dans les dilutions allant de 0.03% à 0.125% ; celle-ci est devenue absente dans les dilutions allant de 0.25% à 2%. Sa CMI est donc de l'ordre de 0.25%.
- ◆ Pour *Rhodotorula* sp, il y a eu une culture fongique autour des disques placés dans la boîte témoin et dans les dilutions allant de 0.03% à 0.06% ; celle-ci est devenue absente dans les dilutions allant de 0.125% à 2%. Sa CMI est donc de l'ordre de 0.125%.

Tableau VII: Récapitulatif des résultats des CMI pour les germes sensibles

Germes testés sensibles	Dilutions correspondantes à la CMI			
	%, v/v	µl/ml	µg/ml	mg/ml
<i>S. aureus</i>	> 2	> 20	> 17.38	> 0.01738
<i>E. coli</i>	0.5	5	4.35	0.00435
<i>A. baumannii</i>	1	10	8.69	0.00869
<i>K. pneumoniae</i>	1	10	8.69	0.00869
<i>C. albicans</i>	0.25	2.5	2.18	0.00217
<i>Rhodotorula</i> sp	0.125	1.25	1.09	0.00109

❖ Détermination de la Concentration Minimale Bactéricide/Fongicide « CMB/CMF »

La CMB/CMF de l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* L. pour un germe donné, correspond à la concentration minimale détruisant au moins 99,99% des bactéries d'un inoculum (< 0,01% de survivants) et donc dans notre cas, à la dilution minimale à laquelle il n'y a pas de croissance visible autour du disque transféré à partir des boîtes (sur lesquelles ont été évaluées les CMI) n'ayant pas présenté de croissance microbienne visible à l'œil nu.

Les résultats sont exprimés dans les tableaux VIII, IX et X:

Tableau VIII: Résultats des CMB pour les souches bactériennes testées

Concentration en HE Souches bactériennes	2%	1%	0.5%
<i>Escherichia Coli</i>	-	+	+
			
<i>Acinetobacter baumannii</i>	-	-	
			
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	-	
			

- ◆ Pour *Escherichia coli*, il y a eu une culture bactérienne autour des disques correspondants aux dilutions 0.5% et 1% ; celle-ci est devenue absente à la dilution de 2%. Sa CMB est donc de l'ordre de 2% ;
- ◆ Pour *Acinetobacter baumannii*, aucune croissance visible n'a été observée autour des deux disques testés correspondants aux dilutions 1% et 2%. Sa CMB est donc de l'ordre de 1% ;

- ◆ Alors que pour *Klebsiella pneumoniae*, une croissance visible a été observée autour des deux disques testés correspondants aux dilutions 1% et 2%. Sa CMB, si celle-ci existe, est par conséquent supérieure à 2%.

Tableau IX: Résultats des CMF pour les souches fongiques testées

Concentration en HE / Souches fongiques	2%	1%	0.5%	0.25%	0.125%
<i>Candida albicans</i>	-	-	-	+	
					
<i>Rhodotorula sp</i>	-	-	-	+	+
					

- ◆ Pour *Candida albicans*, il y a eu une culture fongique autour du disque correspondant à la dilution de 0.25% ; celle-ci est devenue absente aux dilutions allant de 0.5% à 2%. Sa CMF est donc de l'ordre de 0.5% ;
- ◆ Pour *Rhodotorula sp*, il y a eu une culture fongique autour des disques correspondants aux dilutions 0.125% et 0.25% ; celle-ci est devenue absente aux dilutions allant de 0.5% à 2%. Sa CMF est donc aussi de l'ordre de 0.5%.

Tableau X: Récapitulatif des résultats des CMB/CMF pour les germes sensibles

Germes testés	Dilutions correspondantes à la CMB/CMF			
	%, v/v	µl/ml	µg/ml	mg/ml
<i>E. coli</i>	2	20	17.38	0.01738
<i>A. baumannii</i>	1	10	8.69	0.00869
<i>K. pneumoniae</i>				
<i>C. albicans</i>	0.5	5	4.35	0.00435
<i>Rhodotorula sp</i>	0.5	5	4.35	0.00435

IV

DISCUSSION

1. Étude anatomique de la plante

La présence de canaux sécréteurs d'huiles essentielles qui sont responsables de l'odeur aromatique est un caractère stable chez de nombreuses espèces de la famille des Apiaceae et ceci concorde avec les résultats de l'étude anatomique de *Coriandrum sativum* L. [64].

2. Rendement

Selon la pharmacopée européenne 7^{ème} édition et l'AFNOR, le rendement en HE de l'hydrodistillation des fruits de coriandre est compris entre 0,44% et 0,70% [57].

Le rendement de notre extraction étant égale à 0,518%, il est donc dans les normes requises.

3. Caractérisation organoleptique

Tableau XI: Comparaison des résultats des caractères organoleptiques de l'HE de Coriandre aux normes AFNOR/ISO

	AFNOR/ISO 3516 [65]	Notre HE de coriandre
Aspect	Liquide mobile, limpide	Liquide mobile, limpide
Couleur	Incolore à jaune pâle	Jaune claire
Odeur	Caractéristique, épicée, rappelant celle du linalol	Caractéristique et semblable à celle de <i>Coriandrum sativum</i>

Les caractères organoleptiques de notre HE sont conformes aux normes AFNOR/ISO [65].

4. Caractérisation physico-chimique

- **Recherche des esters étrangers dans l'HECS**

Selon la pharmacopée européenne 7^{ème} édition, l'absence de cristaux dans le mélange implique l'absence d'esters étrangers, donc cette huile essentielle en est dépourvue [61].

- **Recherche des huiles grasses et des HE résinifiées dans l'HECS**

L'absence de tache translucide témoigne de l'absence d'huiles fixes qui, à la différence des huiles essentielles, ne sont pas volatiles à température ambiante.

- **Densité relative**

Selon les normes AFNOR/ISO NF 3516, la densité relative de l'HE de coriandre doit être comprise entre 0,862 et 0,878. La densité relative de cette HE étant de 0,869, elle est donc dans les normes requises [65].

- **Indice de réfraction**

Selon les normes AFNOR/ISO NF 3516, l'indice de réfraction de l'HE de coriandre doit être compris entre 1,462 et 1,470. L'indice de réfraction de cette HE étant de 1,4627, est donc dans les normes requises [65].

- **Pouvoir rotatoire**

Selon les normes AFNOR/ISO NF 3516, le pouvoir rotatoire de l'HE de coriandre doit être compris entre +5 et +13. Le pouvoir rotatoire de cette HE étant de +5, est donc dans les normes requises [65].

- **Miscibilité à l'éthanol**

Selon les normes AFNOR/ISO NF 3516, 1 ml d'HE de coriandre doit être miscible dans moins de 8 ml (8 Volumes) d'alcool de titre alcalimétrique de 65°, ce qui est le cas de cette HE qui est miscible dans 3 ml de cet alcool [65].

- **Indice d'acide**

Selon les normes AFNOR/ISO NF 3516, l'indice d'acide de l'HECS doit être au maximum de 3,0. L'indice d'acide de cette huile essentielle étant de 5,57, il est donc supérieur aux normes requises. Cela peut trouver une explication dans la dégradation de l'huile essentielle (hydrolyse des esters) durant sa conservation ou lors de son hydrodistillation.

En l'absence de normes auxquelles comparer les résultats, l'indice d'ester et l'indice de saponification ne peuvent être correctement interprétés, mais étant donné que l'indice d'ester varie à l'inverse de l'indice d'acide, il est donc relativement bas, ce qui ne permet pas une longue conservation de l'huile essentielle.

Selon Boukhatem MN et *al*, toutes ces constantes sont influencées par les conditions édaphiques et climatiques ainsi que par les pratiques culturales [65, 66, 67].

- **Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse**

Les résultats de la GC/MS de l'huile essentielle étudiée ont révélé que la quasi-totalité des constituants de l'huile essentielle des fruits de *Coriandrum sativum* faisaient partie de la classe chimique des terpènes et des composés terpéniques représentés majoritairement par l'alcool monoterpénique, linalol suivi des monoterpènes (α -pinène, γ -terpinène, ...etc) et du L-camphor qui est un monoterpène.

Ces résultats ont été comparés à la composition chimique décrite par la pharmacopée européenne 7^{ème} édition (2008) ainsi qu'à la norme AFNOR/ISO (NF ISO 3516) (Tableau XII) pour relever que cette HE était globalement conforme aux normes sur le plan chimique, à quelques exceptions près. En effet, certains composés présents dans notre HE étaient absents des normes, à l'image de l'ethyl benzène, d'autres étaient quant à eux, absents dans notre échantillon malgré leur description par les normes, le geraniol et l'acetate de geranyle en sont l'exemple. Ceci peut être expliqué par les facteurs climatiques, édaphiques et culturaux.

Tableau XII : Comparaison de la composition chimique de notre huile essentielle aux normes

Composé	Teneur % (Notre étude)	Teneur % (NF ISO 3516)	Teneur % (Pharmacopée)	Conformité aux normes
Linalol	68,17	45 – 85	65.0 - 78.0	Conforme
Ethyl-benzene	7,38	-	-	-
α -pinene	5,99	1 à 15	3.0 - 8.0	Conforme
γ -terpinene	5,75	0.05 – 15	1.5 - 8.0	Conforme
L-camphor	3,12	0 – 10	3.0 - 6.0	Conforme
Limonene	1,99	0 à 4	1.5 - 5.0	Conforme
ρ -cymene	1,85	0 à 15	0.5 - 4.0	Conforme
β -myrcene	1,73	-	-	-
L-borneol	0,59	-	-	-
Camphene	0,54	-	-	-
Estragole	0,54	-	-	-
β -pinene	0,53	-	-	-
Acetochlorone	0,32	-	-	-
Sabinene	0,31	-	-	-
α -terpinolene	0,29	-	-	-
α -terpineol	0,26	-	0.1 - 1.5	Conforme
Terpinen-4-ol	0,20	-	-	-
Anethole	0,16	-	-	-
Heptanol	0,15	-	-	-
Terpinen-4-acetate	0,09	-	-	-
Benzaldehyde	0,05	-	-	-
Acetate de geranyle	-	1 – 20	0.5 - 4.0	Absent
Geraniol	-	0 – 7	0.5 - 3.0	Absent

Ces résultats ont également été comparés à ceux d'autres études (Tableau XIII)

Tableau XIII : Principaux constituants de l'huile essentielle des fruits de *Coriandrum sativum* (exprimés en %) rapportés par la littérature [68]

Composés	Notre étude	Algérie	Canada		Tunisie
		Zoubiri & al. (2010)	Zheljazko-va & al. (2008)	Delaquis & al. (2002)	Msaada & al. (2007)
Linalol	68.17	73.11	82.00	69.80	87.54
α – terpineol	0.26	0.19	-	-	-
Camphre	3.12	1.85	3.80	5.20	-
α – pinene	5.99	3.41	1.80	5.40	0.02
γ – terpinene	5.78	-	-	5.30	-
Limonene	1.99	1.23	0.70	-	0.02
ρ – cymene	1.73	1.76	1.30	1.50	< 0.05
β -pinène	0.53	0.78	-	-	0.05
β -myrcene	1.73	0.65	-	-	-
Acetate de geranyle	-	-	1.2	-	0.83
Geraniol	-	-	-	-	-

D'une manière générale, les résultats de la composition chimique trouvés pour l'échantillon étudié sont semblables et correspondent à ceux rapportés dans la littérature, notamment à ceux de l'étude algérienne réalisée par Zoubiri & al. (2010).

5. Évaluation de l'activité antimicrobienne de l'HECS

Pour la technique de l'aromatogramme, la sensibilité du germe testé pour 10 µl d'HE a pu être évaluée selon le diamètre d'inhibition obtenu en se référant au Tableau XIV :

Tableau XIV: Classification des souches microbiennes testées selon leur degré de sensibilité à l'HECS

Souches microbiennes	Diamètres d'inhibition obtenus	Taille référence du halo d'inhibition	Conclusion
<i>Staphylococcus aureus</i>	34	> ou = 20 mm	Le germe est extrêmement sensible
<i>Escherichia coli</i>	20	> ou = 20 mm	Le germe est extrêmement sensible
<i>Acinetobacter baumannii</i>	19	[15-19]	Le germe est très sensible
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	10	[8-14]	Le germe est sensible
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	06	< 8 mm	Le germe est non sensible
<i>Candida albicans</i>	36	> ou = 20 mm	Le germe est extrêmement sensible
<i>Rhodotorula sp.</i>	40	> ou = 20 mm	Le germe est extrêmement sensible

Alors que l'activité intrinsèque de l'HE a pu, elle, être évaluée selon le ratio CMB/CMI ou CMF/CMI présenté dans le (Tableau XV), sachant que : si CMB(F)/CMI = 1 à 2, l'effet est bactéricide et si CMB(F)/CMI = 4 à 16, l'effet est bactériostatique (Berche et al, 1991) [69].

Tableau XV: Évaluation de l'effet antimicrobien intrinsèque de l'HECS avec le ratio CMB(F)/CMI

Souche microbienne	CMI (% , v/v)	CMB(F) (% , v/v)	CMB/CMI ou CMF/CMI	Evaluation de l'activité intrinsèque de l'HE
<i>S. aureus</i>	> 2			Bactériostatique
<i>E. coli</i>	0.5	2	4	Bactériostatique
<i>A. baumannii</i>	1	1	1	Bactéricide
<i>K. pneumoniae</i>	1	> 2	> 2	Bactériostatique
<i>C. albicans</i>	0.25	0.5	2	Fongicide
<i>Rhodotorula sp.</i>	0.125	0.5	4	Fongistatique

À partir de l'aromatogramme, le constat que l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* varie selon le germe testé peut être fait ; en effet, l'HE a montré un extrême effet inhibiteur sur *S. aureus*, *E. coli*, *C. albicans* et *Rhodotorula* sp. et un peu moins sur *A. baumannii* alors que son activité inhibitrice est encore moindre sur *K. pneumoniae*. En revanche, elle n'a aucun effet sur *P. aeruginosa*. Les différents microbes n'ont donc pas la même sensibilité vis-à-vis de l'HECS.

Par ailleurs, se trouvent dans la bibliographie, quelques études qui ont, elles aussi, analysé l'activité antimicrobienne de l'HE de *Coriandrum sativum* contre certains germes testés dans la présente étude. Les résultats obtenus diffèrent d'une étude à une autre et elles sont présentées dans le tableau suivant (Tableau XVI) :

Tableau XVI: Comparaison entre les résultats de l'activité antimicrobienne de l'HE étudiée avec d'autres études

Étude (diamètre d'inhibition) Souche microbienne	Mandal & al. (2015) [70] (15µl/disque)	Ouis (2015) [57] (10µl/disque)	Alves & al. (2016) [71] (20 µl de Linalol extrait de l'HECS / disque)
<i>Staphylococcus aureus</i>	-	22.1 mm	-
<i>Escherichia coli</i>	25 mm	16.7 mm	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10 mm	13 mm	-
<i>Acinetobacter baumannii</i> (différentes souches)	-	-	LMG 1025 : 63.5 ± 2.1 mm LMG 1041 : 24.5 ± 0.7 mm AcB 10/10 : 20.0 ± 0.0 mm AcB 23/10 : 24.5 ± 0.7 mm AcB 24/10 : 50.0 ± 1.4 mm

À volumes d'HECS égaux par disque :

- ◆ Le diamètre d'inhibition de *Staphylococcus aureus* testé est supérieur au diamètre d'inhibition de *Staphylococcus aureus* trouvé par Ouis (2015);
- ◆ Le diamètre d'inhibition d'*Escherichia coli* testé est supérieur au diamètre d'inhibition d'*Escherichia coli* trouvé par Ouis et par Mandal & al. (2015) à volumes égaux/disque.

- ◆ Le diamètre d'inhibition d'*Acinetobacter baumannii* testé est supérieur aux diamètres d'inhibition des souches LMG 1041, AcB 10/10, AcB 23/10 et AcB 24/10 et est inférieur à celui de la souche LMG 1025 d'*Acinetobacter baumannii* trouvés par Alves & al. (2016)
- ◆ De plus, dans cette même étude, comme dans la nôtre, il a été prouvé que l'HECS avait un effet bactéricide sur *Acinetobacter baumannii*.
- ◆ La principale différence entre les résultats de ces études et ceux de la nôtre est que *Pseudomonas aeruginosa* testé dans ces études est sensible à l'HECS contrairement aux résultats qu'on a obtenus.

Les divergences entre les résultats peuvent s'expliquer par :

- Une différence de sensibilité entre les souches testées ainsi que la méthode utilisée pour leur évaluation ;
- Une variation de la densité de la suspension microbienne ;
- Une différence du chémotype de l'huile essentielle et par conséquent une différence d'activité ;
- Il aurait peut-être fallu utiliser un volume supérieur à 10µl d'HECS/disque pour observer l'inhibition du *Pseudomonas aeruginosa*.

Les résultats de la présente étude ont montré que *S. aureus*, qui est une bactérie à Gram positif était plus sensible qu'*E. coli*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae* et *P. aeruginosa* qui sont des bactéries à Gram négatif. Cette sensibilité plus marquée des Gram (+) par rapport aux Gram (-) vis-à-vis de l'HE a été déjà observée dans plusieurs études antérieures [57].

La grande résistance des bactéries Gram (-) serait liée en partie à la complexité de la paroi cellulaire de ces micro-organismes qui contient une double membrane plus riche en lipopolysaccharides (LPS) la rendant plus hydrophile, empêchant ainsi les terpènes hydrophobes d'y adhérer, contrairement à la structure membranaire simple des bactéries Gram (+) [29, 57].

En évaluant les ratios CMB/CMI et CMF/CMI (Tableau XIII), il a été constaté que l'HE avait détruit *A. baumannii* et *C. albicans* alors qu'elle n'a fait qu'inhiber la croissance de *S. aureus*, *E. coli*, *K. pneumoniae* ainsi que celle de *Rhodotorula* sp.

Dorman et Deans (2000) ont démontré que l'activité bactéricide des H.E. vis-à-vis des cellules bactériennes pouvait être expliquée par une dénaturation des protéines provoquée par le rôle solvant et déshydratant des huiles essentielles [72].

Giordani et Kaloustian (2006) ont souligné que les composés terpéniques (que l'HECS possède en grande quantité) des HE réagissent avec les enzymes membranaires et dégradent la membrane plasmique entraînant une fuite du contenu cytoplasmique et donc la mort de la levure (COX, 2000), ce qui expliquerait l'effet fongicide de l'HECS vis-à-vis des levures *C. albicans* [72].

Cette activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* est principalement liée à son profil chimique (Tableau II). Ce dernier montre une dominance des alcools monoterpéniques environ $\frac{3}{4}$ de cette huile essentielle, avec le linalol (68%) comme composé majoritaire.

Différentes études portées sur l'activité antimicrobienne des composés des HE, ont prouvé l'effet microbicide et anti-infectieux des monoterpénols (Franchomme, 1981 et Kurita et Koike, 1982). Ainsi, le linalol est le plus actif parmi les cinq constituants purs des HE (conéol, citral, géraniol, linalol et menthol) étudiés par Pattnaik et al, 1997 en inhibant la croissance de dix-sept parmi dix-huit souches bactériennes testées, avec un pouvoir fongistatique démontré sur les champignons étudiés [73].

Freeman et Carel (2006), ont quant à eux, signalé que les groupes moléculaires avec les plus puissantes actions antibactériennes sont également des antifongiques efficaces, mais ils doivent être utilisés sur de plus longues périodes [72].

Cependant, dans le cadre de la présente étude, des contraintes peuvent être soulevées, elles concernent :

- Le problème de diffusion et de l'homogénéité de dispersion des huiles essentielles qui ont une très faible solubilité dans les milieux de culture vu leur nature hydrophobe. L'utilisation d'émulsion « huile essentielle + Polysorbate », le polysorbate étant un tensioactif et un excellent dispersant des huiles essentielles, a été proposée pour résoudre ce problème ; cependant, cet agent a un effet inhibiteur sur l'effet antimicrobien des huiles essentielles [29].
- La variation de la densité des suspensions microbiennes utilisées pour l'inoculum entraîne l'absence de reproductibilité et donc la difficulté de comparaison entre les différentes manipulations, l'idéal serait d'utiliser un densitomètre ou de comparer la suspension à une solution d'une turbidité connue de 0,5 Mc Farland pour vérifier précisément la turbidité de chaque suspension.
- Le nombre des études portant sur l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle des fruits de *Coriandrum sativum* est très réduit, et leur contenu est assez pauvre en informations auxquelles nous pouvons comparer nos résultats, c'est-à-dire que la plupart des études portant sur l'activité antimicrobienne de l'HE de *Coriandrum sativum* ont l'inconvénient de concerner soit l'HE des feuilles et non celle des fruits, soit des germes autres que ceux que nous avons utilisés.

CONCLUSION

CONCLUSION

Les huiles essentielles sont des substances aromatiques, d'une composition chimique complexe, leur conférant des propriétés antimicrobiennes très intéressantes à mettre à profit en thérapeutique médicale face aux germes qui deviennent de plus en plus résistants aux traitements conventionnels.

L'intérêt a porté sur l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* L. issue des fruits de coriandre qui est une plante locale, dont une monographie et une étude anatomo-botanique ont été élaborées.

L'huile essentielle des fruits de coriandre a été obtenue par hydrodistillation avec un rendement de 0,51%. La détermination des caractères organoleptiques et physicochimiques (densité, indice de réfraction, pouvoir rotatoire, miscibilité à l'éthanol, indice d'acide, indice d'ester) a démontré que notre huile essentielle était dans les valeurs données par l'AFNOR/ISO, à l'exception de l'indice d'acide qui était légèrement supérieur aux normes.

Une GC/MS de l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* L. a également été afin de mettre en évidence les groupements constitutifs, elle a révélé que le Linalol était le composant majoritaire.

L'évaluation de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de coriandre a été réalisée *in vitro* sur une gamme de microorganismes fournis par le CHU Nedir Mohammed.

Les résultats de l'aromatogramme ont démontré que notre HE présentait un important pouvoir inhibiteur contre *C. albicans*, *Rhodotorula* sp, ainsi que sur : *S. aureus*, *E. coli*, *A. baumannii*. La sensibilité de *K. pneumoniae* était limitée, et celle de *P. aeruginosa* était nulle.

Ceux des CMI et CMB/CMF ont montré l'effet bactéricide/fongicide de notre HE sur *C. albicans* et sur *A. baumannii*.

En perspective, il serait intéressant d'élargir la gamme des souches testées et d'approfondir les recherches sur le plan chimique afin de mieux maîtriser ce pouvoir antimicrobien en vue de l'exploiter dans l'industrie pharmaceutique pour enrichir l'arsenal thérapeutique.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Aromathérapie (n. f.). Dictionnaire Larousse [En ligne]. [Consulté en Nov 2016]. Disponible sur : www.larousse.fr
- [2] Docteur nature. Naturopathie, phytothérapie, aromathérapie [En ligne]. 2015 [consulté en Nov 2016]. Disponible sur : <https://www.docteurnature.org>
- [3] Cusson C. L'Aromathérapie & Les huiles essentielles [Livre En ligne]. 2007 [consulté en Nov 2016]. Disponible sur : <http://www.doc-developpement-durable.org>
- [4] Collège International d'Aromathérapie Dominique Beaudoux. L'Aromathérapie scientifique : l'art de préserver la santé avec les huiles essentielles [En ligne]. 2016 [consulté en Nov 2016]. Disponible sur : <http://www.college-aromatherapie.com>
- [5] Girard G. Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie par : LES PROPRIETES DES HUILES ESSENTIELLES DANS LES SOINS BUCCO-DENTAIRES D'HIER A AUJOURD'HUI [Thèse]. Nancy : Université Henri Poincare ; 2010.
- [6] Pierron C. Les huiles essentielles et leurs expérimentations dans les services hospitaliers de France : exemples d'applications en gériatrie-gérontologie et soins palliatifs [Thèse]. Nancy : Université de Lorraine ; 2014.
- [7] PRANAROM. DÉCOUVRIR L'AROMATHÉRAPIE [En ligne]. 2015 [consulté en Déc 2016]. Disponible sur : <http://www.pranarom.com>
- [8] Franchomme P, Jollois R, Pénoel D. l'aromathérapie exactement : Encyclopédie de l'utilisation des extraits aromatiques. Paris : Éditions Roger Jollois ; 2001.
- [9] Baudoux D, Zhiri A. HUILES ESSENTIELLES CHÉMOTYPEES ET LEURS SYNERGIES. Luxembourg : Éditions Inspir Development ; 2005.
- [10] J. Bruneton. Pharmacognosie Phytochimie Plantes médicinales 3^{ème} édition. Paris : Éditions Tec & doc ; 1999.
- [11] Willem JP. LES HUILES ESSENTIELLES médecine d'avenir. Paris : Editions du Dauphin ; 2009.
- [12] Kaloustian J, Hadji-Minaglou F. La connaissance des huiles essentielles : qualité et aromathérapie. Paris : Editions Springer. 2012.
- [13] Festy D. HUILES ESSENTIELLES LE GUIDE VISUEL. Paris: Quotidien Malin, 2014.
- [14] Couderc VL. TOXICITE DES HUILES ESSENTIELLES [thèse]. Toulouse: École nationale vétérinaire Toulouse, 2001.
- [15] Wikipédia encyclopédie en ligne. Disponible sur : www.wikipedia.fr
(monoterpènes ; sesquiterpènes ; expression à froid ; pouvoir rotatoire ; indice de réfraction ; indice de saponification ; eau dans les huiles essentielles ; chromatographie en phase gazeuse ; antimicrobien ; Coriandre)
- [16] Elhaib A. VALORISATION DE TERPENES NATURELS ISSUS DE PLANTES MAROCAINES PAR TRANSFORMATIONS CATALYTIQUES [thèse]. Toulouse: Université de Toulouse, 2011.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [17] Chouitah O. Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles des feuilles de *Glycyrrhiza glabra* [thèse]. Oran: Université d'Oran, 2012.
- [18] Samate AD. COMPOSITIONS CHIMIQUES DES HUILES ESSENTIELLES EXTRAITES DE PLANTES AROMATIQUES DE LA ZONE SOUDANIENNE DU BURKINA FASO: VALORISATION [thèse]. Ouagadougou: Université de Ouagadougou, 2002.
- [19] Biotechnologie végétale. LES HUILES ESSENTIELLES [En ligne]. 2012 [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur : <http://mira-biotechnologievgtale.blogspot.com>
- [20] Herboristerie Bardou. Critères de qualité des huiles essentielles chémotypées [En ligne]. [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur : <http://www.herboristeriebardou.com.fr>
- [21] Activité larvicide des extraits de plantes sur les larves de moustiques vecteurs de maladies parasitaires [En ligne]. [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur le site : www.memoireonline.com
- [22] Benouali D, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed Boudiaf ». Extraction et identification des huiles essentielles [Cours En ligne]. 2015 [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur : <http://www.univ-usto.dz>
- [23] SMADJA J. Les Huiles Essentielles. LCSNSA Université de la Réunion. Colloque GP3A. 2-3 juillet 2009 ; Tananarive
- [24] Dipage JA. HUILES ESSENTIELLES OBTENTION ET RENDEMENT [En ligne]. 2009 [Consulté le 5 Déc 2016]. Disponible sur : <http://www.sainte-liberte.over-blog.com>
- [25] Laboratoire d'aromathérapie Cosbionat. Aromathérapie [En ligne]. [Consulté le 12 Déc 2016]. Disponible sur : <http://www.docteurvalnet.com>
- [26] Benabdelkader T. Biodiversité, Bioactivité et Biosynthèse des composés terpéniques volatils des Lavandes Ailées, *Lavandula stoechas* Sensu Lato, un complexe d'Espèces Méditerranéennes d'Intérêt Pharmacologique [thèse]. Alger: Ecole Normale Supérieure de Kouba-Alger et Université Jean- Monnet de Saint-Étienne, 2012.
- [27] Duval L. Les huiles essentielles à l'officine [thèse]. Rouen: Université de Rouen, 2012.
- [28] Laib I. Etude des activités antioxydantes et antifongiques de l'huile essentielles des fleurs sèches de *Lavandula officinalis* sur les moisissures des légumes secs [thèse]. Constantine: Université Mentouri Constantine, 2011.
- [29] Haddad D, Hadji D. Contribution à l'Etude des L'Huile Essentielle De *Myrtus communis* L. [thèse]. Tizi Ouzou: Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2016.
- [30] Caractérisation des huiles essentielles de trois plantes aromatiques [En ligne]. [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur le site : www.memoireonline.com
- [31] ChemSuisse. Classification, étiquetage et emballage des huiles essentielles (Système SGH/CLP) Ver. 5.1 [En ligne]. Suisse : 2014 ; [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur le site : www.swissmedic.ch

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[32] Mayer F. Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie par : UTILISATIONS THERAPEUTIQUES DES HUILES ESSENTIELLES : ETUDE DE CAS EN MAISON DE RETRAITE [Thèse]. Nancy : Université de Lorraine ; 2012.

[33] Cohen D. Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie par : LES HUILES ESSENTIELLES À L'OFFICINE : DANGERS POUR LA FEMME ENCEINTE ET LE NOUVEAU-NÉ [Thèse]. Grenoble : Université Joseph Fourier ; 2013.

[34] Huiles essentielles Aromathérapie. Les huiles essentielles en parfumerie [En ligne]. 2011 [Consulté le 12 Déc 2016]. Disponible sur : <http://www.huiles-essentielles.pro/huile-essentielle-parfumerie.html>

[35] Duvillard E. Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie par : LES PARFUMS : UTILISATIONS THERAPEUTIQUES ET REFORMULATION [Thèse]. Lyon : Université Claude Bernard ; 2013.

[36] Agence Française de la Sécurité Sanitaire des Produits de Santé. Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles : Contribution pour l'évaluation de la sécurité des produits cosmétiques contenant des huiles essentielles [En ligne]. Mai 2008 ; Consulté le 12 Déc 2016. Disponible sur le site : <http://www.afssaps.sante.fr>

[37] évidence box. Les huiles essentielles dans les cosmétiques [En ligne]. [Consulté le 12 Déc 2016]. Disponible sur : <https://box-evidence.com>

[38] Books of Dante. Comment utiliser les huiles essentielles par voie cutanée ? [En ligne]. 2014 [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur : <https://booksofdante.wordpress.com>

[39] Couic-Marinier F, Lobstein A. Mode d'utilisation des huiles essentielles. Actualités pharmaceutiques. Avril 2013 ; 525 : [26].

[40] Muther L. UTILISATION DES HUILES ESSENTIELLES CHEZ L'ENFANT [thèse]. Auvergne: Université d'Auvergne, 2015.

[41] Agence Européenne de Produits Chimiques (ECHA). Focus sur les huiles essentielles FAQ REACH & CLP [En ligne]. France 1907 [mis à jour en 2008 ; consulté le 25 Déc 2016]. Disponible sur le site <http://reach-info.ineris.fr>

[42] loi n° 85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé

[43] Ministère de la santé et de la population. LA PHARMACIE Documentation juridique. El-Reghaia ; 1997.

[44] Degryse AC, Delpha I, Voinier MA. Risques et bénéfices possibles des huiles essentielles. Ecole des hautes études en santé publique. France ; 2008.

[45] ANSM. Décision DG n°: 2013-242 créations d'un comité français de la pharmacopée. France : 2013 [consulté le 25 Déc 2016]. Disponible sur : <http://www.ansm.sante.fr>

[46] Antimicrobien. [En ligne]. [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur le site : www.espritsante.com

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [47] Micro-organismes pathogènes [En ligne]. [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur le site : www.accesmad.org
- [48] Nauciel C, Vildé JL. Bactériologie médicale. Paris: Éditions Masson ; 2005.
- [49] Bactérie. Dictionnaire Sensagent[En ligne]. [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur le site : <http://www.leparisien.fr>
- [50] Goetz P, Ghedira K. Phytothérapie anti-infectieuse. Paris: Springer, 2012.
- [51] ANOFEL coordonné par Chabasse D, Danis M, Guiguen C, Richard-Lenoble D, Botterel F, Miégeville M. Parasitoses et mycoses des régions tempérées et tropicales. Paris: Masson, 2007.
- [52] Activité antifongique [En ligne]. [Consulté en Déc 2016]. Disponible sur le site : <http://www.infectiologie.com>
- [53] Teuscher E. Anton R. Lobstein A. Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles. Paris : Editions TEC & DOC. 2005.
- [54] Vanier P. La coriandre au fil du temps, Usages culinaires, Conservation, Jardinage biologique, Écologie et environnement [En ligne]. 2006 [consulté en Avril 2017]. Disponible sur : <http://www.passeportsante.net>
- [55] Quezel P, Santa S. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris : Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique. 1963.
- [56] Laribi B, Kouki K, M'Hamdi M, Bettaieb T. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. FITOTERAPIA. 2015
- [57] Ouis N. ETUDE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DES HUILES ESSENTIELLES DE CORIANDRE, DE FENOUIL ET DE PERSIL [thèse]. Oran : Université d'Oran 1. 2015
- [58] Monnatte Lassus S. Huile essentielle de coriandre. [En ligne]. 2014 [Consulté le 18 Fév 2017]. Disponible sur : <http://www.passeportsante.net>
- [59] Aouadhi S. Atlas des risques de la phytothérapie traditionnelle. Étude de 57 plantes recommandées par les herboristes [Mémoire]. Tunis : Faculté de médecine de Tunis. 2010
- [60] Feknous S. Saidi F. Mohamed Said R. Extraction, caractérisation et identification de quelques métabolites secondaires actifs de la mélisse (*Melissa officinalis* L.). Nature & Technology [En ligne]. Juin 2014 [consulté en Mai 2017]; n° 11: [07-13]. Disponible sur <http://www.univ-chlef.dz>
- [61] Pharmacopée européenne 2008 7^{ème} édition
- [62] Celikel N, Kavas G. Antimicrobial Properties of Some Essential Oils against Some Pathogenic Microorganisms. Czech J. Food Sci. 2008, 26: [174–181]
- [63] Silva F, Ferreira S, Duarte A, Mendoça DI, Domingues FC. Antifungal activity of *Coriandrum sativum* essential oil, its mode of action against *Candida* species and potential synergism with amphotericin B Phytomedicine. 2011. 19: [42– 47]

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[64] Via-les-herbes. BOTANIQUE, LES PLANTES PAR FAMILLES BOTANIQUES, Les plantes de la famille des Apiacées [En ligne]. 2017 [consulté en Juin 2017]. Disponible sur : <https://www.via-les-herbes.com>

[65] Norme ISO 3516. Huile essentielle de coriandre. 1980

[66] Boukhatem MN, Hamaidi MS, Saidi F, Hakim Y. Extraction, composition et propriétés physicochimiques de l'huile essentielle du Géranium Rosalt (*Pelargonium graveolens* L.) cultivé dans la plaine de Mitidja (Algérie). *Nature et technologie*. Juin 2010

[67] Taleb-Toudert K, Bellanteur K, Haddad N, Ouazzoug T, Kellouche A. EXTRACTION ET CARACTERISATION DE L'HUILE ESSENTIELLE DE *ALOYSIA TRIPHYLLA*. EVALUATION *IN VITRO* DE SON EFFET SUR LA CROISSANCE DE CERTAINS AGENTS PATHOGENES DE L'HOMME. Tizi-ouzou : UMMTO

[68] Zoubiri S. Baaliouamer A. Essential oil composition of *Coriandrum sativum* seed cultivated in Algeria as food grains protectant. *Food Chemistry* [En ligne]. Mars 2010 [consulté en Mai 2017]; 122 (2010): [1226-1228]. Disponible sur : <http://www.elsevier.com>

[69] El amri J, Elbadaoui K, Zair T, Bouharb H, Chakir S, Alaoui TL. Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Teucrium capitatum* L et l'extrait de *Silène vulgaris* sur différentes souches testées. *Journal of Applied Biosciences* [En ligne]. 2014 [consulté le 29/05/2017]; 82: [7481– 7492]. Disponible sur : www.m.elewa.org

[70] Mandal S, Mandal M. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil : Chemistry and biological activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* [En ligne]. 2015 [consulté Mai 2017]; [1-8]. Disponible sur : <http://www.elsevier.com>

[71] Alves S, Duarte A, Sousa S, Domingues FC. Study of the major essential oil compounds of *Coriandrum sativum* against *Acinetobacter baumannii* and the effect of linalool on adhesion, biofilms and quorum sensing. *Biofouling, The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research* [En ligne]. 2016 [consulté en Mai 2017]; 32(2): [155–165]. Disponible sur : <http://www.tandfonline.com>

[72] Boubrit S. Boussad N. Détermination « in vitro » du pouvoir antibactérien des huiles essentielles d'eucalyptus, myrte, clous de girofle et sarriette, et leur application à la conservation de la viande fraîche type hachée [Thèse]. Tizi Ouzou: Université Mouloud Mammeri; 2007

[73] Satrani B, Farah A, Fechtal M, Talbi M & Bouamrani ML. Composition chimique et activité antibactérienne et antifongique de l'huile essentielle d'*Ammi visnaga* (L.) Lam. du Maroc. *Acta Botanica Gallica* [En ligne]. 2004 [consulté le 29/05/2017]; 151(1): [65-71]. Disponible sur : <http://www.tandfonline.com>

[74] Taleb-Toudert K. Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérien). Evaluation de leurs effets sur la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). [Thèse]. Tizi Ouzou : UMMTO, 2015

ANNEXES

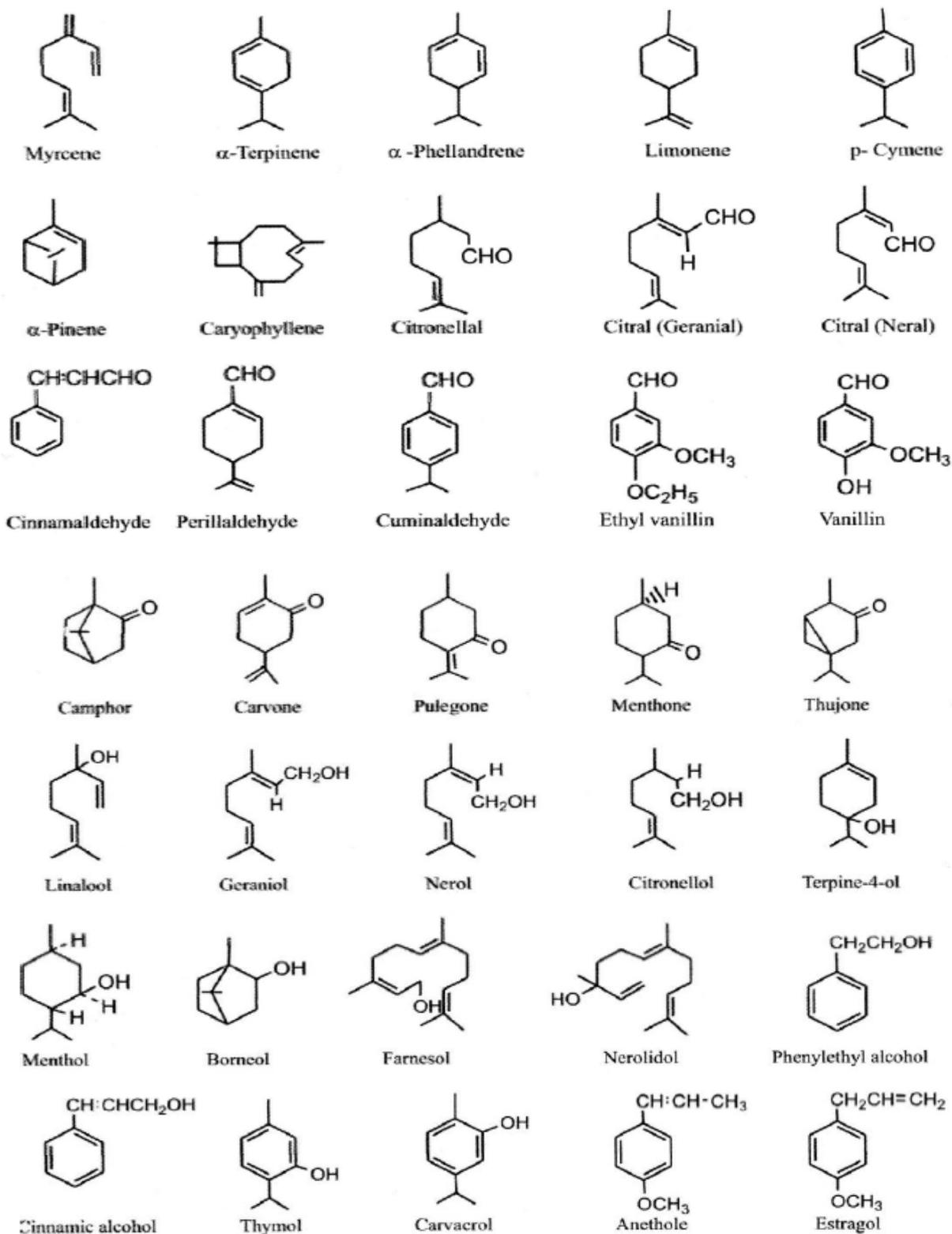
Annexe I : Liste de certaines plantes aromatiques par famille [53]

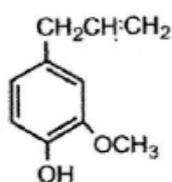
Famille botanique	Nom français	Nom latin
Anacardiaceés	Sumac	<i>Rhus coraria</i>
	Poivre rose du Brésil	<i>Schinus terebinthifolius</i>
	Poivre rose du Pérou	<i>Schinus molle</i>
Annonacées	Poivre de Guinée	<i>Xylopi aethiopica</i>
Apiacées	Ajowan	<i>Trachyspermum ammi</i>
	Aneth	<i>Anethum graveolens</i>
	Angélique	<i>Angelica archangelica</i>
	Anis	<i>Pimpinella anisum</i>
	Ase fétide	<i>Ferula assa-foetida</i>
	Carvi	<i>Carum carvi</i>
	Céleri	<i>Apium graveolens</i>
	Cerfeuil	<i>Anthriscus cerefolium</i>
	Cerfeuil musqué	<i>Myrrhis odorata</i>
	Coriandre	<i>Coriandrum sativum</i>
	Cumin	<i>Cuminum cyminum</i>
	Fenouil	<i>Foeniculum vulgare</i>
	Livèche	<i>Levisticum officinale</i>
	Persil	<i>Petroselinum crispum</i>
Astéracées	Armoise	<i>Artemisia vulgaris</i>
	Aurone	<i>Artemisia obrotanum</i>
	Estragon	<i>Artemisia dracuncululus</i>
	Tanaisie	<i>Tanacetum vulgare</i>
Bixacées	Rocou	<i>Bixa orellana</i>
Boraginacées	Bourrache	<i>Borago officinalis</i>
Brassicacées	Cresson alénois	<i>Lepidium sativum</i>
	Cresson de fontaine	<i>Nasturtium officinale</i>
	Moutarde blanche	<i>Sinapis alba</i>
	Moutarde brune	<i>Brassica juncea</i>
	Raifort	<i>Armoracia rusticana</i>
Caesalpiniciacées	Tamarin	<i>Tamarindus indica</i>
Cannabinacées	Houblon	<i>Humulus lupulus</i>
Capparidacées	Câpre	<i>Capparis spinosa</i>
Cupressacées	Genièvre	<i>Juniperus communis</i>
Fabacées	Fenugrec	<i>Trigonella foenum-graecum</i>
	Soja	<i>Glycine max</i>
Illiciacées	Badiane	<i>Illicium verum</i>
Iridacées	Safran	<i>Crocus sativum</i>
Lamiacées	Basilic	<i>Ocimum basilicum</i>
	Hysope	<i>Hyssopus officinalis</i>
	Marjolaine	<i>Origanum majorana</i>
	Mélicse	<i>Melissa officinalis</i>
	Menthes	<i>Mentha citrata</i>
	Menthe bergamote	<i>Mentha spicata</i>
	Menthe a feuilles rondes	<i>Mentha suaveolens</i>
	Menthe poivrée	<i>Mentha X piperita</i>
	Menthe pouliot	<i>Mentha pulegium</i>
	Monarde	<i>Monarda didyma</i>
	Origan	<i>Origanum vulgare</i>

ANNEXES

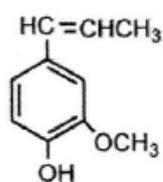
	Romarin	<i>Rosmarinus officinalis</i>
	Sarriette	<i>Satureja hortensis</i>
	Sauge	<i>Salvia officinalis</i>
	Thym	<i>Thymus vulgaris</i>
Lauracées	Cannelle de Ceylan	<i>Cinnamomum verum</i>
	Cannelle de Chine	<i>Cinnamomum aromaticum</i>
	Laurier	<i>Laurus nobilis</i>
	Sassafras	<i>Sassafras albidum</i>
Liliacées	Ail	<i>Allium sativum</i>
	Ail des ours	<i>Allium ursinum</i>
	Ciboule	<i>Allium fistulosum</i>
	Ciboulette	<i>Allium schoenoprasum</i>
	Echalote	<i>Allium cepa var. ascalonicum</i>
	Oignon	<i>Allium cepa var. cepa</i>
	Poireau	<i>Allium porrum var. porrum</i>
Myristicacées	Muscade	<i>Myristica fragrans</i>
Myrtacées	Girofle	<i>Syzygium aromaticum</i>
	Piment de la Jamaïque	<i>Piment dioica</i>
Oléacées	Olive	<i>Olea europea</i>
Orchidacées	Vanille	<i>Vanilla planifolia</i>
Pédaliacées	Sésame	<i>Sesamum orientale</i>
Pipéracées	Poivres	<i>Piper nigrum</i>
Poacées	Citronnelle	<i>Cymbopogan citratus</i>
Ranunculacées	Nigelle	<i>Nigella sativa</i>
Rosacées	Pimprenelle	<i>Sanguisorba minor</i>
Rubiacees	Aspérule	<i>Galium odoratum</i>
Rutacées	Agrumes	<i>Citrus sp.</i>
	Bigaradier	<i>Citrus aurantium</i>
	Cédrat	<i>Citrus medica</i>
	Citron	<i>Citrus limon</i>
	Poivre du sichuan	<i>Zanthoxylum piperitum</i>
	Rue	<i>Ruta graveolens</i>
Solanacées	Piment doux	<i>Capsicum annuum</i>
	Piment fort	<i>Capsicum frutescens</i>
Tropaéolacées	Capucine	<i>Tropaeolum majus</i>
Verbénacées	Verveine odorante	<i>Aloysia triphylla</i>
Zinzibéracées	Cardamome	<i>Elettaria cardamomum</i>
	Curcuma	<i>Curcuma domestica</i>
	Galanga	<i>Alpinia officinarum</i>
	Gingembre	<i>Zingiber officinale</i>
	Poivre maniguette	<i>Aframomum melegueta</i>

Annexe II : Structure chimique de quelques constituants des huiles essentielles [74]

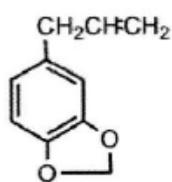




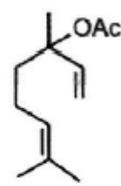
Eugenol



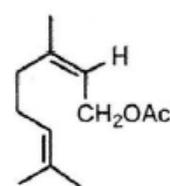
Isoeugenol



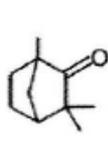
Safrol



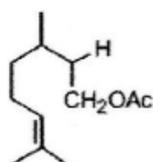
Linalyl acetate



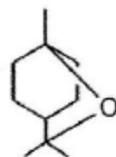
Neryl acetate



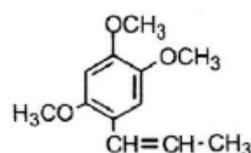
Fenchone



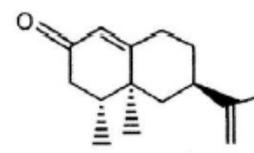
Citronellyl acetate



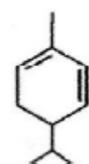
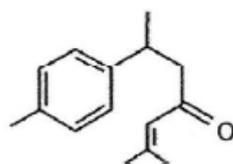
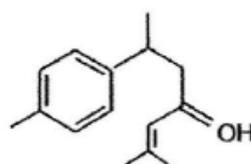
1,8 Cineole



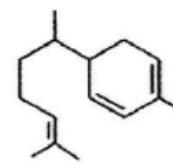
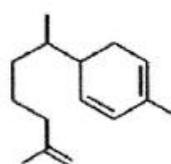
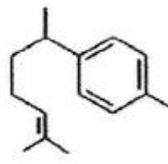
Asarone



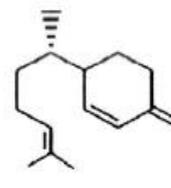
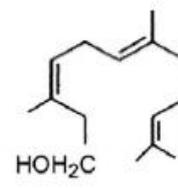
Nootkatone

 α -Phellandrene α -Turmerone

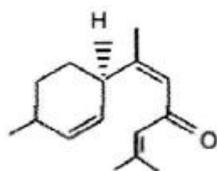
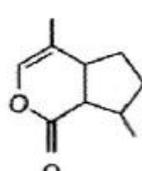
Turmerol

 α -Zingiberene β -Zingiberene

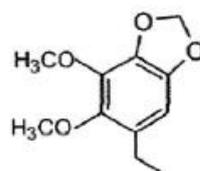
ar-d-Curcumene

 β -Sesquiphellandrene

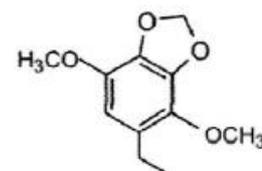
Farnesol

 α -Atlantone

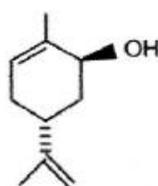
Nepetalactone



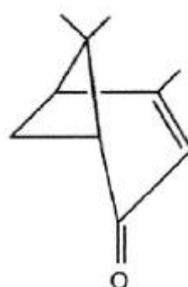
Dillapiole



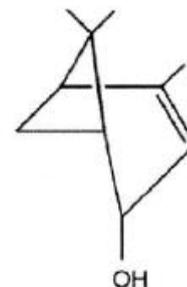
Apiol



Carveol

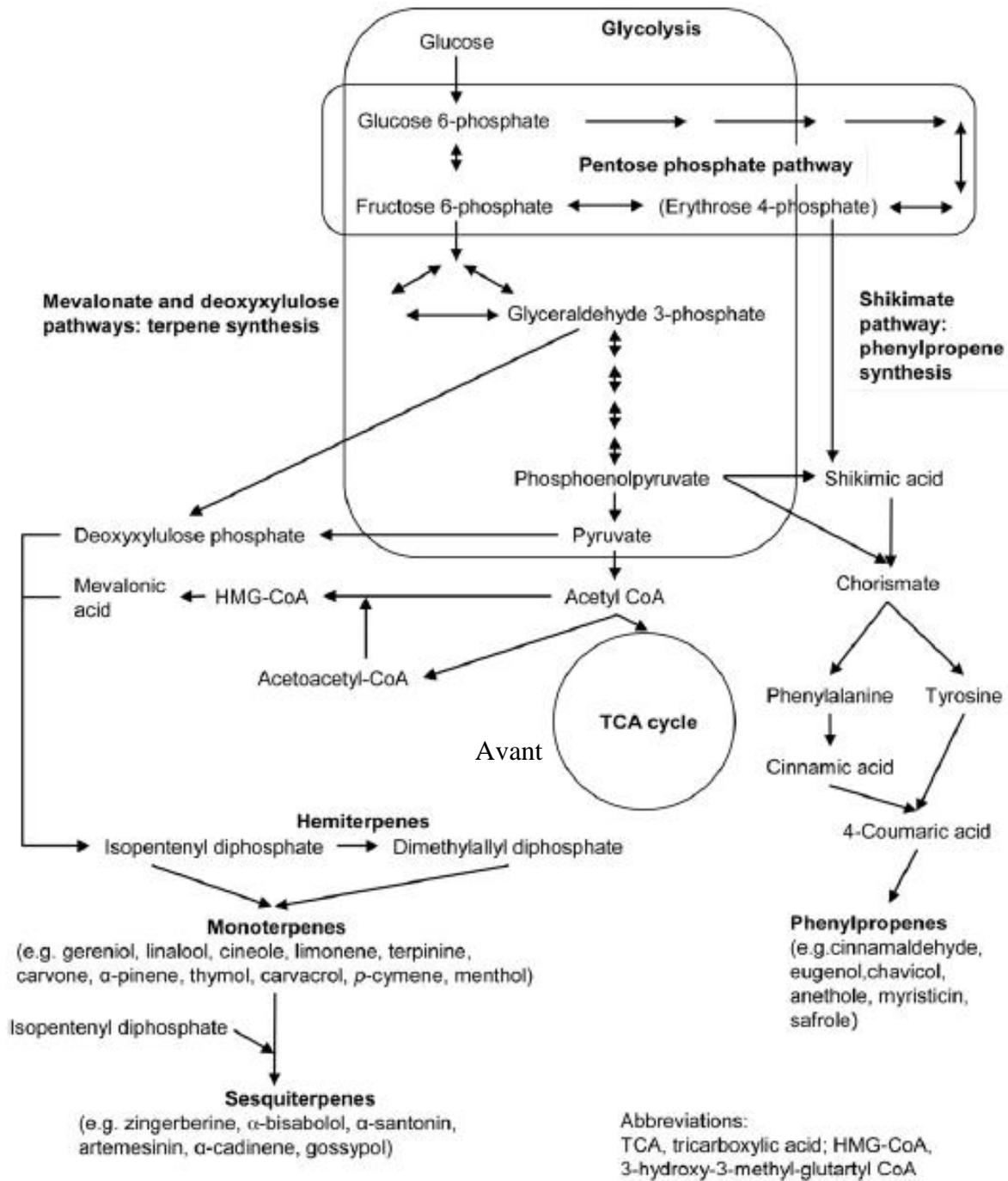


Verbenone



Verbenol

Annexe III : Les différentes voies de synthèse des huiles essentielles [17]



Annexe IV : Les principales huiles essentielles antibactériennes [12]

Espèce	Plante et type d'extrait et partie utilisée	Molécule(s) d'intérêt	Précaution
<i>Cinnamomum verum</i> J. Presl.	HE cannelle écorce	Cinnamaldéhyde, eugénol	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important)
<i>Cinnamomum verum</i> J. Presl	HE cannelle feuille	Eugénol, alcool cinnamique	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important). Attention <i>per os</i> , l'eugénol est un antiagrégant plaquettaire
<i>Eugenia caryophyllata</i> Thumb.	HE girofle clou, griffe et feuille	Eugénol	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important). Attention <i>per os</i> , l'eugénol est un antiagrégant plaquettaire
<i>Satureja montana</i> L.	HE sarriette des montagnes sommité fleurie	Carvacrol	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important)
<i>Satureja hortensis</i> L.	HE sarriette des jardins sommité fleurie	Carvacrol, thymol	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important)
<i>Origanum compactum</i> Benthham	HE origan compacte partie aérienne	Carvacrol, thymol	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important)
<i>Origanum vulgare</i> L.	HE origan d'Europe partie aérienne	Carvacrol, linalol, thymol	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important)
<i>Thymus vulgaris</i> L.	HE thym ct thymol sommité fleurie	Thymol, carvacrol	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important)
<i>Thymus vulgaris</i> L.	HE thym ct carvacrol sommité fleurie	Carvacrol, thymol	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important)
<i>Thymus capitatus</i> Hoffm & Link	HE origan d'Espagne	Carvacrol, linalol, bornéol	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important)
<i>Pimenta racemosa</i> (Miller) J.W. Moore	HE Bay Dominique feuille	Eugénol	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important)
<i>Melaleuca alternifolia</i> Cheel.	HE arbre à thé rameau fraîchement taillé	Terpinène-4-ol, globulol, viridoflorol	Aucune connue
<i>Thymus vulgaris</i> L.	HE thym ct thuyanol sommité fleurie	Thuyanol, linalol	Aucune connue
<i>Thymus vulgaris</i> L.	HE thym ct linalol sommité fleurie	Linalol	Aucune connue
<i>Thymus vulgaris</i> L.	HE thym ct géraniol sommité fleurie	Géraniol	Aucune connue
<i>Thymus satureioides</i> Cosson	HE thym satureioides sommité fleurie	Bornéol, linalol, octanol-3	Aucune connue
<i>Fokienia hodginsii</i> (Dunn) Henry et H.H.Thomas	HE Pei-mou, bois de Siam, bois du tronc	Fokiéniol + nérolidol trans	Aucune connue
<i>Ocimum gratissimum</i> L.	HE basilic tropical partie aérienne fleurie	Eugénol, thymol selon les origines	Caustique sur muqueuse et peau (choix galénique important)

Annexe V : Les principales huiles essentielles antifongiques [12]

Espèce	Plante et type d'extrait	Molécule(s) d'intérêt	Précaution
Toutes les HE	antibactériennes	Voir le tableau IX	Aucune connue
<i>Cuminum cyminum</i> L.	HE cumin semence	Cuminaldéhyde	Aucune connue
HE <i>Laurus nobilis</i> L.	HE laurier d'Appolon Rameau fraîchement taillé	1,8-cinéole, linalol, terpinène-4-ol, terpinéol α	Utiliser avec prudence chez l'enfant de moins de 7 ans. Interdit avant l'âge de 36 mois.
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC) Stapf et <i>Cymbopogon flexuosus</i> Stapf.	HE lemon-grass	Citral (géraniol + néral)	Aucune connue
<i>Eucalyptus citriodora</i> Hook.f.	HE eucalyptus citronné rameau fraîchement taillé	Citronellal, citronellol, géraniol, linalol	Aucune connue
<i>Coriandrum sativum</i> L.	HE coriandre semence	Linalol	Aucune connue
<i>Pelargonium graveolens</i> l'Herit. Ex Aiton	HE géranium partie aérienne	Quelle que soit l'origine – citronellol, géranol, linalol, terpinéol α	Aucune connue
<i>Mentha suaveolens</i>	HE menthe suave partie aérienne fleurie	Pipériténone oxyde	Éviter <i>per os</i>
<i>Melaleuca leucadendron</i> L.	HE cajeput rameaux fraîchement taillés	1,8-cinéole + terpinéol α . Il existe un chémotype à platyphylol, extrêmement actif.	Utiliser avec prudence chez l'enfant de moins de 7 ans. Interdit avant l'âge de 36 mois
<i>Melaleuca quinquenevia</i> (Cav.) ST Blake	HE niaouli rameaux fraîchement taillés	1,8-cinéole + terpinéol α	Utiliser avec prudence chez l'enfant de moins de 7 ans. Interdit avant l'âge de 36 mois
<i>Litsea cubeba</i> (Lour.) Persoon	HE litsée citronnée fruit	Citral, citronellol, linalol, citronellal	Aucune connue
<i>Commiphora myrrha</i> (Ness) Engler var. <i>molmol</i>	HE myrrhe amère	furanosesquiterpènes	Aucune connue
<i>Cymbopogon martini</i> Stapf. Var <i>motia</i>	HE palmarosa	Géraniol, linalol	Aucune connue
<i>Ocimum sanctum</i> L.	HE Tulsi partie aérienne fleurie	Eugénol, méthyl eugénol, méthyl chavicol	Aucune connue Pourrait néanmoins s'avérer caustique pour la peau et les muqueuses (choix galénique important)

Annexe VI : Résultats des antibiogrammes des souches bactériennes testées

Sachant que : S : le germe est sensible à l'antibiotique

I : le germe a une sensibilité intermédiaire à l'antibiotique

R : le germe est résistant à l'antibiotique

CHU DE TIZI-OUZOU LABO DE BACTERIOLOGIE					
Numéro d'identification = 4678i			Service = urgences de chirurgie		
Nom de famille = ██████████			Numéro de prélèvement = 4678i		
Prénom = ██████████			Date de prélèvement = 9-avr-2017		
Date de naissance =			Type de prélèvement = Pus		
Micro-organisme = Staphylococcus aureus ss. aureus					
Clindamycine	S	30 mm	Erythromycine	S	32 mm
Acide fusidique	I	22 mm	Gentamicine	S	20 mm
Penicilline G	R	16 mm	Pristinamycine	S	23 mm
Tétracycline	S	34 mm	Triméthoprime/Sulfaméthoxazole	S	32 mm
Vancomycine	S	19 mm	Oxacilline	S	31 mm
Céfoxitine	S	29 mm	Ciprofloxacine	S	32 mm
Teicoplanine	S	14 mm	Levofloxacine	S	31 mm

CHU DE TIZI-OUZOU LABO DE BACTERIOLOGIE					
Numéro d'identification = 4623			Service = urgences de médecine		
Nom de famille = ██████████			Numéro de prélèvement = 4623		
Prénom = ██████████			Date de prélèvement = 8-avr-2017		
Date de naissance =			Type de prélèvement = Urine		
Micro-organisme = Escherichia coli					
Amikacine	S	20 mm	Amoxicilline	R	6 mm
Amoxicilline/Acide clavulaniqu	R	8 mm	Ampicilline	R	6 mm
Céfazoline	R	13 mm	Céfotaxime	S	25 mm
Colistine	S	17 mm	Imipenem	S	20 mm
Ticarcilline	R	6 mm	Triméthoprime/Sulfaméthoxazole	S	27 mm
Aztréonam	I	20 mm	Ciprofloxacine	S	36 mm
Netilmicine	S	17 mm			
Bêta-lactamase	Négatif				

CHU DE TIZI-OUZOU LABO DE BACTERIOLOGIE					
Numéro d'identification = 5042i			Service = réanimation médicale		
Nom de famille = ██████████			Numéro de prélèvement = 5042i		
Prénom = ██████████			Date de prélèvement = 17-avr-2017		
Date de naissance =			Type de prélèvement = Bronchique		
Micro-organisme = Acinetobacter baumannii					
Ceftazidime	R	6 mm	Colistine	S	18 mm
Imipenem	R	6 mm	Piperacilline	R	6 mm
Ticarcilline	R	6 mm	Tobramycine	R	6 mm
Levofloxacine	R	10 mm	Aztréonam	R	6 mm
Ticarcilline/Acide clavulanicu	R	6 mm			

CHU DE TIZI-OUZOU LABO DE BACTERIOLOGIE					
Numéro d'identification = 5130i			Service = urgences de chirurgie		
Nom de famille = ██████████			Numéro de prélèvement = 5130i		
Prénom = ██████████			Date de prélèvement = 17-avr-2017		
Date de naissance =			Type de prélèvement = Pus		
Micro-organisme = Klebsiella pneumoniae ss. pneumoniae					
Amoxicilline/Acide clavulanicu	S	23 mm	Ampicilline	R	6 mm
Céfotaxime	I	25 mm	Chloramphenicol	S	22 mm
Colistine	S	18 mm	Gentamicine	S	23 mm
Ticarcilline	R	6 mm	Trimethoprime/Sulfamethoxazole	I	14 mm
Ciprofloxacine	S	32 mm	Ertapenem	S	27 mm

CHU DE TIZI-OUZOU LABO DE BACTERIOLOGIE					
Numéro d'identification = 4661e			Service = externes		
Nom de famille = ██████████			Numéro de prélèvement = 4661e		
Prénom = ██████████			Date de prélèvement = 9-avr-2017		
Date de naissance =			Type de prélèvement = Pus		
Micro-organisme = Pseudomonas aeruginosa					
Ceftazidime	S	30 mm	Colistine	S	20 mm
Piperacilline	S	27 mm	Ticarcilline	S	30 mm
Trimethoprime/Sulfamethoxazole	I	12 mm	Ciprofloxacine	S	34 mm
Levofloxacine	S	30 mm	Aztréonam	S	30 mm
Ticarcilline/Acide clavulanicu	I	23 mm			

Étude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle extraite des fruits de *Coriandrum sativum* L. »

Réalisée par : KACHETEL Lydia & SAHMI Antinéa

Encadrées par Docteur DAHMOUNE Amina, Maître Assistante Hospitalo-Universitaire en Botanique Médicale. Faculté de Médecine. UMMTO

❖ Résumé

Dans le cadre de la valorisation du potentiel médicinal des plantes algériennes et la tendance actuelle à recourir à des alternatives aux antimicrobiens de synthèse envers lesquels se développent constamment des résistances, l'intérêt a porté sur l'étude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle des fruits de *Coriandrum sativum* L. Pour cela, la coriandre a été étudiée sur le plan anatomico-botanique puis une caractérisation physicochimique de son huile essentielle extraite par hydrodistillation a été réalisée et enfin, son activité antimicrobienne vis-à-vis de souches bactériennes et fongiques a été évaluée. L'huile essentielle a été dans l'ensemble, conforme aux normes établies et elle s'est révélée active sur tous les germes testés mis à part le *Pseudomonas aruginosa*, souvent résistant.

Mots clés : Activité antimicrobienne, Aromathérapie, Huile essentielle, *Coriandrum sativum*, Fruits, Hydrodistillation.

❖ Abstract

In the context of the valorization of the medicinal potential of Algerian plants and the current tendency to resort to alternatives to synthetic antimicrobials towards which resistance is constantly developing, attention has been paid to the study of the antimicrobial activity of essential oil of the fruit of *Coriandrum sativum* L. For this purpose coriander was studied anatomico-botanically and then a physicochemical characterization of its essential oil, which was extracted by hydrodistillation, was performed and finally, its antimicrobial activity was evaluated against bacterial and fungal strains. The essential oil was overall in conformity with established standards and has been found to be active on all the germs tested except for the often resistant *Pseudomonas aruginosa*.

Keywords : Antimicrobial activity, Aromatherapy, Essential oil, *Coriandrum sativum*, Fruit, Hydro-distillation.