

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Seddik Benyahia- Jijel
جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département des sciences de l'environnement
et de sciences agronomiques



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم علوم المحيط والعلوم الفلاحية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master académique**

Domaine : SNV

Filière : **Sciences agronomiques**

Option : **Phytopharmacie appliquée**

THEME

Etude phytochimique et activité antibactérienne de *Schinus molle* L.

Jury:

Président: M^{me} Benterouche I.

Examineur : M^{me} Benabdelkader M.

Encadreur : M^{me} Roula M.

Présenté par :

M^{lle} Guerdouh Souad

Numéro d'ordre : /

1^{ère} Session 2020.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents (Achoura, Ali)

Mes sœurs (Horia, Malika, Nabila, Nihad, Ghania)

Mon frère (Abd-Hadi)

A tout ma famille (Guerdouh)

*A tous les professeurs qui ont fait mon niveau scientifique et
culturel*

En fin je remercie tous les amis et les personnes qui m'ont aidé

Souad

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, je remercie DIEU, le tout puissant, pour m'avoir donné le courage et la Patience d'achever ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à M^{me} Roula .M, qui m'a fait l'honneur d'avoir veillé et dirigé ce travail. Ses conseils pertinents, sa compétence scientifique et sa compréhension m'ont permis de mener à terme ce travail.

Je tiens particulièrement à remercier les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail et en être les examinateurs de cette thèse :

M^{me} Benabdelkadre.M., d'avoir accepté de juger ce travail et de me faire l'honneur de présider ce jury de mémoire. Veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect.

M^{me} Benterouche.I, d'avoir accepté de juger ce travail et de me faire l'honneur d'examiner ce mémoire.

Je remercie toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin ne serait –ce que par le simple signe d'encouragement.

Tableau 1. La structure de base des principaux flavonoïdes.....	8
Tableau 2. La classification des terpenoïdes.....	12
Tableau 3. Les bactéries utilisées.....	37
Tableau 4. Comparaison des teneurs en composés majoritaires des HEs de la littérature.....	44

Figure01. Structure des acides hydroxybenzoïques et hydroxycinnamiques.....	7
Figure02. Structure de l'enchaînement benzo- γ -pyrone.....	8
Figure03. Structure de quelques poly phénolique	9
Figure 04. La formule de constitution des catéchines et des leucoanthocyanidines.....	9
Figure 05. La structure de quelques exemples d'alcaloïdes	10
Figure06. Formule chimique de l'isoprène.....	11
Figure07. Arbre de <i>Schinus molle</i> L.....	13
Figure 08. Les différentes parties d'Arbre de <i>Schinus molle</i> L.....	14
Figure09. Montage d'extraction par hydrodistillation.....	31
Figure10. Protocole du dosage des composés polyphénoliques totaux.....	34
Figure 11. Protocole du dosage des flavonoïdes.....	35
Figure 12. Protocole du dosage des tanins condensés.....	36
Figure 13. Appareil de la chromatographie CPG/SM.....	37
Figure14. Aromatogramme.....	39
Figure 15. La détermination de la sensibilité ou de la résistance d'une bactérie	39

Liste des abréviations

%: Pourcent (pourcentage)

°C : Degré Celsius

μl : Microlitre

AcEt : Acétate d'éthyle

AFNOR : Association Française de Normalisation

C : carbone

C₅ H₈ : l'isoprène

Cm : Centimètre

CMI : Concentration minimale inhibitrice

CPG : Chromatographie en phase gazeuse

DMSO : Diméthylsulfoxyde

FeCl₃ : Chlorure de fer

G : Gramme

G N : gélose nutritive

H : Heure

H E : huile essentielle

HCl : Acide chlorhydrique

MeOH : Méthanol

Mg : magnésium

ml : Millilitre

mm : Millimètre

N° : Numéro

Na₂CO₃ : Carbonate de sodium

NaCl : chlorure sodium

NH₄OH : Ammoniaque

Nm : Nanomètre

PA : principe actif

S : *Schinus*

UV: Ultra-violet

Zn : Zinc

Remerciements	
Dédicace	
Liste des tableaux	i
Liste des figures	ii
Liste des abréviations	iii
Sommaire.....	iiii
Introduction.....	1
Chapitre I: Les plantes médicinales et leurs molécules bioactives	
I.1. Historique de l'utilisation des plantes médicinales.....	3
I.2. Définitions	4
I.3. Les métabolismes secondaires	5
I.3.1. La localisation des métabolites secondaires.....	5
I.3.2. Le rôle des métabolites secondaires.....	5
I.3.3. La classification des métabolites secondaires.....	6
I.3.3.1. Les composés phénoliques.....	6
I.3.3.1.1. Les principales classes des composés phénoliques.....	6
A. Les acides phénoliques.....	6
B. Les lignines.....	7
C. Les flavonoïdes.....	7
D. Les tanins.....	9
I.3.3.2. Les alcaloïdes.....	10
I.3.3.2.1. La classification des alcaloïdes.....	11
I.3.3.3. Les terpénoïdes.....	11

I.3.3.3.1. Classification des terpénoïdes.....	12
 Chapitre II : La plante étudiée <i>Schinus molle</i> L.	
I.1. Origine.....	13
II.2. Description botanique.....	13
II.3. Distribution et habitat.....	16
II.4. Classification taxonomique.....	16
II.5. Usages traditionnels.....	17
II.6. Propriétés médicinales et activités biologiques.....	17
II.7. Nature toxique de la plante.....	18
 Chapitre III : Les huiles essentielles et l'activité antibactérienne	
III.1. Les huiles essentielles.....	19
III.1.1. Définition	19
III.1.2. Répartition et Localisation.....	19
III.1.3. Caractéristiques physico-chimiques	19
III.1.4. Composition chimique	20
III.1.5. Rôle physiologique.....	21
III.1.6. Propriétés médicinales.....	21
A. Antivirale.....	21
B. Anti cicatrisantes.....	21
C. Anti-inflammatoires	22
III.1.7. La toxicité	22
III.1.8. Conservation	22
III.2. Activité Antibactérienne.....	22

III.2.1. Généralités.....	22
III.2.2.Définitions.....	23
III.2.3. Activité Antibactérienne	25
III.2.4. Mécanismes d'action antibactérienne	25
III.2.5. Mécanismes de résistance bactérienne aux antibiotiques.....	26
III.2.6.Les différentes méthodes de détermination de l'aromatogramme.....	26
III.2.7.La concentration minimale inhibitrice ou CMI.....	27
 Chapitre IV : Techniques analytiques	
IV.1. L'échantillonnage et préparation d'échantillon.....	28
IV.2. Les Méthodes analytiques.....	29
IV.2.1.Préparation des extraits.....	29
IV.2.1.1.Préparation des extraits aqueux.....	29
IV.2.1.2. Préparation des extraisméthanolique.....	29
IV.2.1.3. Méthodes d'extraction des huiles essentielles.....	29
IV.2.2. Analyse phytochimique.....	31
IV.2.2.1. Analyse qualitative (Screening phytochimique).....	31
IV.2.2.1.1.Les alcaloïdes.....	31
A. Test d'Iodoplatinate.....	32
B. Test de Dragendorff.....	32
C. Test de Mayer.....	32
IV.2.2.1. 2. Les tannins.....	32
A.Réaction avec l'aldéhyde formique.....	32
B.Réaction avec le fer.....	32
C.Réaction avec gélatine salée.....	33

IV.2.2.1.3. Les flavonoïdes.....	33
IV.2.2.1.4. Saponosides.....	33
IV.2.2.1.5. Stérols et triterpènes.....	33
IV.2.2.2. Analyses quantitatives.....	34
A. Dosages des composés polyphénoliques totaux (PPT).....	34
B. Dosage des flavonoïdes.....	35
C. Tanins condensés.....	36
IV.2.2.3. Analyse de la composition chimique de l'huile essentielle par CPG/SM.....	36
IV.3. Test de l'activité antibactérienne.....	37
IV.3.1. Présentation des souches bactériennes.....	37
IV.3.2. Milieux de culture.....	37
IV.3.3. Préparation d'inoculum.....	38
IV.3.4. Méthode de diffusion sur disque: Aromatogramme.....	38
 Chapitre V : Travaux antérieurs	
V.1. Les rendements d'extraction.....	41
V.2. Analyse phytochimique.....	42
V.3. Analyse de la composition chimique de l'huile essentielle par CPG/SM.....	42
V.4. Activité antibactérienne.....	46
Conclusion.....	48
Références bibliographiques.....	50

Synthèse bibliographique

Introduction

Les plantes, éléments vitaux de la diversité biologique servent essentiellement au bien être humain. Depuis les temps les plus anciens, les grandes civilisations ont eu recours aux plantes médicinales pour leurs propriétés thérapeutiques, cosmétiques, chimiques, diététiques, agro-alimentaires, industrielles et pharmaceutiques (**Mpondo et al., 2012 ;Laghouiter et al., 2015**).

Cette médication par les plantes, connaît un regain d'intérêt notable et c'est grâce aux études scientifiques basées sur les méthodes analytiques et les expérimentations nouvelles, que le monde médical découvre de plus en plus, le bien fondé des prescriptions empiriques des plantes médicinales (**Lahsissene et al., 2009**).

En effet ces plantes constituent des ressources inestimables pour l'industrie pharmaceutique, et beaucoup d'entre elles sont très connues pour leurs grandes potentialités métaboliques de substances dites secondaires. Ces composés sont synthétisés dans les différentes parties de la plante (racines, tige, feuilles...) et quelles que soient les parties et les formes sous lesquelles elles sont métabolisées, ces molécules bioactives sont extrêmement complexes du point de vue structure et composition (**Hogan et Kloter, 2002**).

Par ailleurs, les maladies infectieuses et parasitaires constituent un problème de santé publique à cause de leur fréquence et de leur gravité. La situation est plus préoccupante à cause de l'apparition des souches de micro-organismes antibio-résistantes et l'émergence des infections non communes qui compromettent les traitements à l'aide des médicaments existants (**Basli et al., 2012**).

Les antibiotiques ont constitué une découverte thérapeutique importante pour la santé humaine. Leur utilisation a permis de diminuer le taux de mortalité et de morbidité mondiale depuis longtemps mais la résistance aux antimicrobiens est l'un des plus grands défis de santé publique mondiale (**Goossens et al., 2005**).

Le développement de la résistance chez les agents pathogènes responsables a aggravé la situation, souvent avec des ressources très limitées pour enquêter et fournir des données de susceptibilité fiables sur lesquelles des traitements rationnels peuvent être fondés ainsi que les moyens d'optimiser l'utilisation des agents antimicrobiens. L'émergence de la multirésistance de bactéries pathogènes humaines ainsi que les effets secondaires indésirables de certains antibiotiques ont déclenché un immense intérêt dans la recherche de nouveaux médicaments antimicrobiens d'origine végétale (**Mezoua et al., 2014**).

Face à ce problème, beaucoup d'études ont été réalisées pour développer des molécules alternatives efficaces contre ces maladies infectieuses. Les plantes médicinales et aromatiques constituent une source importante de molécules bioactives qui pourraient être exploitées dans la thérapie des maladies infectieuses **(Bouyahya et al., 2017)**.

Plusieurs travaux ont mis en évidence les différentes activités biologiques des plantes aromatiques et médicinales, en particulier leurs pouvoirs antifongique, antibactérien, antioxydant et insecticide **(Hmiri et al., 2011)**

Les huiles essentielles (HEs), sont souvent utilisées dans la médecine populaire. Dans la nature, les HEs jouent un rôle important dans la protection des plantes. Elles contiennent une grande variété de métabolites secondaires capables d'inhiber ou de ralentir la croissance des bactéries. Les HEs et leurs constituants ont des mécanismes d'action variés et très ciblés, touchant en particulier la membrane cellulaire et le cytoplasme, et dans certains cas, changeant complètement la morphologie cellulaire, voire l'expression des gènes **(Bouyahya et al., 2017)**.

A l'heure actuelle le phénomène de résistance bactérienne est largement répandu et touche beaucoup d'espèces bactériennes. L'importance d'orienter les recherches vers la découverte de nouvelles voies constitue une source d'inspiration de nouveaux médicaments à base de plantes.

De nombreuses recherches à travers le monde se sont orientées vers la valorisation des substances naturelles donc de molécules bioactives douées d'activités biologiques afin d'établir des règles scientifiques pour leur usage. C'est dans ce contexte que nous sommes à notre travail a pour objectif principal d'évaluer : les propriétés antibactériennes des extraits de plante médicinale: *Schinus molle* L.

- Le premier est d'ordre phytochimique basé sur l'étude les molécules bioactives
- Le second est consacré a étudiée la plante médicinales : *Schinus molle* L.
- Dans le troisième volet, constituée de deux parties : le premier traitera les huiles essentielles et deuxième étudies les bactéries.
- le quatrième volet est consacré aux méthodes le plus utilisées : l'extraction, méthodes des dosages qualitative et quantitative et des teste antitibactérienne.
- Le dernier volet a été consacré à l'évaluation des activités antibactérienne huiles essentielles et étude phytochimique de la plante (*Schinus molle* L.) par traitée des travaux précédent.

Chapitre I:

Les plantes médicinales et leurs molécules bioactives

I.1. Historique de l'utilisation des plantes médicinales

L'utilisation des plantes, à des fins thérapeutiques, est rapportée dans les littératures antiques arabe, chinoise, égyptienne, hindou, grecque et romaine. En Afrique, le pouvoir thérapeutique des plantes était connu par nos ancêtres et nos parents de façon empirique (**N'guessan et al., 2009**). C'est ainsi que l'on retrouve les noms des premières drogues en écriture cunéiforme sur des documents Sumériens et Babyloniens (4.000 avant J. C.) recopiés sur des tablettes d'argile datant du 7^{ème} siècle avant JC (**Quetin, 2002**).

Dès 3000 avant J.C., la civilisation s'est épanouie en Egypte, au Moyen-Orient, en Inde et en Chine, et l'utilisation des plantes est devenue plus élaborée. Le premier recueil consacré aux plantes médicinales, le papyrus égyptien Ebers, qui remonte à 1500 av.J.-C., est le plus ancien exemple encore conservé. Il dresse l'inventaire d'une douzaine de plantes médicinales, avec leurs modes d'utilisation, incantations et sorts. En Inde, les Veda, des poèmes épiques rédigés eux aussi vers 1500 av.J.-C., contiennent des témoignages de la connaissance des plantes dès cette époque. (**Iserin, 2001**).

En 77 après JC, Dioscoride écrit le « De materia medica », un recueil de plus de 500 drogues. Cette œuvre ne décrit pas seulement l'usage de ces drogues, mais aussi les doses, les modes de préparation et de conservation. La traduction et la publication de cet ouvrage au 15^{ème} siècle est une étape importante dans la dissémination des connaissances sur les vertus des plantes. La liste des drogues décrites par Dioscoride est élargie par Celse et Pline l'Ancien, romains du 1^{er} siècle de notre ère, alors que Galien est considéré comme le père de la pharmacie galénique. (**Quetin, 2002**).

De son côté, l'épanouissement de la culture arabe (VII-XV siècles) a favorisé la préservation et le développement des acquis de la culture grecque puis romaine. Abu bakrArazi ou Rhazes (865-925), persan d'origine, fut l'un des grands médecins de son temps. Cet érudit, a laissé une cinquantaine d'ouvrages, dont une véritable encyclopédie en 23 volumes. Il fut suivi par Ibn Sina ou Avicenne (980-1037) qui écrivit une œuvre qui s'intitule Canon de la médecine. Puis Ibn-Albaytar (1197-1248) qui rédigea, en Orient, le très complet Somme des Simples (**Iserin, 2001 ; Chamek, 2017**).

L'industrie pharmaceutique moderne s'appuie encore largement sur la diversité des métabolites secondaires végétaux pour trouver de nouvelles molécules aux propriétés biologiques inédites. Cette source semble inépuisable puisque seule une petite partie des 400000 espèces végétales connues ont été investiguées sur les plans photochimiques et pharmacologique, et que chaque espèce peut contenir jusqu'à plusieurs milliers de constituants différents (**Hostettmann et al., 1998**).

I.2. Définitions

On trouve différentes définitions.

➤ Plante médicinale

Une plante médicinale est une plante utilisée pour ses propriétés thérapeutiques. Cela signifie qu'au moins une de ses parties (feuille, tige, racine, etc.) peut être employée dans le but de se soigner. Leur efficacité relève de leurs composés très nombreux et très variés, en fonction des espèces, qui sont autant de principes actifs différents (**Yvonne et Chadouli, 2012**).

➤ L'aromathérapie

Étymologiquement, le mot « aromathérapie » signifie le traitement des maladies (thérapie) par les arômes (essences ou huiles essentielles de plantes aromatiques). L'aromathérapie est l'une des techniques de médecine naturelle, alternative ou holistique. (**Yvonne et Chadouli, 2012**).

➤ Phytothérapie

Ce mot vient du grec phuton qui signifie « plante » et therapeia qui signifie « traitement ». C'est donc une technique de soins qui utilise les plantes pour venir à bout des causes et symptômes de diverses maladies. C'est l'une des plus anciennes thérapeutiques (**Gayet, 2013**).

➤ Les médicaments à base de plantes

Ce sont des médicaments dont les principes actifs (PA) sont exclusivement des drogues végétales et/ou des préparations à base de drogue(s) végétale(s). (**Vercauteren, 2011**).

➤ Les drogues végétales

Ce sont des parties de plantes fraîches ou desséchées, utilisées à des fins thérapeutiques. Elles sont parfois extraites de la plante entière mais le plus souvent on les extrait des parties de plantes (racines, écorces, sommités fleuries, feuilles, fleurs, fruits, graines...) entières ou fragmentées. Sont également des drogues végétales, les sucs retirés par incisions du végétal vivant (oléorésines, gommés, latex, etc.) n'ayant subi aucune opération galénique (**Vercauteren, 2011**).

➤ Les principes actifs

Les principes actifs ce sont des molécules contenus dans une drogue végétale ou dans une préparation à base de drogue végétale, utilisé pour la fabrication des médicaments; ils présentent une activité thérapeutique curative ou préventive pour l'Homme ou l'animale (**Pelt, 1980**).

I.3. Les métabolites secondaires

Les plantes ont une importance capitale pour la survie de l'homme et des différents écosystèmes (**Muanda, 2010**). Elles constituent le siège d'une intense activité métabolique aboutissant à la synthèse de divers principes actifs (**Khiredine, 2013**).

Les composés produits par les plantes ont été séparés deux groupes métabolites :

Les métabolites primaires sont des molécules organiques présentes dans toutes les cellules végétales et nécessaires à la vie de la plante. On peut donc citer les sucres simples, les acides aminés, les protéines, les acides nucléiques et les lipides (**Mohammedi, 2013**).

Les métabolites secondaires ont une répartition limitée, dans la plante elle-même comme parmi les différentes espèces de végétaux. Ils ont d'abord été considérés comme des produits de rebut ou déchets, mais on sait maintenant que les métabolites secondaires sont importants pour la survie et la propagation des plantes qui les produisent. Beaucoup d'eux fonctionnent comme signaux chimiques permettant à la plantes de répondre aux contraintes de l'environnement (**Nabors, 2009**).

D'autres molécules bioactives interviennent pour défendre leur producteur contre les herbivores, les pathogènes (organismes responsables de maladies) ou compétiteurs. Certains assurent une protection contre les radiations solaires et d'autres encore facilitent la dispersion du pollen et des graines (**Raven et al., 2007**).

I.3.1. La localisation de métabolites secondaires

Les métabolismes secondaires sont produits à différents endroits de la cellule et emmagasinés surtout dans les vacuoles. Ils sont souvent synthétisés dans une partie de la plante et stockés dans une autre (**Raven et al., 2007**). Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois) (**Boizot et Paul, 2006**).

I.3.2. Le rôle des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont synthétisés par les végétaux pour se défendre contre les agressions environnementales (**Nabors, 2009**). Ils sont aussi impliqués dans de nombreux processus physiologiques comme la croissance cellulaire, la rhizogenèse, la germination des graines ou la maturation des fruits (**Boizot et Paul, 2006**).

I.3.3. La classification des métabolites secondaires

On distingue trois classes principales : les substances phénoliques, alcaloïdes et les terpénoïdes.

I.3.3.1. Les composés phénoliques

Classiquement considérés comme des métabolites secondaires, les composés phénoliques sont présents chez tous les végétaux supérieurs. Ils correspondent à une très large gamme de structures chimiques et sont caractérisés par une répartition qualitative et quantitative très inégale selon les espèces considérées mais aussi les organes, les tissus et les stades physiologiques (Macheix, 2013).

Les composés phénoliques sont caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec un glucide (Boizot et Paul, 2006).

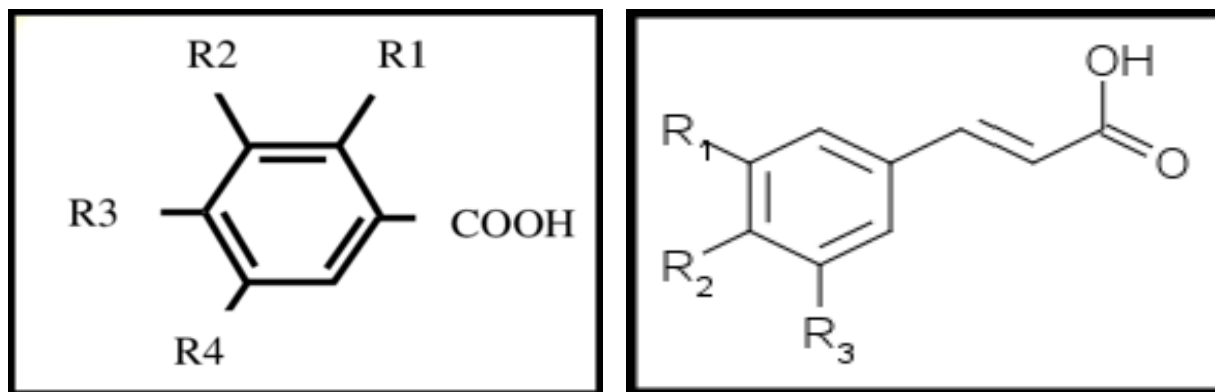
Produits principalement à partir des acides aminés phénylalanines et tyrosine, ils sont un groupe de nombreux composés carbonés cycliques dont la structure ne contient pas d'azote. Il s'agit des dérivés non azotés connus par une grande variété structurale dont environ 8000 composés ont été identifiés (Nabors, 2009).

I.3.3.1.1. Les principales classes des composés phénoliques

A. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques font partie des formes les plus simples des composés phénoliques et se séparent en deux grands groupes distincts que sont les acides hydroxybenzoïques (C₆-C₁) et les acides hydroxycinnamiques (C₆-C₃) :

- les acides hydroxybenzoïques, dont les plus répandus sont l'acide cinnamique, l'acide salicylique, l'acide gallique et l'acide vanillique (figure1), base de médicaments connus.
- les acides hydroxycinnamiques, dont les plus abondants sont l'acide p-coumarique, l'acide caféique et l'acide férulique (Macheix et al., 2005).



Acides hydroxybenzoïques

Acides hydroxycinnamiques

R1=R4=H, R2=OCH₃, R3=OH Acide vanillique

R1=R3=H, R2=OH Acide p-coumarique

R1= H, R2=R3=R4 =OH Acide gallique

R1= R2=OH, R3 =H Acide caféique

R1=OCH₃, R2=OH, R3=H Acide férulique

R1=OCH₃, R2=OH, R3=H Acide férulique

Figure 01. Structure des acides hydroxybenzoïques et hydroxycinnamiques (**Macheix et al., 2005**).

B. Les lignines

Contrairement aux autres composés phénoliques, les lignines se déposent dans la paroi cellulaire et non dans la vacuole. Après la cellulose, les lignines représentent le composé organique le plus abondant sur terre : ce sont des polymères formés de trois types de monomères le p-coumaryles, le coniféryle et les alcools sinapiques. La lignine est surtout importante pour la résistance à la compression et la rigidité qu'elle confère à la paroi cellulaire. On estime que la lignification, qui est un processus de dépôt de lignine, a joué un rôle primordial au cours de l'évolution des plantes terrestres (**Raven et al., 2007**).

C. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent un groupe de plus de 6000 composés naturels qui sont quasiment universels chez les plantes vasculaires. Ils constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange et rouge de différents organes végétaux. Les flavonoïdes sont rencontrés dans les fruits et les légumes. Des boissons telles que le vin rouge, le thé, le café et la bière en contiennent également des quantités importantes. Les flavonoïdes sont retrouvés également dans plusieurs plantes médicinales. Des remèdes à base de plantes renfermant des flavonoïdes ont été utilisés en médecine traditionnelle à travers le monde. Tous les flavonoïdes dérivent de l'enchaînement benzo- γ -pyrone et peuvent être classés selon la nature des différents substituants

présents sur les cycles de la molécule et du degré de saturation du squelette benzo- γ -pyrone (Ghedira, 2005).

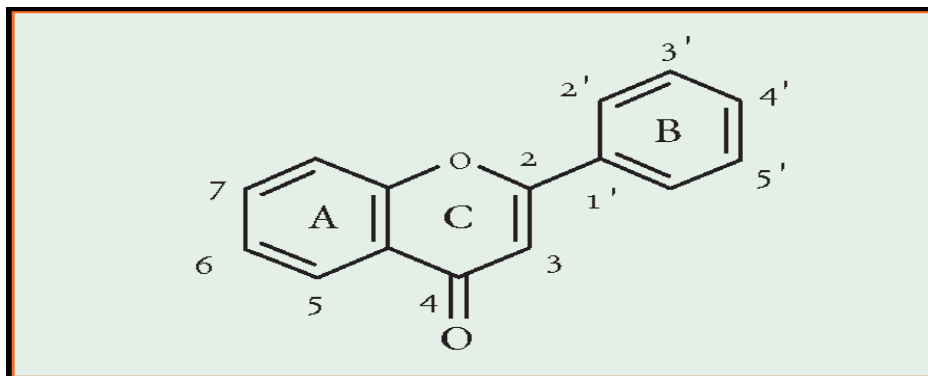
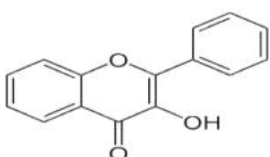
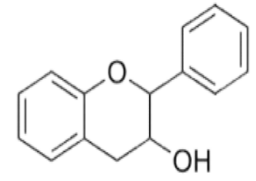
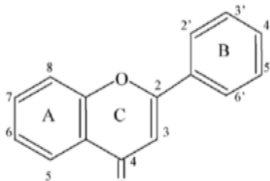
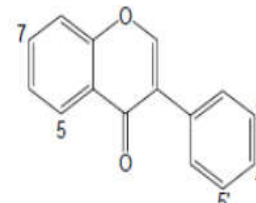
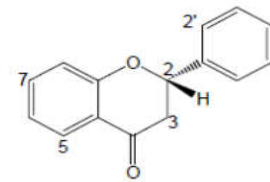


Figure 02. Structure de l'enchaînement benzo- γ -pyrone (Ghedira, 2005).

Les flavonoïdes se répartissent en plusieurs classes de molécules, dont les plus importantes sont les flavones, les flavonols, les flavanones, les dihydroflavonols, les isoflavones, les isoflavanones, les chalcones, les aurones et les anthocyanes. Ces diverses structures se rencontrent à la fois sous forme libre (aglycone) ou sous forme de glycosides. On les trouve, d'une manière très générale, dans toutes les plantes vasculaires, où ils peuvent être localisés dans divers organes à savoir les racines, tiges, bois, feuilles, fleurs et les fruits (Merghaem, 2009).

Tableau 01. La structure de base des principaux flavonoïdes (Mohammedi, 2013).

Classes flavonoïdes	Exemples	Classes flavonoïdes	Exemples
Flavonols 	Myricétine, Rutine, Quercétine	Anthocyanidines 	Pelargonidine, Cyanidine
Flavones 	Luteoline, Apigénine, Chrysin	Isoflavones 	Genisteine, Daidzeine, Matnidine
Flavanones 	Narinagénine, Hesperidine, Eriodictyol		

D. Les tanins

Les tanins végétaux sont des composés phénoliques solubles dans l'eau et ayant des poids moléculaires compris entre 500 et 3000. Ils sont aptes à la préparation du cuir et donnent les réactions classiques des phénols. En outre, ils ont certaines propriétés spéciales telles que l'aptitude à la précipitation des alcaloïdes, de la gélatine et des autres protéines (Sereme *et al.*, 2008).

Les tanins peuvent se diviser en deux classes :

➤ Les pyrogalliques (ou hydrolysables)

Les tanins pyrogalliques donnent après hydrolyse à chaud à l'acide des solutions acides étendues, une fraction glucidique (glucose) et une fraction polyphénolique (acide gallique, acide digallique ou ellagique). L'hydrolyse peut aussi être réalisée par une diastase sécrétée par *Aspergillus Niger* (Tanase) **Figure3 (Doat, 1978)**.

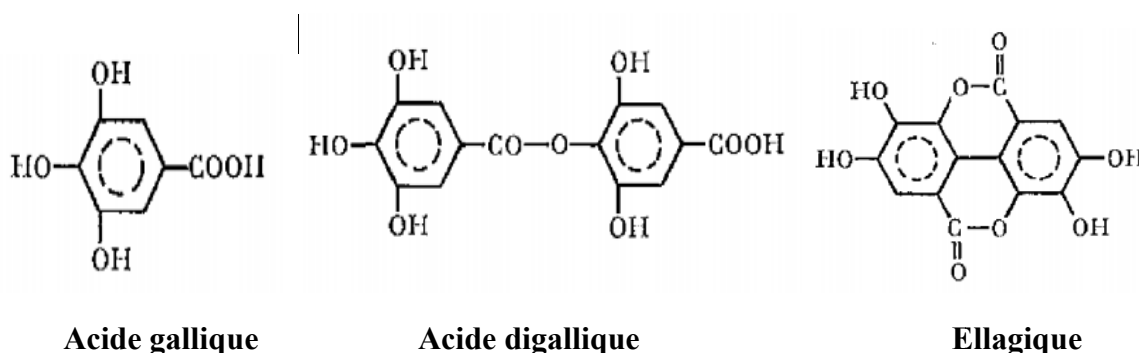


Figure 03. Structure de quelques poly phénolique (acide gallique, acide digallique ou ellagique).

➤ Les tanins catéchiques (condensés)

Les tanins catéchiques ont une constitution moins bien connue car ces produits sont très complexes. L'action des acides dilués, au lieu de conduire à des produits plus simple, donne au contraire des composés encore plus condensés. Freudenrerg a démontré que ces tanins seraient des polymères des flavanol 3 (catéchines) et des flavanediols 3.4 (leucoanthocyanidines). La formule de constitution des catéchines et des leucoanthocyanidines est représentée dans la figure 4 (Doat, 1978).



Figure 04. La formule de constitution des catéchines et des leucoanthocyanidines (Doat, 1978).

I.3.3.2. Les alcaloïdes

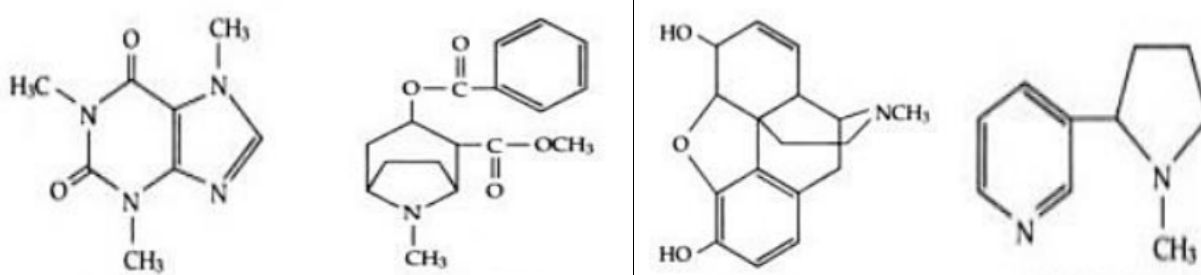
Les alcaloïdes sont des substances azotées, basiques, d'origine naturelle ; leur atome d'azote est inclus dans un système hétérocyclique (**Bruneton, 2009**).

Ils se rencontrent chez 20% des plantes à fleurs, mais leur répartition est irrégulière. Ils peuvent protéger les plantes de la consommation par les animaux. On connaît aujourd'hui 3000 alcaloïdes repartis dans 4000 espèces. La synthèse de ces alcaloïdes s'effectue au niveau de sites précis tels que les racines en croissance ou les chloroplastes (**Guignard, 2000**).

Les alcaloïdes représentent le groupe de substances naturelles d'intérêt thérapeutique le plus important, en terme de nombre, de diversité structurale et de leurs activités pharmacologiques. Ils sont au cœur des phénomènes d'adaptation et de défense face aux pressions biotiques (herbivore, microorganisme). Ils ont été particulièrement étudiés, du fait des intérêts thérapeutiques et économiques qui y sont associés. On retrouve des molécules exploitées par l'industrie pharmaceutique comme la quinine, des stupéfiants (la morphine, la cocaïne), des anticancéreux (la colchicine, la vincristine, la camptothécine, le taxol,...), des molécules utilisées comme poisons (la strychnine..) ou des stimulants (la caféine..) ou encore comme antibiotiques du type pénicilline (**Tidjani, 2016**).

Les alcaloïdes sont des composés alcalins, parmi lesquels on trouve la morphine, la caféine, l'héroïne, la nicotine, la vinblastine, l'éphédrine et la cocaïne (**Nabors, 2009**).

La structure de quelques exemples d'alcaloïdes est représentée dans la **figure 5**



La caféine

La morphine

La nicotine

La cocaïne

Figure 05. La structure de quelques exemples d'alcaloïdes (**Raven et al., 2007**).

I.3.3.2.1. La classification des alcaloïdes

➤ Les alcaloïdes vrais

Les alcaloïdes « vrais » qui possèdent un azote intracycle, sont des substances d'origine naturelle et de distribution restreinte, de structure souvent complexe et de caractère basique. Ils existent dans la plante sous forme de sels, ont pour origine biosynthétique un acide aminé et sont dotées d'une activité pharmacologique significative (Glenn *et al.*, 2013 ; Croteau *et al.*, 2000).

➤ Les proto-alcaloïdes

Les proto-alcaloïdes sont des amines simples dont l'azote n'est pas inclus dans un hétérocycle, ils ont un caractère basique et sont élaborés *in vivo* à partir d'acide aminé. Ils sont souvent appelés « amines biologiques » et sont soluble dans l'eau (Berkal et Bouchama, 2016).

➤ Les pseudo-alcaloïdes

Les pseudoalcaloïdes qui sont des métabolites présentant les caractéristiques des alcaloïdes vrais, excepté leur origine biosynthétique. Dans la majorité des cas connus, ce sont des dérivés d'isoprénoïdes et du métabolisme de l'acétate (dérivés xanthiques, terpéniques, stéroïdiens, pipéridiniques) (Glenn *et al.*, 2013 ; Croteau *et al.*, 2000).

I.3.3.3. Les terpénoïdes

Les terpénoïdes, appelés aussi terpènes, existent chez toutes les plantes et représentent de loin la plus vaste catégorie de métabolites secondaires, avec plus 22.000 composés décrits. Ils jouent de multiple rôle chez les plantes. Certains sont des pigments photosynthétiques (les caroténoïdes) ou des hormones (gibbérellines, l'acide abscissique) tandis que d'autres sont utilisées en tant que composants structuraux des membranes (stérols) (Raven *et al.*, 2007).

Les terpènes constituent une famille de composés largement répandus dans le règne végétal. Leur particularité structurale la plus importante est la présence dans leur squelette d'une unité isoprénique à 5 atomes de carbone (C₅H₈) reconnue par Wallach dès 1887 (Figure 6) (Lamarti *et al.*, 1994).

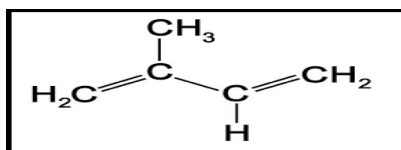


Figure 06. Formule chimique de l'isoprène (Raven *et al.*, 2007).

I.3.3.3.1. Classification des terpénoïdes

Ils sont distingués dans des différentes classes selon le nombre d'unités isopréniques qu'ils contiennent. L'unité de numération est basée sur le premier terpénoïde isolé en 1850 qui était un C₁₀. Selon le nombre d'unités isoprénique qui constitue les terpènes on distingue (**Brahmi, 2017**) :

- Monoterpènes : association de deux isoprènes (10 C).
- Sesquiterpènes : association de trois unités isoprénique (15 C).
- Diterpènes : association de deux monoterpènes ou quatre isoprènes (20 C).
- Triterpènes, tetraterpènes, pentaterpènes et polyterpènes.

Tableau 02. La classification des terpenoïdes (**Brahmi, 2017**).

Nom	N° unité 5 x C	Exemple de molécule
Hémiterpènes	1	Isoprène
Monoterpènes	2	Aromes volatiles, parfums
Sesquiterpènes	3	Phytoalexines
Diterpènes	4	Phytol, giberellines, phytoalexines
Triterpènes	6	Brassinostéroïdes, stérols de membranes, certaines toxines
Tétraterpènes	8	Caroténoïdes
Polyterpènes	>8	Plastoquinones, ubiquinones, polymère (latex)

Chapitre II:

**La plante étudiée *Schinus*
molle L**

II.1. Origine

Schinus molle L est une espèce végétale qui appartient à la famille des Anacardiaceae (sous-famille des Anacardioidées), originaire d'Amérique du Sud (**Olafsson et al, 1997**).

Son centre de diversité se trouve dans les Andes. Au Pérou, il pousse depuis le niveau de la mer et jusqu'à 3500 m, dans des terrains secs et sableux. Il se plaît principalement dans les parties basses des vallées, formant partie du maquis. On l'observe également sur les berges des rivières de la côte et de la sierra. Introduit un peu partout dans le monde, il habite dans les régions tropicales ou chaudes. Il est considéré comme invasif dans certains pays, notamment aux Etats-Unis (Californie, Hawaï), en Afrique du Sud et en Australie. Sur la côte méditerranéenne, et entre autres dans le sud de la France, il est planté en tant qu'ornemental pour son élégant feuillage (**Walter et al., 2016**).

II.2. Description botanique

Le *Schinus molle* est un arbre ou arbuste qui pousse généralement jusqu'à 6 m de haut, mais il peut atteindre plus de 20 m. Il appartient à la famille botanique des Anacardiaceae, le *S. molle* est un résineux. On le reconnaît sans peine à sa silhouette élégante et ses rameaux longuement pendants.



Figure 07. Arbre de *Schinus molle* (Université de Jijel, 2020).

- ❖ **Les Feuilles** : Ses feuilles persistantes composées de nombreux folioles, sont étroitement lancéolées, distantes, d'odeur poivrée au froissement.
- ❖ **Les fleurs** : sont petites, d'un blanc jaunâtre, et disposées en grosses grappes.

- ❖ **Les fruits** : rouges, globuleux et presque secs, ayant la taille et la saveur d'un grain de poivre, sont des drupes. Le *S. molle* fleurit pratiquement toute l'année. Il s'agit d'une espèce dioïque, chaque individu portant uniquement des fleurs masculines ou uniquement des fleurs féminines. La pulpe est mince et coriace il a un goût sucré et contient huiles aromatiques. Il y a une ou deux graines par fruit (**Walter et al., 2016**).

- ❖ **Les grains**: Les graines sont mûres lorsque les fruits sont devenus rouges, 2 à 4 mm de diamètre, ronde, brun-noir, sillonnée une fois sèche. Il y a 30 000 à 40 000 graines par kg ; les fruits sont récoltés directement sur l'arbre (**Jøker et al., 2002**).



Figure 08. Les différentes parties d'Arbre de *Schinus molle* L. **A** : les feuilles ; **B** : les fleurs ; **C** : les fruits (**Université de Jijel, 2020**) ; **D** : les grains (**Kasimala, 2012**).

- ❖ **Feuillaison** : espèce à feuillage persistant, à renouvellement constant des éléments foliaires. Le jaunissement de feuilles est noté de juin à mi-septembre en moyenne pendant quinze semaines, une petite saison de repousse plus active s'étend de fin septembre à octobre. Le feuillage complet est observé entre mi-novembre et mai en moyenne pendant vingt huit semaines (**Chopin et al., 1964**).

- ❖ **Période de floraison** : La floraison se produit en septembre à décembre. La maturité des fruits aura lieu en décembre-janvier dans les régions de répartition naturelle. En Afrique de l'Est la cueillette des fruits se fait en Mars (**Ouherre et Abidat, 2018**).

- ❖ **Semis et germination** : Les graines sont semées en pépinière ou directement dans des conteneurs avec deux graines par contenant. Il est recommandé d'utiliser un substrat léger et perméable. La germination commence après environ deux semaines et est normalement terminée après quatre semaines. La germination est rapportée à 60-80% mais dans certains endroits, en particulier où l'espèce est cultivée en dehors de la zone de distribution, une faible germination en pépinière est un problème. Dans des circonstances normales 1 kg de semences donneront 17 000 plants. Quand les semis mesurent entre 30 et 35 cm, ils sont prêts à être plantés dans le champ (**Jøker et al., 2002**).

- ❖ **Nomenclature** :
 - ✓ **Nom latin** : *Schinus molle*
 - ✓ **Nom français** : faux poivrier, mollé des jardins, arbre à résine de Pérou
 - ✓ **Américain** : quundo berbere
 - ✓ **Arabe** : felfelkazib, filfilrafie
 - ✓ **Anglais** : poivrier, poivre de Californie, poivron chilien, arbre à mastic, molle, poivre baies, poivre pleureur, mastic péruvien, poivre rose, poivron péruvien (**Ibrahim et Al -Naser, 2014**).

II.3. Distribution et habitat

L'aire de répartition naturelle est la cordillère des Andes région, principalement le Pérou. On le trouve à des altitudes supérieures à 3900 m d'altitude, dans les zones de 300 à 700 mm pluie / an. Il tolère des températures élevées et une fois établie, il devient extrêmement résistant à la sécheresse. Il résiste aussi au gel mais pas pour de longues périodes. C'est une espèce à croissance rapide qui se trouve généralement le long des routes et sur les terres agricoles. Il pousse bien sur les sites caillouteux et les pentes. Préfère les sols sablonneux et bien drainés mais tolère la plupart des types de sols et salinité et alcalinité. Présentation de Central en Amérique du Nord, en Europe et en Afrique et certains endroits (**Kasimala, 2012**).

Schinus molle est une plante qui s'adapte à tous les climats, mais elle se plaît généralement sur le littoral méditerranéen (**Hassaine, 2017**).

En Algérie, *S. molle* est utilisé comme arbre de verdissement urbain dans tout le pays (**Rouibi et al., 2010**).

II.4. Classification taxonomique

La classification botanique de *Schinus molle* d'après (**Dupont et Guignard, 2007**)

Règne : *Végétal*

Embranchement : *Spermaphytes*

Sous-embranchement : *Angiospermes*

Classe : *Eudicots*

Sous-classe : *Eurosidées II*

Ordre : *Sapindales*

Famille : *Anacardiacees*

Genre : *Schinus*

Espèce : *Schinus molle* L.

II.5. Usages traditionnels

S. molle est traditionnellement utilisé en Éthiopie pour «repousser» Mouches domestiques, *Musca domestica* L. Il a été considéré comme utile pour une telle ethnobotanique utilise comme purgatif, diurétique, parasiticide (Abdel-Sattar et al., 2010).

L'un des emplois les plus importants des fruits est la fabrication de la chicha de molle, une boisson fermentée. On la consomme traditionnellement dans des contextes festifs et rituels, tels que les semailles et les récoltes, ou encore les fêtes religieuses (Walter et al., 2016).

Les fruits et les graines sont utilisés comme substitut du poivre. La résine est utilisée comme mastic, le latex est produit à partir de nombreuses parties de l'arbre. Le bois est utilisé pour le chauffage et le charbon. Il est planté pour la conservation et l'amélioration du sol, brise-vent, ombre et ornement (Jøker et al., 2002).

En Algérie *S. molle* est largement utilisée comme plante ornementale, tandis que ces fruits servent de conservateur anti insecticides pour les semoules et en condiment alimentaire de façon traditionnelle et ce depuis longtemps.

II.6. Propriétés médicinales et activités biologiques

S. molle a une multitude d'usages thérapeutiques, ce qui lui a valu depuis les temps anciens son utilité en médecine populaire comme analgésique, antifongique, anti tumoral, antispasmodique, diurétique, antiseptique topique et pour traiter l'hypertension, les plaies, les infections bactériennes et l'asthme. Les études pharmacologiques ont montré plusieurs propriétés telles que sédatif, anti-inflammatoire, activité antimicrobienne contre *Staphylococcus aureus* et *Streptococcus pyogènes*, propriétés répulsives et insecticides. Des activités biologiques ont également été décrites pour l'huile volatile, comme les antibactériens, les antifongiques, cytotoxique. De plus le l'huile volatile est utilisée comme adjuvant dans diverses applications alimentaires produits en raison de ses propriétés antimicrobiennes et antioxydantes ou comme antiparasitaire chez les bovins et l'apiculture (Machado et al., 2018).

De nombreux travaux scientifiques ont montré que cet arbre possède de nombreuses propriétés phyto-chimiques, dont plus de 50 composants actifs, communs à la plupart des Anacardiaceae. Dans le commerce, son huile essentielle est réputée (Walter et al., 2016).

II.7. Nature toxique de la plante

Les cordes pendantes des petites baies roses et les grains de cet arbre ornemental attrayant sont réputés pour être modérément toxique. Le pollen, au contact ou en inhalation, peut provoquer une dermatite et des réactions asthmatiques (**Kasimala, 2012**).

Chapitre III:

Les huiles essentielles et l'activité antibactérienne

III.1. Les huiles essentielles

III.1.1. Définition

Selon sa profession, chacun répondra à la question d'une manière différente. Une huile essentielle peut être un ensemble de molécules pour un chimiste. Un arôme pour un parfumeur ou encore la quintessence ou l'esprit d'un végétal pour un chimiste. Dans la réalité, une huile essentielle est l'ensemble de tout cela, car il s'agit d'un produit parfumé et volatil, composé de molécules sécrétées par certains arbres et certaines plantes qui lui confèrent un parfum spécifique. Le terme « volatil » s'explique par le fait que les huiles essentielles s'évaporent très rapidement. C'est pourquoi il est nécessaire de les conserver correctement afin qu'elles gardent intacts leurs principes actifs **(Buronzo, 2008)**.

Les huiles essentielles contenues telles quelles dans les plantes sont des composés oxygénés, parfois d'origine terpénoïde et possédant un noyau aromatique. Les huiles essentielles extraites des plantes par distillation comptent parmi les plus importants principes actifs des plantes. Elles ont de multiples propriétés et sont largement employées en parfumerie **(Iserin, 2001)**.

III.1.2. Répartition et Localisation

Dans le règne végétal, les huiles essentielles se retrouvent généralement chez les végétaux supérieurs. Les genres capables d'élaborer les constituants qui les composent sont répartis dans une cinquantaine de familles dont beaucoup appartiennent aux ordres des lamiales, des astérales, des rutales, des laurales et des magnoliales. Les huiles essentielles sont produites dans le protoplasme cellulaire des plantes aromatiques et représentent les produits du métabolisme cellulaire dit "secondaire". La synthèse et l'accumulation de ces métabolites dans un organe sont associées à la présence de structures histologiques spécialisées qui selon l'espèce botanique peuvent être des cellules sécrétrices, des poches sécrétrices, des poils sécréteurs ou des canaux sécréteurs **(Samate, 2002)**.

Les huiles essentielles peuvent être stockées dans tous les organes de la plante, par exemples: dans les sommités fleuries (menthe, lavande), les feuilles (eucalyptus, laurier), les rhizomes (gingembre), les fruits (agrumes, badiane, anis), les racines (vétiver), les graines (muscades), bien que cela soit moins habituel dans des écorces (cannelier) **(Bouderhem, 2014)**.

III.1.3. Caractéristiques physico-chimiques

En ce qui concerne les propriétés physico-chimiques, les huiles essentielles forment un groupe très homogène **(Desmares et al., 2008)**. Les principales caractéristiques sont :

- Liquides à température ambiante.
- Volatiles et très rarement colorées.
- Une densité faible pour les huiles essentielles à forte teneur en monoterpènes.
- Un indice de réfraction variant essentiellement avec la teneur en monoterpènes et en dérivés oxygénés (une forte teneur en monoterpènes donnera un indice élevé cependant une teneur élevée en dérivés oxygénés produira l'effet inverse).
- Solubles dans les alcools et dans la plupart des solvants organiques mais peu solubles dans l'eau.
- Douées d'un pouvoir rotatoire puisqu'elles sont formées principalement de composés asymétriques.
- Très altérables, sensibles à l'oxydation et ont tendance à se polymériser donnant lieu à la formation de produits résineux, il convient alors de les conserver à l'abri de la lumière et de l'humidité.

III.1.4. Composition chimique

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes et variables de constituants appartenant exclusivement à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : **(Guenter, 1975)**

- Le groupe des terpénoïdes.
- Le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane.

La structure des composés des huiles essentielles est constituée d'un squelette hydrocarboné, constituant une chaîne plus ou moins longue. Sur ce squelette de base est souvent présent un ou plusieurs sites fonctionnels semblables ou différents. La majorité des sites fonctionnels sont des sites oxygénés avec un ou plusieurs atomes d'oxygène, pour quelques groupes fonctionnels azotés ou soufrés. Les huiles essentielles sont avant tout des composés terpéniques. Du strict point de vue chimique, les terpènes apparaissent comme des polymères d'un carbure d'hydrogène diéthylénique, l'isoprène.

Selon **(Bruneton, 1993)**, cette structure varie selon

-le nombre d'atomes de carbone qui les constitue à savoir :

- Les monoterpènes.
- Les sesquiterpènes.
- Rarement les diterpènes.

-la nature des groupes fonctionnels à savoir :

- Terpènes : $R_1-HC=CH-R_2$
- Alcools terpénique : $R-OH$
- Cétones : R_1-CO-R_2
- Phénols : C_6H_6-OH
- Aldéhydes : $R-CHO$
- Esters : $R_1-COO-R_2$
- Ethers : R_1-O-R_2

III.1.5. Rôle physiologique

Le rôle exact que jouent les huiles essentielles dans la physiologie de la plante productrice reste encore mal connu. Il a été démontré qu'elles ont un effet attractif envers les animaux qui servent à la pollinisation et à la dispersion des graines, un effet répulsif contre les herbivores un effet allélopathique et servent également de moyen de défense contre les organismes phytopathogènes (**Bouhdid et al., 2012**).

III.1.6. Propriétés médicinales

Véritables concentrés de principes actifs, les huiles essentielles permettent, en thérapie, des actions multiples et rapides. Elles sont toutes antiseptiques, désintoxicantes, revitalisantes et sélectives (appliquée sur un endroit du corps, une huile essentielle est attirée par l'organe ou la fonction du corps le plus déficient à un moment donné). De plus, elles ont chacune des propriétés spécifiques. Les mélanges d'huiles essentielles en synergie augmentent les bienfaits des huiles essentielles (**Grosjean, 2015**).

A. Antivirale

Les virus sont très sensibles aux molécules aromatiques contenues dans les huiles essentielles, ce qui confère à ces dernières la capacité de combattre certaines pathologies virales. Les huiles essentielles arrêtent le développement des virus et facilitent l'élimination du mucus tout en stimulant le système immunitaire (**Buronzo, 2008**).

B. Anti cicatrisantes

Les huiles essentielles présentent des propriétés cicatrisantes connue depuis l'antiquité et utilisées en temps de guerre pour soigner les blessés, en effet, elles ont le pouvoir de régénérer les tissus qui ont été abimés et de favoriser la cicatrisation des blessures. Leur pouvoir antiseptique

permet de désinfecter en même temps les plaies, en protégeant l'organisme des processus de décomposition, des microbes et de leurs éventuels déchets nocifs (**Buronzo, 2008**).

C. Anti-inflammatoires

Les aldéhydes contenue dans un grand nombre d'huiles essentielles ont la propriété de combattre les inflammations. La menthe poivrée est en mesure d'anesthésier les douleurs au niveau des cranes. Le clou du girofle calme les douleurs dentaire et le thym agit au niveau du coude tandis que la citronnelle, le romarin ou l'eucalyptus sont efficace en cas de pique d'insecte (**Buronzo, 2008**).

III.1.7. La toxicité

Les huiles essentielles sont présentées, généralement comme « sans danger ». Mais ces substances naturelles sont aussi des composés puissants. Par leur composition chimique complexe, les huiles essentielles doivent être utilisées avec une extrême prudence, du fait qu'elles peuvent présenter de très graves dangers lors d'une utilisation aléatoire autonome. Les effets toxiques d'une huile essentielle varient considérablement selon sa nature. Certaines huiles essentielles se révèlent cytotoxiques. Les huiles essentielles du thym et de la lavande, selon la phase dans laquelle elles sont mises en contact à titre d'exemple, elles sont avérées cytotoxiques pour des cellules de hamster chinois. Par ailleurs, des huiles essentielles de différentes variétés d'origan ont montré une forte cytotoxicité sur des cellules humaines dérivées du cancer (**Bouguerra, 2011**).

III.1.8. Conservation

L'huile essentielle se conserve parfaitement quelques années à l'abri de la chaleur et de la lumière. Pour preuve, on a retrouvé des essences dans des doubles jarres en terre cuite dans les pyramides d'Égypte. Des flacons de verre teinté sont nécessaires à la bonne conservation des huiles essentielles. Si après un ou deux ans, on n'utilise plus les huiles essentielles en traitement interne, elles peuvent sans inconvénient alimenter les diffuseurs d'arômes. Portons une attention particulière aux huiles essentielles d'agrumes qui s'oxydent plus rapidement que les huiles essentielles de plantes aromatiques et dont la durée de vie est inférieure (**Grosjean, 2015**).

III.2. Activité Antibactérienne

III.2.1. Généralités

Les huiles essentielles constituent un groupe de métabolites secondaires identifiés dans plusieurs familles de plantes aromatiques. Ces produits naturels se distinguent par leurs

caractéristiques chimiques et par leurs activités biologiques intéressantes (antioxydantes, antibactériennes, insecticides, ...) (Aici et al., 2013).

Une huile essentielle ne renferme pas du tout de gras, malgré ce que l'on pourrait croire. Elle ne contient pas non plus d'eau, ni d'alcool. En revanche, elle est constituée de centaines de molécules différentes. C'est ce qui rend chaque huile polyvalente, avec de nombreuses propriétés et indications, à l'inverse d'un médicament, qui ne renferme généralement qu'une seule molécule, pour un seul usage. C'est aussi ce qui explique que les bactéries et les virus ne parviennent pas à développer de « résistance » aux huiles essentielles antiseptiques (contrairement aux médicaments antibiotiques et aux antiviraux) : elles sont trop complexes pour qu'un microbe s'y habitue, s'organise, mute en conséquence et en devienne « maître ». (Festy, 2014).

III.2.2. Définitions

➤ les bactéries

Les bactéries sont microorganismes procaryotes unicellulaires, de taille de l'ordre du micron (Brigitte, 2006). Elles sont les plus petits organismes connus doués de métabolisme capables de croître et de se diviser aux dépens de substances nutritives (Meyer et al., 2008).

Il existe des milliers d'espèces bactériennes, commensales ou pathogènes, associées au corps humain, appartenant à deux catégories différentes (Gram positif et Gram négatif) comme les bactéries suivant (Assous et al., 1999).

- *Escherichia coli*

Escherichia coli est un bacille à Gram négatif inoffensif et sert une fonction utile dans le corps en arrêtant la croissance d'espèce de bactéries nuisible et en faisant des vitamines nécessaires (Yakhlef, 2010).

Escherichia coli est une bactérie aéro-anaérobie qui fait partie de la flore commensale de l'intestin des animaux à sang chaud cette espèce bactérienne comprend divers types de souches pathogènes qui ont évolué depuis l'ancêtre commun par acquisition de séquences d'ADN codant pour des facteurs et propriétés de virulence sur des îlots de pathogénicité, sur des plasmides et ou sur des prophages. Ces souches pathogènes montrent différents tropismes de tissus et d'organes (souches entéropathogènes, souches uropathogènes, souches septicémiques, souches systémiques) (Mainil et al., 2001).

- *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus est un pathogène Gram positif. Ces bactéries poussent en chainettes de cocci analogues à des colliers de perles, et constituent un groupe important et varié.

Staphylocoques sont disposés de façon particulière à la manière de grappes de raisin (staphylo signifie grappe en Grec). Il existe trois espèces majeures : *S.aureus*, *S.epidermidis*, et *S. saprophyticus* (Assous et al., 1999).

Il fait partie des germes les plus fréquemment rencontrés en pathologie humaine. On le retrouve aussi bien dans les milieux communautaires qu'hospitaliers, il est au deuxième rang des infections nosocomiales derrière *Escherichia coli* et au deuxième des intoxications alimentaires après les salmonelles (Guillaume, 2014).

Il cause des plaies et des infections chez l'homme morbidité et mortalité élevées *Staphylocoques aureus* produit une large variété d'exoprotéines qui contribuent à sa capacité à coloniser et provoquer une maladie chez l'hôte. La récente augmentation maladies septiques à *Staphylocoques aureus* et dans les souches résistantes à pratiquement tous les antibiotiques disponibles rendent urgente une meilleure compréhension des stratégies de virulence staphylococcique et de nouveaux moyens combattre les infections à *Staphylocoques aureus* (Haas et al., 2004).

- ***Pseudomonas aeruginosa***

Il s'agit d'un petit bacille gram négatif; Cette bactérie préfère les milieux humides et on la trouve quelquefois au niveau de la peau, de l'appareil respiratoire supérieur, de l'oreille externe et du tube digestif chez l'individu (Binachi, 2004).

Pseudomonas aeruginosa est responsable de 10 à 15% des infections nosocomiales dans le monde. Souvent ces infections sont difficiles à traiter en raison de la résistance de l'espèce, ainsi qu'à sa remarquable capacité d'acquérir d'autres mécanismes de résistance à de multiples groupes d'agents antimicrobiens *Pseudomonas aeruginosa* représente un phénomène de résistance aux antibiotiques, et démontre pratiquement tous les mécanismes enzymatiques et mutationnels connus de la résistance bactérienne. Souvent ces mécanismes existent simultanément, conférant ainsi résistance combinée à de nombreuses souches (Strateva et Yordanov, 2009).

- **L'antibiotique**

Un antibiotique du grec anti «contre» et bios «la vie» est une substance naturelle produite par des micro-organismes ou de synthèse chimique, qui a la propriété de tuer ou empêcher la prolifération des micro-organismes pathogènes (Brigitte, 2006 ; Benbrinis, 2012).

La thérapeutique des infections bactériennes se base sur l'usage des antibiotiques qui inhibent sélectivement certaines voies métaboliques des bactéries, sans exercer d'effets toxiques pour les organismes supérieurs (Yakhlef, 2010).

III.2.3. Activité Antibactérienne

Les huiles essentielles peuvent rendre stériles une culture de microbes signe d'une activité antiseptique, elles peuvent tuer les bactéries (effet bactéricides) ou arrêter leurs proliférations (effet bactériostatique). Plusieurs études ont montrés que les huiles essentielles sont capables de s'attaquer au microbe les plus puissants, comme le staphylocoque, le bacille de Koch (tuberculose) ou le bacille typhique (typhoïdes). Les aldéhydes et les terpènes sont réputés pour leurs propriétés désinfectantes et antiseptiques et s'opposent à la prolifération des germes pathogènes (**Buronzo, 2008**). Les phénols (carvacrol, thymol) possèdent le coefficient antibactérien le plus élevé, suivi des monoterpénols (géraniol, menthol, terpinéol), aldéhydes (néral, géranial) (**Benayad, 2008**).

L'activité antibactérienne d'une huile essentielle est à mettre en relation avec sa composition chimique, les groupes fonctionnels des composés majoritaires (alcools, phénols, composés terpéniques et cétoniques) ou ceux susceptibles d'être actifs. Mais, il est probable que cette activité dépende aussi de composés minoritaires qui agissent d'une manière synergique (**Kheyar et al., 2014**).

III.2.4. Mécanismes d'action antibactérienne

Les HEs possèdent plusieurs modes d'action sur les différentes souches bactériennes selon qu'ils inhibent la croissance bactérienne (bactériostatique) ou qu'ils tuent la bactérie (bactéricide) (**Brigitte, 2006**). Cependant, les mécanismes restent moins clairs, et leur complexité vient de la composition chimique des HEs qui présente une diversité de molécules pouvant agir chacune sur une cible différente (**Bouyahya et al., 2017**).

Elles agissent, dans certains cas, par modification du bon fonctionnement de la membrane plasmique en réagissant avec les sites actifs des enzymes ou servent de transporteur de proton en réduisant la synthèse de l'ATP (**Chang et al., 2001 ; Ultee et al., 2002**).

Mais d'une manière générale leur action se déroule en trois phases (**Bouyahya et al., 2017**) :

- Au niveau de la paroi, elle provoque une augmentation de la perméabilité puis la perte des constituants cellulaires.
- A l'intérieur de la cellule bactérienne, par son pouvoir acidifiant, elle bloque la production de l'énergie cellulaire et la synthèse des composants de structure.
- Au niveau du matériel génétique, elle détruit l'ADN conduisant à la mort de la bactérie.

III.2.5. Mécanismes de résistance bactérienne aux antibiotiques

La résistance bactérienne est la possibilité pour une bactérie de se multiplier en présence de concentrations d'antibiotiques supérieures à celles qui permettent normalement d'inhiber la croissance des bactéries de même espèce (**Bangou, 2012**).

La résistance bactérienne aux antibiotiques aurait deux origines essentielles, naturelles et acquise. La première est programmée au niveau du pool génomique alors que la seconde est développée en fonction des conditions métaboliques. Les mécanismes de résistance aux antibiotiques ont été largement étudiés, et de nombreuses cibles des fonctions cellulaires ont été impliquées dans ces mécanismes. Les sites de résistance sont variables entre les espèces bactériennes, et ils sont classés en plusieurs voies. Dans certains cas, au sein de la même souche bactérienne, on peut trouver plusieurs mécanismes de résistance différents. Les mécanismes de résistance ont été décrits chez plusieurs souches bactériennes (**Bouyahya et al., 2017**).

La résistance bactérienne aux antibiotiques peut impliquer l'un des mécanismes suivants :

- ✓ Elles peuvent acquérir des gènes codant des enzymes, telles que les B-lactamases, qui détruisent l'agent antibactérien avant qu'il produit un effet.
- ✓ Par ailleurs, les bactéries peuvent acquérir plusieurs gènes pour une voie métabolique qui aboutit à la production de parois cellulaires altérées ne contenant plus de sites de fixation des agents antimicrobiens.
- ✓ Produisent une mutation spontanée dans leurs gènes ou lorsqu'il y a un transfert de nouveaux gènes provenant d'une autre espèce (**Benbrinis, 2012**).

III.2.6. Les différentes méthodes de détermination de l'antibiogramme

L'évaluation de la sensibilité bactérienne à un antibiotique consiste à analyser la réponse d'une culture bactérienne à une concentration fixe de l'antibiotique. Cette approche statique permet de déterminer des paramètres fondamentaux comme la CMI. Plusieurs méthodes sont utilisées en laboratoire pour déterminer la sensibilité aux antibiotiques. Les plus utilisées étant est : (**Diene, 2016**).

➤ La méthode des disques (aromatogramme)

L'aromatogramme est une méthode inspirée de l'antibiogramme qui permet de déterminer l'activité inhibitrice de croissance des HEs par la mesure du diamètre d'inhibition autour d'un

disque imprégné d'huile essentielle. Cette méthode a l'avantage d'une grande souplesse dans le choix des huiles essentielles testées, et de s'appliquer à un très grand nombre d'espèces bactériennes (**Billerbeck, 2007**).

➤ **Microdilution successive en milieu liquide :**

Cette méthode consiste à mettre un inoculum bactérien standardisé au contact de concentrations croissantes d'antibiotiques selon une progression géométrique de raison de 2 (ex. 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16µg/ml, etc.). Après 18h à 24h d'incubation à 37°C, la CMI correspond à la concentration à laquelle l'inhibition de la croissance bactérienne est visible à l'œil nu (absence de turbidité dans le tube) (**Diene, 2016**).

III.2.7. La concentration minimale inhibitrice ou CMI

La CMI (Concentration minimale inhibitrice) de façon générale est la plus faible concentration d'antimicrobien capable d'inhiber toute croissance visible après un temps d'incubation de 18 à 24 heures (**Basli et al., 2011**).

La CMI est la plus faible concentration d'antibiotique inhibant toute croissance visible après un temps d'incubation de dix-huit à vingt-quatre heures. La CMI permet de définir la sensibilité ou la résistance des souches bactériennes aux substances antimicrobiennes. La CMI est déterminée macroscopiquement par turbidité, c'est-à-dire qu'à l'œil nu on observe le trouble traduisant une pousse bactérienne qui se serait développée. On réalise une série de dilutions d'antibiotiques avec du bouillon Mueller Hinton de raison géométrique 2 à partir d'une solution mère, dans des tubes à essai. A partir d'une certaine concentration, il n'y a plus de cultures visibles dans le tube à essai. Le premier tube dans lequel il n'y a plus de cultures visibles indique la concentration minimale inhibitrice (**Kablan et al., 2008**).

Chapitre IV :

Techniques analytiques

IV.1. L'échantillonnage et préparation d'échantillon

➤ La récolte

La récolte des plantes médicinales fait intervenir plusieurs éléments: l'âge de la plante, l'époque de l'année et les parties de la plante à récolter. Il y a en effet quelques règles à suivre pour obtenir les principes actifs de la plante récoltée. Quelque soit la partie des plantes à cueillir, et quelque soit la saison, le meilleur moment pour procéder à la récolte est le matin, mais après l'évaporation de la rosée et avant que le soleil ne commence à darder ses rayons : c'est le moment idéal.

Selon les plantes, on récolte différentes parties : les racines, les feuilles, les fleurs, l'écorce... La teneur en principes actifs n'est pas la même selon les parties utilisées. On peut utiliser les fleurs ou les feuilles d'une même plante pour soigner deux maladies différentes. La cueillette des plantes ne se fait pas à n'importe quel moment de l'année (**Koul et Khireddine., 2019**).

- Les écorces se récoltent au printemps, au moment de la montée de la sève
- Les feuilles et les rameaux sont souvent riches en principes actifs. On récolte de préférence les jeunes pousses, qui n'ont pas encore atteint leur plein développement et qui sont particulièrement riches en principes actifs.
- Les fleurs ne sont cueillies que pendant la période de floraison.
- Les graines sont récoltées au moment où elles commencent à sécher sur la plante, mais avant qu'elles ne tombent sur le sol.

➤ Le séchage

Il s'agit d'une séparation thermique, où il faut fournir l'énergie de vaporisation de l'eau pour qu'elle quitte le produit. Habituellement, pour conserver les plantes aromatiques et médicinales, le séchage traditionnel est la méthode la plus commune et fondamentale, il permet la conservation des qualités médicinales de manière simple et naturelle. Mais ce type de séchage présente des inconvénients comme la contamination de la matière végétale par des moisissures et un temps de séchage relativement long (**Ouafi et al., 2015**).

La méthode de séchage la plus simple consiste à faire des bouquets séparés de chaque variété. On les attache ensuite par les tiges pour permettre une bonne circulation de l'air, puis on les suspend sans les serrer entre eux dans un endroit ombragé grenier, buanderie, pavillon de jardin, abri de jardin propre ou grange. Sous les climats chauds et secs, on peut accrocher les bouquets à l'extérieur, mais à l'ombre, ou au plafond d'une pièce chaude, fenêtre ouvertes, ou encore dans une chambre balayée par une légère brise filtrant à travers les persiennes (**Callery, 1998**).

➤ **Broyage**

La poudre s'obtient en pulvérisant une plante, soit au moulin à café, soit au mortier et au pilon (Morigane, 2007).

IV.2. Les Méthodes analytiques

IV.2.1. Préparation des extraits

IV.2.1.1. Préparation des extraits aqueux

Une quantité de 75 g de poudre de plante ont été macérés dans 700 ml d'eau distillée pendant environ 18 h sous agitation magnétique à la température ambiante. Le macérât obtenu a été filtré deux fois sur du coton puis une fois sur papier Watman N°1 et le filtrat concentré à l'aide d'un évaporateur rotatif à 50° (Yala et al., 2016).

IV.2.1.2. Préparation des extraits méthanolique

Une quantité 20 g de poudre de la plante a été extraite avec 200 ml de solvant de polarité croissante : le méthanol/eau (70/30) (v/v) ou par macération pendant 24 heures. Les extraits sont ensuite filtrés et concentrés sous pression réduite à 60 °C à l'aide de l'évaporateur rotatif, puis maintenus dans l'obscurité et conservés à 4 °C (Mezouar et al., 2014).

➤ **Calcul du rendement**

Le rendement de l'extrait bruts sec méthanolique et aqueux est définit comme étant le rapport entre la masse de l'extrait brut sec obtenue et la masse du matériel végétal traité (Falleh et al., 2008).

Ce rendement est calculé via l'équation :

$$R \% = M / M_0 \times 100$$

R% : rendement

M : Masse de l'extrait sec (g)

M₀ : Masse de matière végétale (g)

IV.2.1.3. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

Plusieurs méthodes sont connues pour extraire les essences aromatiques des végétaux Les principales méthodes d'extraction sont basées sur l'entraînement à la vapeur d'eau, la solubilité et la volatilité (Samate, 2002).

Le choix de la technique dépend principalement de la matière première: son état original, ses caractéristiques et sa nature proprement dite. Le rendement « H.E/matière première végétale » peut être extrêmement variable selon les plantes. Parmi de nombreuses techniques d'extraction des huiles essentielles, la distillation est la méthode la plus ancienne et également la plus utilisée. D'autres techniques plus récentes ont été développées afin d'améliorer le rendement ou la qualité des huiles essentielles extraites, diminuer le temps d'extraction, réduire la quantité du solvant utilisé et accélérer la cinétique d'extraction. Les principales méthodes d'extraction sont (Jellouli et Akhrif, 2016).

- Distillation à vapeur saturée
- Entraînement à la vapeur d'eau
- Expression à froid
- Extraction par solvants
- Hydro distillation
- Extraction par micro-ondes
- Extraction par les corps gras
- Hydro diffusion

➤ **Technique d'extraction de l'huile essentielle (hydrodistillation)**

L'extraction des huiles essentielles de la plante a été réalisée par hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger. L'huile essentielle a été obtenue en ajoutant 500 ml d'eau distillée à 100 g de la plantes sèche. Le tout est mis à chauffer pendant 3 heures dans un soxhlet puis l'HE est récupéré. L'huile essentielle a été stockée à 4°C à l'obscurité et séchée (Makram et al., 2015 ; Bourkhiss et al., 2007).

Selon la norme AFNOR le rendement en huile essentielle (R_{HE}), est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue après extraction M' et la masse de la matière végétale utilisée M il est donné par la formule suivante : (Bouguerra et al., 2014).

$$R_{HE} = (M'/M) \times 100$$

R_{HE} : Rendement en huile essentielle exprimé en %.

M' : Masse en gramme de l'huile essentielle.

M : Masse en gramme du matériel végétal.

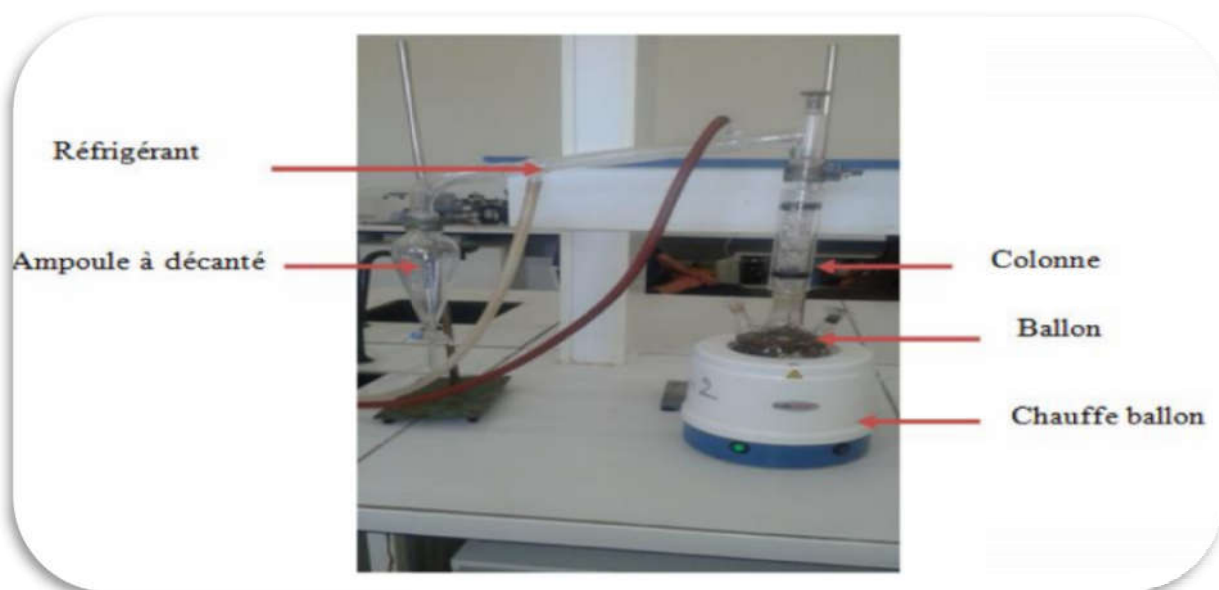


Figure09. Montage d'extraction par hydrodistillation (Attou et Bouzid, 2016).

IV.2.2. Analyse phytochimique

IV.2.2.1. Analyse qualitative (Screening phytochimique)

Un screening phytochimique au moyen des tests de caractérisation par des réactions colorées des extraits est réalisé dans le but de déterminer les différents groupes chimiques. Ces tests ont porté sur la mise en évidence des flavonoïdes, des anthocyanes, des tanins, des composés anthracéniques et des alcaloïdes (Mabika *et al.*, 2013).

Les tests de caractérisation sont basés sur des réactions de précipitation et de complexations avec formation de complexes insolubles et colorés. La coloration observée est provoquée par l'utilisation d'un réactif approprié et est due généralement à la formation d'une conjugaison ou d'une instauration dans une molécule (Bammou *et al.*, 2015).

IV.2.2.1.1. Les alcaloïdes

Trois tests fondés sur la capacité qu'ont les alcaloïdes à se combiner avec les métaux lourds ou avec l'iode peuvent être effectués (Dohou, 2003).

A. Test d'Iodoplatinate

L'extrait à tester est déposé sur couche mince (plaque de silice) et le chromatogramme est développé dans le solvant suivant : (AcEt / MeOH / NH₄OH) (9/1/1), puis séché sous la hotte. Les bandes de migration sont repérées et délimitées sous lumière UV à 365 nm. L'application du réactif d'Iodoplatinate par pulvérisation permet de révéler la présence d'alcaloïdes. Ceux-ci se révèlent par une couleur bleue sur le chromatogramme (Alilou et al., 2014).

B. Test de Dragendorff

Une chromatographie sur couche mince que nous appellerons CCM (plaque de gel de silice de 200 x 200 mm, 0,3 mm d'épaisseur, support plastique) est effectuée pour quelques ml d'extrait méthanolique. Le solvant de migration est AcEt / MeOH / NH₄OH 50 % (9:1:1). Après migration, les spots fluorescents à 365 nm sont pulvérisés avec le réactif de Dragendorff (tétraiodobismuthate de potassium). L'apparition en lumière visible de taches orange témoigne de la présence d'alcaloïdes (Dohou, 2003).

C. Test de Mayer

A une quantité de 0,5 g du matériel végétal sec broyé, on ajoute 15 mL d'éthanol (70%) pendant 15 mn. Ensuite, les extraits sont laissés en agitation magnétique pendant toute la nuit, décantés et filtrés. L'extrait est évaporé à sec dans le rotavapor. Le résidu récupéré dans quelques ml de HCl (50%) est ensuite transvasé dans deux tubes à essai ; l'un est utilisé comme témoin et à l'autre on ajoute le réactif de Mayer. L'apparition de précipité blanc traduit la présence des alcaloïdes (Alilou et al., 2014).

IV.2.2.1. 2. Les tannins

A. Réaction avec l'aldéhyde formique

Les tannins catéchiques sont identifiés par le réactif de STIASNY (l'aldéhyde formique 30%, HCl concentré : 1/0,5). Cinq (5) ml de chaque extrait ont été évaporés à sec. Après ajout 15 mL du réactif de STIASNY au résidu, le mélange a été maintenu au bain- marie à 80 °C pendant 30 min. L'observation d'un précipité en gros flocons caractérise les tanins catéchiques (Bide et al., 2011).

B. Réaction avec le fer

Les tannins galliques sont identifiés par ajout de FeCl₃. Le filtrat est recueilli puis on procède à la saturation avec l'acétate de sodium. L'addition de 3 gouttes de FeCl₃ à 2% provoque l'apparition d'une coloration bleu-noir intense dénotant la présence de tanins galliques. Une

solution alcoolique d'acide gallique ou de catéchine est utilisée pour servir de témoin (Bide et *al.*, 2011; Doat, 1978).

C. Réaction avec gélatine salée

Le test de confirmation de la présence des tannins dans l'échantillon est réalisé en mettant en contact l'infusé à 5% de la poudre avec la gélatine salée (1%) et 10% de NaCl dans l'eau ; une solution 10% de NaCl a été utilisée parallèlement à la gélatine. La réaction est considérée comme positive quand il se forme un précipité blanc dans le tube à gélatine salée sans que ce précipité n'apparaisse dans le tube à NaCl seul (Nineza et Nkengurutse, 2018).

IV.2.2.1.3. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes ont été mis en évidence dans les résidus par la réaction à la cyanidine. À un aliquote de résidu dissout dans 5 ml d'éthanol chlorhydrique (2 : 1, v/v) sont additionnés deux à trois copeaux de Mg (ou 30 –50 mg de poudre de Zn) et quelques gouttes d'isopentanol. L'apparition d'une coloration intense rose-orange ou violacée (rouge ou rouge-orange avec le Zn) indique une réaction positive (Békro et *al.*, 2007).

IV.2.2.1.4. Saponosides

La mise en évidence des saponosides peut être réalisé par une agitation vigoureuse de 10ml de l'infusé à 5% pendant 10 secondes dans un tube à essai. En laissant au repos le tube à essai pendant 15 minutes, l'apparition d'une mousse persistante indique l'existence des saponosides : si la hauteur de la mousse est comprise entre 0,5-1,0 cm, ils y sont en faible quantité ; entre 0,1-0,5cm, ils y sont en très faible quantité tandis que si la hauteur de la mousse est supérieure à 1cm, les saponosides sont en grande quantité (Nineza et Nkengurutse, 2018).

IV.2.2.1.5. Stérols et triterpènes

Les stérols et les terpènes ont été recherchés par la réaction de Liebermann. Cinq (5) ml de l'extrait ont été évaporés sur bain de sable. Le résidu est dissout à chaud dans 1 ml d'anhydride acétique ; nous avons ajouté 0,5 ml d'acide sulfurique concentré au triturât. L'apparition, à l'interphase, d'un anneau pourpre ou violet, virant au bleu puis au vert, a indiqué une réaction positive (EL-Haoud, 2018).

IV.2.2.2. Analyses quantitatives

A. Dosage des composés polyphénoliques totaux (PPT)

Le dosage des polyphénols totaux a été déterminé par spectrophotométrie, selon la méthode colorimétrique utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dosage est basé sur la quantification de la concentration totale des groupements hydroxyles présents dans l'extrait. Le réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. (Ali-Rachedi et al., 2018).

La coloration produite, dont l'absorption maximum est comprise entre 725 et 750 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (Boizot et Charpentier, 2006).

Les composés phénoliques totaux sont dosés de la manière suivante, 0,1 ml de l'extrait de plante est introduit dans un tube Eppendorff de 2 ml, l'extrait est ensuite dilué avec 0,9 ml d'eau distillée ensuite 0,9 ml du réactif de Folin-Ciocalteu (1N) est ajouté puis immédiatement après il est ajouté 0,2 ml d'une solution de Na_2CO_3 (20%). Le mélange obtenu est incubé à la température ambiante pendant environ 40 minutes à l'abri de la lumière. L'absorbance est ensuite mesurée au spectrophotomètre à 725 nm contre une solution de méthanol utilisé comme blanc. Notons qu'une droite d'étalonnage est préalablement réalisée avant l'analyse avec de l'acide gallique dans les mêmes conditions que les échantillons à analyser. Les résultats obtenus sont exprimés en mg équivalent acide gallique par gramme de matière sèche (E GA/g Ms) (Muanda, 2012).

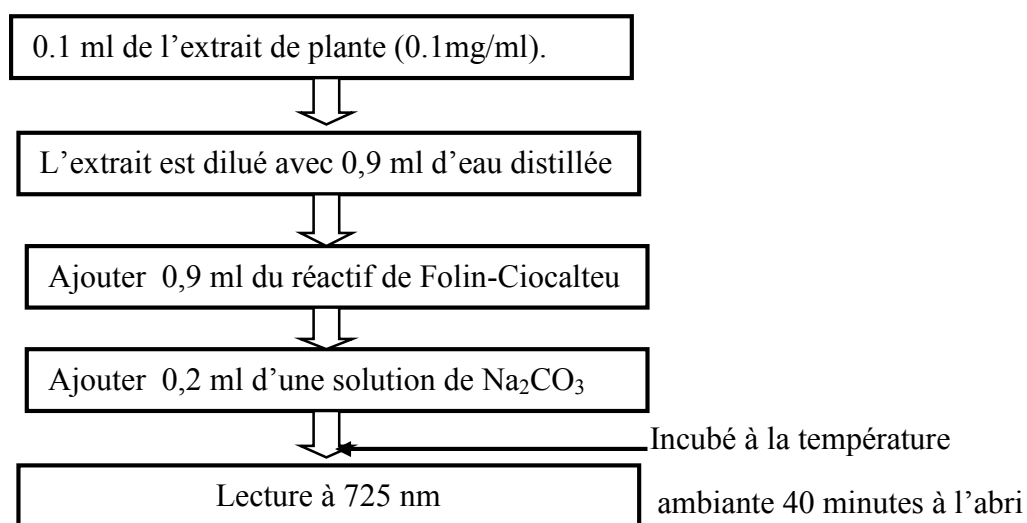


Figure 10. Protocole du dosage des composés polyphénoliques totaux.

B. Dosage des flavonoïdes

La quantification des flavonoïdes est faite selon une méthode colorimétrique décrite par (Dewanto *et al.*, 2002). Le principe de la méthode est fondé sur l'oxydation des flavonoïdes par deux réactifs incolores, le nitrite de sodium et le chlorure d'aluminium. Elle entraîne la formation d'un complexe brunâtre qui absorbe à 510 nm. Une prise de 250 μl de chaque extrait diluée est additionnée de 75 μl d'une solution de nitrite de sodium à 5 %. Après six minutes d'incubation à température ambiante, 150 μl d'une solution fraîchement préparée de chlorure d'aluminium (10 %) sont ajoutés au mélange. Après cinq minutes de repos à température ambiante, 500 μl d'hydroxyde de sodium (1 M) sont apportés au mélange, le volume final est porté à 2,5 ml avec de l'eau distillée. L'absorbance de cette préparation est mesurée contre un blanc à 510 nm. Une gamme étalon à base de catéchine est également préparée à des concentrations allant de 0 à 500 $\mu\text{g/ml}$. Les teneurs en flavonoïdes des extraits sont alors exprimées en milligramme équivalent catéchine par gramme de la matière sèche (mg EC/g MS).

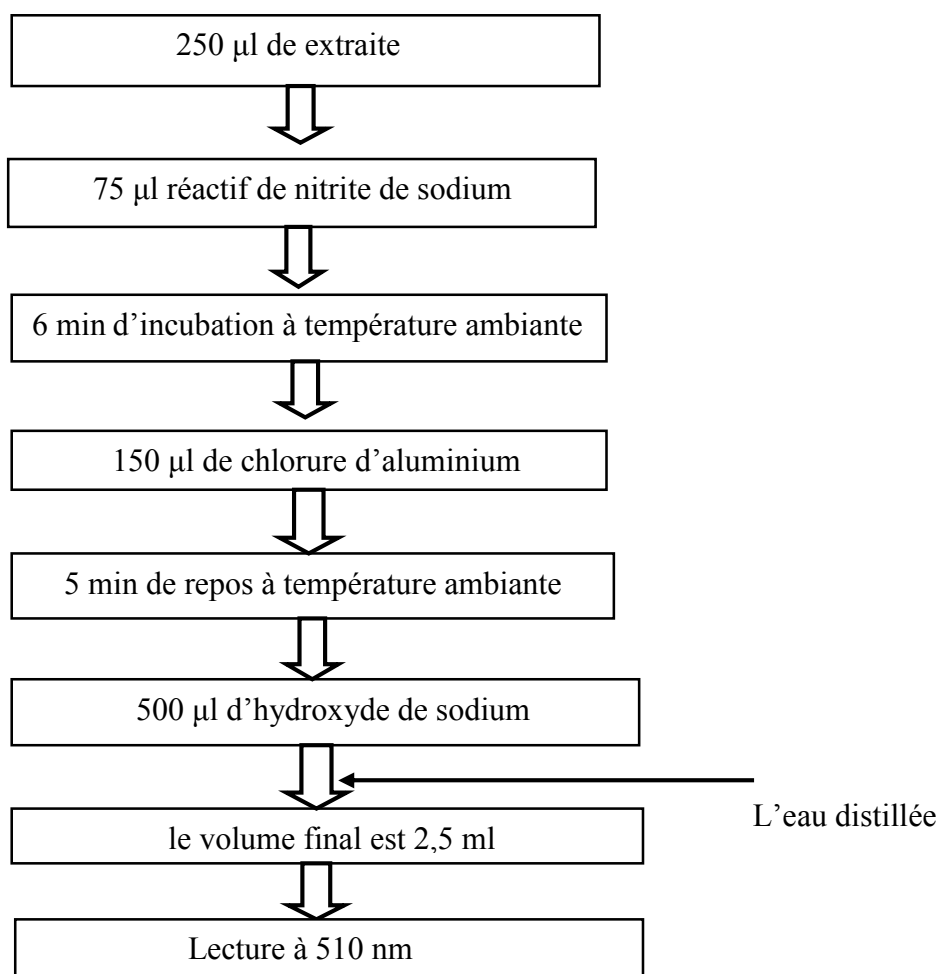


Figure11. Protocole du dosage des flavonoïdes

C .Tanins condensés

Les tanins condensés sont déterminés par la méthode de la vanilline en milieu acide décrite par (Mahmoudi *et al.*, 2013). Le réactif de vanilline a été préparé en mélangeant à volume égal : HCl à 8 % (v/v), le méthanol à 37 % (v/v) et 4 % de vanilline dans du méthanol (m/v). Le mélange a été maintenu à 30 °C avant le dosage. 200 µl de chaque extrait à analyser ont été ajoutés à 1 000 µl de réactif de vanilline ; le mélange a été agité puis incubé à l'obscurité à 30 °C pendant 20 min. L'absorbance est mesurée à 500 nm par un spectrophotomètre UV (Perkin Elmer) contre un blanc constitué d'un mélange de méthanol (37 %) et de HCl (8%) à volume égal. Les résultats sont exprimés en mg équivalent catéchol/g de matière végétale sèche en se référant à la courbe d'étalonnage du catéchol.

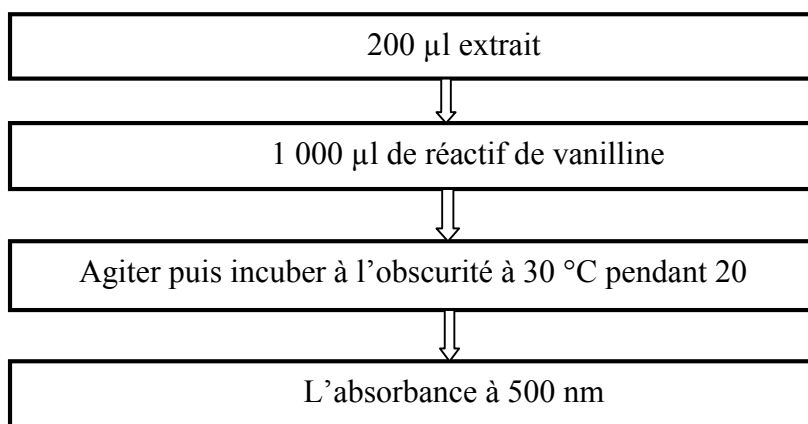


Figure12. Protocole du dosage des tanins condensés

IV.2.2.3. Analyse de la composition chimique de l'huile essentielle par CPG/SM.

L'analyse de la composition chimique des huiles essentielles a été effectuée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM) (Alitonou *et al.*, 2004).

➤ chromatographie

La chromatographie est une méthode physique de séparation des constituants d'un mélange. Cette séparation est basée sur les différences d'affinités des substances à analyser à l'égard de deux phases, une phase stationnaire ou fixe et une phase mobile (Chnimi, 2015)

➤ La chromatographie en phase gazeuse CPG/SM.

La chromatographie en phase gazeuse (GC), est une technique chromatographique couramment utilisée pour l'analyse des produits à base de plantes. Couplée à la spectrométrie de

masse, elle offre une grande capacité de séparation, des informations structurales, et avec les bases de données spectrales existantes une possible identification des composés. En outre, la grande sélectivité des colonnes capillaires permet la séparation de nombreux composés simultanément en très peu de temps. En chromatographie en phase gazeuse, l'échantillon est vaporisé et injecté au sommet de la colonne. L'élution est assurée par un flux de gaz inerte qui sert de phase mobile. La fonction de la phase mobile est de transporter l'analyte dans la colonne. Le chromatographe en phase gazeuse est constitué de trois modules: un injecteur, une colonne capillaire dans un four et un détecteur (Tidjani, 2016).



Figure13. Appareil de la chromatographie CPG/SM (Tidjani, 2016).

IV.3. Test de l'activité antibactérienne

IV.3.1. Présentation des souches bactériennes

Tableau 03. Les bactéries utilisées (Yala et al., 2016).

Microorganismes	Familles	Gram
Escherichia coli ATCC 259	Enterobacteriaceae	Gram-
Pseudomonas aeruginosa ATCC278553	Pseudomonace	Gram-
Staphylococcus aureus ATCC 25923	Staphylococcacea	Gram+

IV.3.2. Milieux de culture

Selon les méthodes employées, nous avons utilisé les milieux de cultures suivants :

- ✓ Gélose nutritive (G N).

- ✓ Gélose Mueller Hinton : Le milieu de culture utilisé pour étudier l'activité antibactérienne est l'Agar de Mueller Hinton (AMH) qui est le milieu le plus employé pour les tests de sensibilités aux agents antibactériennes (**Bouguerra et al., 2014**).

IV.3.3. Préparation d'inoculum.

Les bactéries à tester sont ensemencées sur des boîtes de pétri contenant la gélose nutritive (G N) ou autre milieux selon les souches, et incubées pendant 24h afin d'obtenir une culture jeune de bactéries et des colonies isolées. A partir de ces biotes, à l'aide d'une anse de platine, quelques colonies bien isolées et parfaitement identiques sont prélevées et mises dans 5ml de sérum physiologique stérile. La suspension bactérienne est homogénéisée (**Bouguerra et al., 2014**).

La concentration optimale des suspensions doit être de 10^6 à 10^7 germes/ml. Les germes testés sont ensemencés sur leur milieu de cultures correspondant (**Rouibi et al., 2010**)

IV.3.4. Méthode de diffusion sur disque: Aromatogramme

➤ Les disques

Des disques de papier Waltman n°1 stériles de 6 mm de diamètre (**Kheyar et al., 2014**). Ce sont des disques de papier absorbant, plats et circulaires, d'un diamètre uniforme (**Kablan et al., 2008**).

➤ Application des disques

Réalisée 1 ml de l'inoculum préparé à partir de chaque souche est uniformément bien étalé à la surface de la gélose de Mueller-Hinton (MH). Des disques de papier Waltman n°1 stériles de 6 mm de diamètre sont déposés sur la gélose et chaque disque est imprégné d'une quantité de 5 μ l de l'huile essentielle à différentes concentrations. Les disques imprégnés de 5 μ l de DMSO sont utilisés comme témoins. Chaque test est répété trois fois et une boîte témoin est ensemencée dans les mêmes conditions de l'expérience mais sans disques, qui renseigne sur l'homogénéité du tapis bactérien. La lecture se fait après 18 à 24 h d'incubation à 37°C (**Kheyar et al., 2014**).

L'absence de croissance microbienne résultant en un translucide halo autour du disque dont le diamètre est mesurée et exprimée en millimètres (**Mehani et Segni., 2013**).

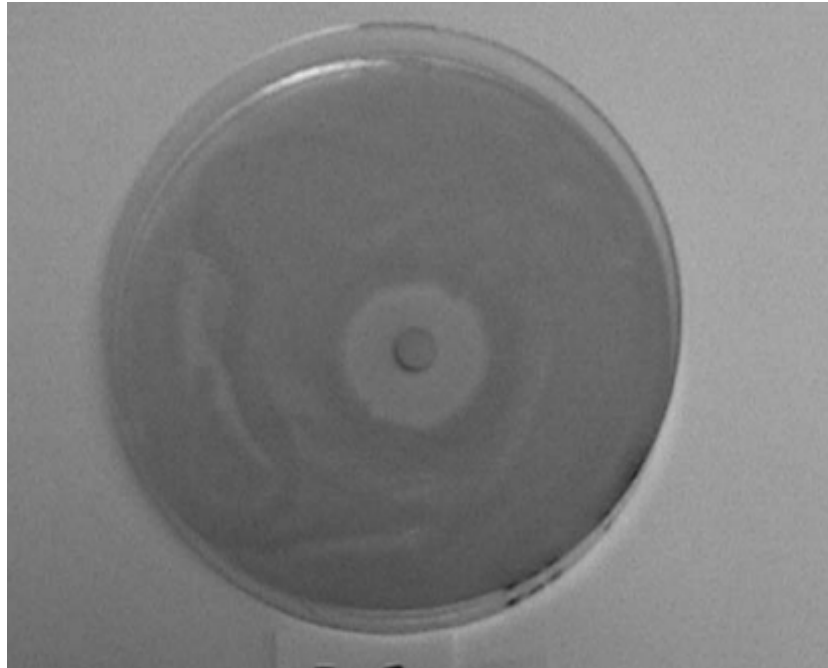


Figure14. Aromatogramme (Billerbeck, 2007).

La lecture des zones d'inhibition se réfère à une échelle de mesure de l'activité antibactérienne qui classe ainsi les diamètres des zones d'inhibition de la croissance microbienne comme suit: (Rouibi *et al.*, 2010).

- Fortement inhibitrice: \varnothing (diamètre de la zone d'inhibition) ≥ 28 mm
- Moyennement inhibitrice: $28 \text{ mm} \geq \varnothing \geq 16$ mm
- Faiblement inhibitrice: $16 \text{ mm} \geq \varnothing \geq 10$ mm
- Non inhibitrice: $\varnothing \leq 10$ de la zone d'inhibition

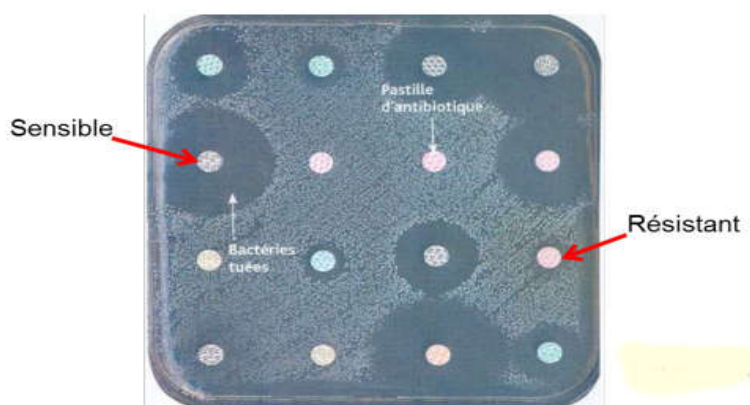


Figure15. La détermination de la sensibilité ou de la résistance d'une bactérie (Diene, 2016).

➤ **Détermination de CMI**

La CMI est définie comme la plus faible concentration d'une gamme de dilutions d'antibiotique de demi en demi, qui entraîne une inhibition de toute croissance bactérienne visible (**Ganière et al., 2004**).

Les CMI ciblées pour une sensibilité, une sensibilité intermédiaire ou une résistance microbiologique pour chaque espèce de bactéries et pour chacun des antibiotiques (**Carle, 2009**).

Chapitre V :

Travaux antérieurs

V. Travaux antérieurs

V.1. Le rendement d'extraction

➤ Le rendement d'extraction des huiles essentielles

- Les recherches faites en Italie donnent des résultats avoisinants et le rendement de l'extraction des huiles essentielles de *S. molle* L. des feuilles est de 1,6% et celui des fruits de 2% (**Maffei, 1990**).
- En Algérie et selon les travaux de **Seladji, (2014)**, les rendements d'extraction des huiles essentielles des différentes parties de *S. molle* L. varient de 0,6 à 0,9%. D'autres chercheurs ont évalué le rendement de l'HE des feuilles à 1,11% et celui des fruits à 0,11% (**Abid, 2008**).
- A Bejaia, une étude scientifique a montré que le rendement de l'HE des feuilles de *S. molle* L. était de 2.11% (**Belhamel et al., 2008**).
- Des valeurs supérieures en teneurs d'HEs de *S. molle* L sont obtenues à Blida, estimées à 2,22% pour les feuilles et 6,33% pour les fruits (**Rouibi et al., 2010**).
- On constate que ce rendement reste toujours plus élevé pour les fruits de *S. molle* L (3.4%) que pour les feuilles (1,1%) selon une étude faite à Tunis (**Zahed et al., 2010**).

➤ Le rendement des extraits aqueux et méthanolique

- Les résultats d'une étude ont montré que les rendements des extraits bruts aqueux et méthanoliques de *S. molle* L sont respectivement de l'ordre de (**Seladji, 2014**) :
 - ✓ Feuilles 19.17% et Fruits 17.44%
 - ✓ Feuilles 15.32 % et Fruits 23.40%
- Les rendements en extrait méthanolique et extrait aqueux de *S. molle* L sont de l'ordre respectivement de 16% et 28% (**Bouaraba et Hamaim, 2017**).
- Selon l'étude de **Malioui et Mahdid, (2017)**, les rendements des extraits bruts aqueux et méthanoliques de *S. molle* L sont respectivement :
 - Feuilles 9% et Fruits 23%
 - Feuilles 18% et Fruits 26%

V.2. Analyse phytochimique

❖ Screening phytochimique

- Les tests phytochimiques de l'extrait de *S. molle* L montrent que la plante est riche en quantités importantes de substances organiques azotés et parfois oxygénés. Ces substances généralement sont hétérocycliques aromatiques tel que : Tanins, Saponosides, Alcaloïdes, Flavonoïdes (**Akkou, 2014**).
- une étude scientifique à montré une remarquable richesse des différentes parties de la plante étudiée en métabolites secondaires à savoir : polyphénols, flavonoïdes et tanins (**Seladji, 2014**).
- Des tests phytochimiques réalisés à Saida montrent que *S. molle* L est plus riche en substances organiques telles que les Tannins et les Saponines et moins riche en flavonoïdes et en stérols (**Attou et Bouzid, 2016**).
- Les résultats de tests phytochimiques obtenus à travers une étude démontrent, que la *S. molle* L a une forte teneur en tanins catéchique, polyphénols, alcaloïdes, une présence moyenne des terpénoïdes et saponosides et une teneur faible en glycosides (**Bouaraba et Hamaim, 2017**).

V.3. Analyse de la composition chimique de l'huile essentielle par CPG/SM.

- Les recherches ont montré que l'huile des baies contenait principalement de l' α - et du β -phellandrène à des teneurs respectives de 55,4% et 15,4% ainsi que du limonène à 14,3%. L'HE des feuilles, qui contenait également de l' α - et du β -phellandrène et du limonène respectivement 30,2%, 9,6% et 9,3%, était caractérisé par la présence de sesquiterpènes tels que l'élémol (13,3%), le D-germacrène (5,2%), y-eudesmol (3,2%) et T-cadinol (4,7%) (**Maffei, 1990**).
- Les résultats d'une étude ont montré que les principaux composants de l'HEs de *S. molle* L sont l' α -phellandrène (26,5%), limonène (8,6%), β -phellandrène (12,4%), élémol (10,8%) et α -eudesmol (6,1%) (**Belhamel et al., 2008**).
- L'analyse des HEs des deux parties de la plante *S. molle* L a été effectuée par CPG/SM. Elle a permis l'identification de 31 constituants pour les feuilles dont deux composés majoritaires (l'alpha-phellandrène, 32,24% et le bêta-phellandrène, 23%) et 27 constituants pour les fruits dont quatre composés majoritaires (l'alpha-phellandrène 20,19%, le limonène 14,21%, le myrcène 13,6 1% et le para-cymène 12,20%) (**Abid, 2008**).
- une autre étude à montre que l'HE des feuilles de *S. molle* L contient 24 composants dont principalement delta cadinène (11,28%) et alpha-cadinol (10,77%) (**Deveci et al., 2010**).

-Des chercheurs ont détecté l'analyse des HEs des feuilles et des fruits de *S. molle* L les deux huiles étaient riches en hydrocarbures monoterpéniques et les principaux constituants étaient limonène et β -phellandrène (35,9–65,4%), α -phellandrène (24,3–20,1%), myrcène (12,8 -7,7%) et α -pinène (5,9–1,7%) (**Zahed et al., 2010**).

- Les résultats de l'analyse chimique de l' HEs de *S. molle* L donnent une variation du nombre des composés chimiques détectés en fonction de la partie de la plante étudiée. 35 composés ont été identifiés et représentent 89,3% de la composition totale de l' HEs des feuilles, et 39 composés chimiques pour les fruits (68,6%) avec l'alpha phellandrène comme constituant majoritaire au niveau des feuilles (**Seladji, 2014**).

- Les résultats obtenus à travers d'autres travaux démontrent que les composants chimiques et les principaux constituants des HEs d'extraits des branches de bois des arbres de *S. molle* L cultivés en Égypte étaient l' α -élémol, le β -pinène, le myrcène, l' α -phellandrène, le caryophyllène, l' α -cadinol, le cadinène, l'élizène, β -eudesmol, nérolidol, ceudesmol (**Salem et al., 2016**).

- Les travaux réalisés par **Abderrahim et al., (2018)**, ont montré que les HEs de *S. molle* L contiennent des composés un groupe des sesquiterpène, sous-groupes de cadinène et de cadinols. Le sous-groupe cadinène a été observé avec les feuilles de la région d'Iheddaden, les ainsi feuilles et les baies d'Amriw et dans les proportions comprises entre 16,1 et 23,4%. Le sous-groupe de cadinols (α - et épi- α -) a été trouvé avec baies d'Iheddaden (30,5%).

- Les résultats de l'analyse chimique de l' HEs de *S. molle* L donnent une 26 composés et principalement composés est comprennent β -pinène (14,7%), α -pinène (14,1%), limonène (9,4%) et muurolol (11,8%) (**Machado et al., 2018**).

- La plupart des travaux réalisés sur plusieurs espèces de faux poivrier soulignent une variabilité dans la composition chimique des huiles essentielles de ces espèces, qui sont en rapport avec la variété de la plante étudié, le cycle végétatif, les conditions écologiques et les méthodes d'extraction.

Tableau04. Comparaison des teneurs en composés majoritaires des HEs de la littérature

Partie de la plante étudiée	Constituants majoritaires en (%)	Région	Références bibliographiques
Fruits Feuilles	α -phellandrène 55,4% β -phellandrène 15,4% limonène à 14,3%. α -phellandrène 30,2%, β -phellandrène 9,6% limonène 9,3% élémol (13,3%) D-germacrène (5,2%) y-eudesmol (3,2%) T-cadinol (4,7%)	Italie	Maffei, 1990
Feuilles Fruits	alpha-phellandrène 32,24% bêta-phellandrène 23% l'alpha-phellandrène 20,19%, limonène 14,21% myrcène 13,61% para-cymène 12,20%	Algérie Tlemcen	Abid, 2008
Feuilles	α -phellandrène (26,5%) limonène (8,6%) β -phellandrène (12,4%) élémol (10,8%) α -eudesmol (6,1%)	Algérie Béjaia	Belhamel et al., 2008
Feuilles	Delta cadinène (11,28%) alpha-cadinol (10,77%)	Turkey	Deveci et al., 2010

Feuilles et fruits	α -phellendène (24,3 - 20,1%), β -phellendène(35,9-65,4%),	Tunisie	Zahed et al., 2010.
Feuilles Fruits	α -phellandène(26,7) β -phellandène (9,5) limonène (9,7) β -élémol (10,2) β -eudesmol (9,0) α -eudesmol (6,8) ; α -phellandène (6,2)	Algérie Tlemcen	Seladiji, 2014
Bois	α -élémol, le β -pinène, myrcène, α -phellandène caryophyllène α -cadinol cadinène élixirène β -eudesmol nérolidol ceudesmol	Egypte	Salem et al., 2016
Feuilles	β -pinène (14,7%), α -pinène (14,1%), limonène (9,4%) muurolol (11,8%)	Brésil	Machado et al., 2018

V.4. Activité antibactérienne

- Des travaux réalisés par **Belhamel et al., (2008)**, ont montré que les HEs de *S. molle* L présentent une sensibilité sur les bactéries à Gram positif à savoir *Staphylococcus aureus* ainsi que sur bactérie à Gram négatif *Escherichia coli*. Des dilutions de 10%, 15%, 20%, 50% et 100% ont été réalisées. Les diamètres d'inhibition obtenue varient pour *staphylocoque aureus* entre 9,2 et 19.8mm tandis que ces valeurs oscillent entre 7.8mm et 17.1mm pour *Escherichia coli* l'activité de l'antibiotique ampicilline à 10 µl/ml restant proche de celle de l'huile à 100% et égale à 21.3mm pour *staphylocoque aureus* et 19.4 pour *Escherichia coli* ceci pour l'efficacité des HEs.

- Les tests obtenus de l'activité antibactérienne des HEs de *S. molle* L ont prouvé clairement que les germes testés sont plus ou moins sensibles. Nous peut noter une sensibilité des souches *Escherichia coli* aux HEs avec un diamètre d'environ 15,5mm. Cependant, les souches *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, se sont avérées résistantes à ces huiles (**Abid, 2008**).

- Les quarts dilutions ont été HE des feuilles exhibent un pouvoir antibactérien moyen sur *Staphylococcus aureus* et faible sur *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*. A partir des HEs concentrées préparé 50%, 25%, 12,5% et 6,25% l'activité des HEs des baies a été faible sur *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* et l'inhibition totale de *Pseudomonas sp.* La CMI des HEs des feuilles pour *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* est de 50% avec une zone d'inhibition est 12 mm et pour le *Staphylococcus aureus* est de 6,25% avec une zone d'inhibition est 14mm. La CMI des HEs des baies pour *Escherichia coli* est 100% avec une zone d'inhibition de 10 mm et pour *Staphylococcus aureus* est 25% avec une zone 11,4 mm (**Rouibi et al., 2010**).

- Une étude faite à Ouargla a montré que l'huile essentielle de *S. molle* L présente des activités biologiques antibactérienne très importante sur les souches étudiées *Escherichia coli* et *staphylocoque aureus* avec une zone d'inhibition de l'ordre respectivement de 13.5mm et 12.75mm (**Blemassoud, 2013**).

- Les HEs des différentes parties de *S. molle* L ont présenté une sensibilité aux différentes souches testées on remarque une activité modérée des HEs des feuilles de *S. molle* L contre *Escherichia coli*, avec une zone d'inhibition de l'ordre de 14,5 mm. La souche *Pseudomonas aeruginosa* s'est avéré la plus résistante aux HEs (**Seladiji, 2014**).

- On a aussi observé que les huiles essentielles ont une bonne activité antibactérienne contre la croissance des bactéries étudiées (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas*

aeruginosa), avec une zone d'inhibition de l'ordre respectivement de 15mm ,15mm et 16mm **(Salem et al., 2016)**.

L'activité antibactérienne d'une huile essentielle est liée à sa composition chimique, aux groupements fonctionnels des composés majoritaires (alcools, phénols, composés terpéniques et cétoniques) et leurs effets synergiques

Conclusion

Les plantes aromatiques et médicinales sont la source de la majorité des molécules bioactifs naturels et elles restent encore sous exploitées dans le domaine médical.

L'objectif de ce travail consiste à l'identification de la compositions chimique la recherché de l'activité antibactérienne des HEs d'espèce *S. molle* L. de la famille des anacardiacees. Nous avons récapitulé les résultats de notre synthèse bibliographique comme suit :

Les tests phytochimiques menés sur notre plante ont montré une richesse remarquable en métabolites secondaires phénoliques susceptibles d'avoir des propriétés pharmacologiques intéressantes.

Les tests phytochimiques ont révélé aussi la présence de flavonoïdes, de tanins, d'alcaloïdes et des huiles volatiles de on note aussi une présence des terpénoïdes et saponosides et une teneur faible en glycosides.

Selon les résultats des travaux antérieurs qui ont contribué à l'analyse par CPG-SM de l'HE de *S. molle* L. on peut déduire d'une par une variation c.à.d. du nombre des composés chimiques détectés en fonction de la partie de la plante étudiée, 24 à 35 constituants pour les feuilles dont deux composés majoritaires l'alpha-phellandrène et le bêta-phellandrène, et d'autres par 27 à 39 composés pour les fruits dont quatre sont majoritaires l'alpha-phellandrène, le limonène, le myrcène, et le para-cymène.

Nous avons également évalué l'activité antibactérienne des HEs vis-à-vis de trois souches bactériennes sélectionnées à savoir *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* et *Escherichi coli* les résultats obtenus nous amène à avancer les conclusions suivantes:

Les HEs des différentes parties de *S. molle* L. ont montré une sensibilité aux trois souches testées et mais avec des diamètres d'inhibition et des CMI variables.

L'activité antibactérienne des HEs testée vis à vis d'*Escherichi coli* et *Staphylococcus aureus* donne comme résultat une bonne sensibilité cependant on note que *Pseudomonas aeruginosa* est la bactérie la plus résistance aux HEs.

L'ensemble de ces résultats a permis d'évaluer l'activité antibactérienne de la plante testée et de sélectionner les familles des composés phénoliques d'intérêt biologique afin de mieux connaître, de valoriser et d'utiliser ces ressources dans le domaine thérapeutique. Pour plus d'efficacité, de nombreuses perspectives sont envisagées :

- ✓ Compléter ce travail par la purification et l'identification de diverses molécules isolées en utilisant des techniques chromatographiques, spectrales, spectrophotométriques et perfectionnés

- ✓ Elargir le panel des tests des activités in vitro, évaluer et tester les différents extraits et molécules isolées in vivo afin d'y trouver une application pharmaceutique de ces molécules actives, ou alors en conservation des produits destinés à la consommation

Références bibliographiques

A

- Abdel-Sattar E., Zaitoun A A., Farag M A., El Gayed S H., Harraz M H F., 2010.** Chemical composition, insecticidal and insect repellent activity of *Schinus molle* L. leaf and fruit essential oils against *Trogoderma granarium* and *Tribolium castaneum*. Vol. 24, No. 3, 226–235.
- Abderrahim A., Belhamel K., Chalard P., Figuéredo G., 2018.** Correlation between chemical composition and antioxidant activity of the essential oils from leaves and berries of *Schinus molle* L. growing in two areas of Bejaia (Algeria). *Journal of Food Measurement and Characterization* 12:1123–1134.
- Abid L, 2008.** Recherche des activités antimicrobiennes et antioxydantes de *Schinus molle* L et *Pistacia vera* L de la région de Tlemcen p60.
- Abidat R., Ouhererre A., 2018.** Caractérisation et l'effet de l'époque de récolte sur la composition des huiles essentielles de *Schinus molle* L.P35.
- Aici D., Cheriti A., Bourmita Y., Belboukhari N., 2013.** Activite biologique des huiles essentielles du *Bubonium graveolens* forsk et *Anvillea radia* coss.
- Akkou N., 2014.** Etude de l'activité antioxydante, et des tests phytochimiques de la plante *Schinus-Molle*: application à l'inhibition de corrosion d'un l'acier au carbone dans Hcl 1M.p 61.
- Alilou H., Bencharki B., Hassani M I., Barka N., 2014.** Screening phytochimique et identification spectroscopique des flavonoïdes d'*Asteriscusgraveolens* subsp. *Odorus*. *Afrique Science* 10(3) 316–328.
- Ali-Rachedi F., Meraghni S., Touaibia N., Sabrina M., 2018.** Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea* sub. *Maritima* L.
- Alitonou G., Avlessi F., Bokossa I., Ahoussi E., Dangou J., Sohounhloué D C K., 2004.** Composition chimique et activités biologiques de l'huile essentielle de *Lantana camara* Linn. C. R. Chimie 7. 1101–1105.
- Assous M V., Guérineau A L B., Bourhy H., Dhote R., Paugam A., 1999.** Microbiologie et pathologie infectieuse P181 -182.
- Attou S., Bouzid F Z., 2016.** Etude Thermodynamique de L'efficacité inhibitrice de l'huile essentielle de plante *Schinus Molle* sur la corrosion de l'acier C38au carbone dans H2SO4.P41.

B

- Bammou M., Daoudi A., Slimani I., Najem M., Bouiamrine E H., Ibijbijen J., Nassiri L., 2015.** Valorisation du lentisque «*Pistacia lentiscus L.*»: Étude ethnobotanique, Screening phytochimique et pouvoir antibactérien. *Journal of Applied Biosciences* 86:7966– 7975. ISSN 1997–5902.
- Bangou M J., 2012.** Etude phytochimique et activités biologiques des tiges feuillées de *Lantana camara L.* et de *Lippia chevalieri Moldenke* : deux Verbenaceae du Burkina Faso, thèse de doctorat en biochimie et Chimie, université d’Ouagadougou- Burkina Faso, p199.
- Basli A., Chibane M., Madani K., Oukil N., 2011.** Activité antibactérienne des polyphénols extraits d’une plante médicinale de la flore d’Algérie : *Origanum glandulosum* Desf.
- Békro Y A, BÉKRO J A, Boua B, Fézan H, Ehouan E., 2007.** Étude ethnobotanique et screening phytochimique de *Caesalpinia benthamiana* (Baill.) Herend. et Zarucchi (Caesalpinaceae). *Sciences & Nature* Vol. 4 N°2 : 217 – 225.
- Belhamel K., Abderrahim A., Ludwig R., 2008.** Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Schinus molle L.* grown in Algeria *International Journal of Essential Oil Therapeutics* 2, 175-177.
- Benayad N., 2008.** Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées, laboratoire des substances naturelles et thermolyse éclair, département de chimie, faculté des sciences de rabat.
- Benbrinis S., 2012.** Evaluation des activités antioxydant et antibactérienne des extraits de *santolina chamaecyparissus*, thèse de magister en biochimie, université Ferhat Abbas-Sétif, p 84.
- Berkal G., & Bouchama S., 2016.** Etude phytochimique et activités biologiques d'une plante médicinale: *Euphorbia characias L.* Mémoire de Master en Biochimie Moléculaire et Santé. Université des Frères Mentouri. Constantine. 60 p.
- Bide A P., N’guessan B B., Yapo A F., N’uessan J D., Djaman A J., 2011.** Activités antioxydantes de dix plantes médicinales de la pharmacopée ivoirienne. *Sciences & Nature* Vol. 8 N°1: 1 – 11.

- Billerbeck V G., 2007.** Huiles essentielles et bactéries résistantes aux antibiotiques *Phytotherapie* 5: 249–253.
- Binachi., 2004.** Chemical composition and fungicidal activity of commercial essential oils of thymus vulgaris L. *J. Essent Oil Res* 16(1), p 69-70.
- Blemassoud R., 2013.** Mise en valeur les huiles essentielles du faux poivrier .P28.
- Boizot N., Charpentier J P., 2006.** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. INRA - Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières, Laboratoire d'Analyses Biochimiques. P 80.
- Bouaraba I., Hamaim E., 2017.** Evaluation de l'effet insecticide et fongicide des bioproduits
- Bouderhem A., 2014.** Effet des huiles essentielles de la plante *Laurus nobilis* sur l'aspect Toxicologique et morphométrique des larves des moustiques (*Culex pipiens* et *Culiseta longiareolata*).P19.
- Bouguerra A., 2011.** Etude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de *Foeniculum vulgare* Mill. En vue de son utilisation comme conservateur alimentaire. P 9.
- Bouguerra A., Himed L., Barkat M., 2014.** Etude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle extraite des écorces de citrus réticulât. Vol.03N°01 ,32-39
- Bouhdid S., Abrini J., Baudoux D., Manresa A., Zhiri A., 2012.** Les huiles essentielles de l'origan compact et de la cannelle de Ceylan : pouvoir antibactérien et mécanisme d'action. *J Pharm Clin ; 31 (3) : 141-8.*
- Boukhatem M N., Ferhat A., Kameli A., 2019.** Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : Revue de littérature P1656-1657.
- Bourkhiss B., Ouhssine M., Hnach M., Bourkhiss M., Satrani B., Farah A., 2007.** Composition chimique et bioactivité de l'huile essentielle des rameaux de *tetraclinis articulata* Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 146, 75-84.
- Bouyahya A., Bakri y., Et-Touys A., Khouchlaa A., Talbaoui A., Charfi S., Abrini J., Dakka N., 2017.** Resistance to Antibiotics and Mechanisms of Action of Essential Oils against Bacteria.P2-3. *Phytothérapie* DOI 10.1007/s10298-017-1118-z. © Lavoisier SAS.
- Brahmi F., 2017.** Approche du métabolisme secondaire des végétaux supérieurs.P 2-3.

Brigitte S., 2006. Biologie microbiologique : résumé de cours, exercices corrigées et commentés, Ellipses, France, p 362.

Bruneton J., 1993. Pharmacognosie: phytochimie, plantes médicinales .2 ième éd.Tec. Et Doc., Lavoisier, Paris, France.

Bruneton J., 2009. Pharmacognosies-phytochimie : plantes médicinales, TEC et DOC, France, 1269P.

Buronzio M., 2008. Grand guide des huiles essentielles : Santé, beauté, bien être. Hachette pratique. P14.

C

Callery E., 1998. Le grande livre herbes : guide pratique de la culture, du séchage et vertus de plus de 50 herbes. Konemann. P.6.32.

Carle S., 2009. La résistance aux antibiotiques : un enjeu de santé publique important. P7.

Chamek C., 2017. Contribution à l'étude ethnopharmacognosique des plantes médicinales utilisées pour le traitement des affections de l'appareil digestif en Kabylie P4.

Chang S T., Chen P F., Chang S C., 2001. Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from *Cinnamomwn osmophloeum*. *J. of Eihnopharmacology* , 77 ,123-127.

Chopinnet R., Grisuard P., Chouard P., Guillaumin A., Schneiter P., 1964. Le bon jardinier 2. La maison rustique (Ed), paris, 1663 P.

Croteau R., Kutchan T M., Lewis N G., Buchanan B., Gruissem W., Jones R., 2000. Natural Products (Secondary Metabolites). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*, Eds. American Society of Plant Physiologists.

D

Desmares C., Laurent A., Delerme C., 2008. Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles, Contribution pour l'évaluation de la sécurité des produits cosmétiques contenant des huiles essentielles

Deveci O., Sukan A., Tuzun N., Kocabas E H. 2010. Chemical composition, repellent and antimicrobial activity of *Schinus molle* L. *Journal of Medicinal Plants Research* Vol. 4(21), pp. 2211-2216.

Dewanto V X., Wu K., Adom K., 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50:3010–4

Deysson G., 1978. Organisation et classification des plantes vasculaires. Tomes II, (en deux parties), Soc. D'édi. Et d'Ens. Sup., Paris, 385 et 540 p.

Diene S M., 2016. Détermination de la sensibilité et de la résistances des bactéries aux agents antimicrobines.

Doat J., 1978. Les tanins dans les bois tropicaux, Racines aériennes de rizophora dans la mangrove de Rio san Jun. Venezuela. P39.

Dohou N., Yamni K., Tahrouch S., Hassani L M., Badoc A.,2003. Gmira N.,Screening phytochimique d'une endémique Ibéro-Marocaine, *Thymelaea Lythroides*. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 142, 61-78.

Dupont F., Guignard J L; 2007. Botanique : Systématique Moléculaire. 14ème Ed. Masson, Paris-France.

E

EL-Haoud H., Boufellous M., Berrani A., Tazougart H., Bengueddour R., 2018. Screening phytochimique d'un plante médicinale :*Mentha Spicata* L. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. P228. ISSN 2429-5396.

F

Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karray-Bouraoui N., Trabelsi N., Boulaaba M., Abdelly C., 2008. Phenolic composition of *Cynara Cardunculus* L. Organs, and their biological activities. *Compte Rendu de Biologie*. 331: 372-379.

Festy D., 2014. Huiles essentielles ; le guide visuel. P09. ISBN: 978-2-84899-679-0

G

- Ganière J P., Mangion C., Péridy M., 2004.** Détermination des Concentrations Minimales Inhibitrices et Bactéricides de la cefquinome, la marbofloxacin, la tylosine et la spiramycine en solution dans du lait vis-à-vis de bactéries isolées de mammites bovines. *Revue Méd Vét* , 155, 8-9, 411-416.
- Gayet., 2013.** Guide de poche de phytothérapie: Acné, Migraine, Ballonnements ... Soignez-Vous avec les plantes. Éditions Leduc.s.P13.
- Ghedira K., 2005.** Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie Numéro 4*: 162-169.
- Ghnimi W., 2015.** Etude phytochimique des extraits de deux Euphorbiacées: *Ricinus communis* et *Jatropha curcas*. Evaluation de leur propriété anti-oxydante et de leur action inhibitrice sur l'activité l'acétylcholinestérase. P49.
- Glenn, W. S., Runguphan, W., Connor S E O., 2013.** Recent progress in the metabolic engineering of alkaloids in plant systems, *Current Opinion in Biotechnology* 24: 354–365.
- Goossens H., Ferech M., Stichele V R., 2005.** Outpatient antibiotic use in Europe and association with resistance: across-national database study *Lancet* 365:579–87.
- Grosjean N., 2015.** Les huiles essentielles ; se soigner par l'aromathérapie. P23.
- Guenter., 1975.** The essential oils Vol II, III, IV, V, VI, and D. Van No strand Ed. Newyork USA
- Guignard J L., 2000.** Biochimie végétale DUNOD, paris, 274p.
- Guillaume V., 2014.** Diversité génétique des isolats de *Staphylococcus aureus* producteurs de toxine de Panton-Valentine isolés au CHU de Toulouse. Etude de 37 cas de patients à l'hôpital des enfants, Université Toulouse, 107p.

H

Haas J C., Veldkamp K E., Peschel A., Weerkamp F., Van Wamel W J P., Heezius E C J M., Poppelier M J J G., Van Kessel k PM ., Van Strijp AG J., 2004. Chemotaxis Inhibitory Protein of *Staphylococcus aureus*, a Bacterial Antiinflammatory Agent. 687-695.

Haddouchi F., Chaouche T M., Halla N., 2016. Phytochemical screening, antioxidant activities and hemolytic power of four Saharan plants from Algeria.P 3.

Hassaine S., 2017. Activité biologique de quelques plantes sur les ravageurs des denrées stockées. P11.

Hmiri S., Rahuti M., Habib Z., Satrani B., Ghanmi M., EL ajjour., 2011. Évaluation du potentiel antifongique des huiles essentielles de *Mentha Pulegium* et d'eucalyptus *Camaldulensis* la lutte biologique contre les champignons responsables de la détérioration des en conservation. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 80,p.824 – 836.

Hogan D, Kolter R.,2002. Why are bacteria referactory to antimicrobials. Current opinion in Microbiology 5: 272–4.

Hostettmann, K., Potterat, O., & Wolfender, J.-L. (1998). The potential of higher plants as a source of new drugs. CHIMIA International Journal for Chemistry, 52(1-2), 10-17.

I

Ibrahim B., Al-Naser., 2014. Analysis of fruits *Schinus molle* extractions and the efficacy in inhibition of growth the fungi in laboratory.

Iserin P., 2001. Larousse des plantes médicinales : Identification, préparation, soins. Ed. Larousse: 10p.225-226.

J

Jellouli K., Akhrif I., 2016. État et lieu des plantes aromatiques et médicinales chez les herboristes du Nord du Maroc et caracterisation du *Laurus nobilis*.P17.

Jøker D., Cruz N T., Morales M U., Rojas E., 2002. *Schinus molle*. Seed Leaflet. No.57

K

Kablan B J., Adiko M., Abrogoua D P., 2008. Evaluation in vitro de l'activité antimicrobienne de *Kalanchoe crenata* et de *Manotes longiflora* utilisées dans les ophtalmies en Côte d'Ivoire *Phytothérapie* 6: 282–288. DOI 10.1007/s10298-008-0332-0.

Kasimala MB., Kasimala BB., 2012. A review on Brazilian pepper plant: *Schinus molle*.

Kheyar N., Meridja D., Belhamel K., 2014. Etude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles d'*Inula viscosa*, *Salvia officinalis* et *Laurus nobilis* de la région de Bejaia .P18-19.

Khireddine H., 2013. Comprimés de poudre de dattes comme support universel des principes actifs de quelques plantes médicinales d'Algérie. P140.

Koul H., Khireddine A., 2019. Inventaire et caractérisation des plantes spontanées médicinales dans les régions de cherchell- wilaya de Tipaza.

L

Laghouiter O K., Gherib A., Laghouiter H., 2015. Etude de l'activité antioxydante des huiles essentielles de certaines menthes cultivées dans la région de Ghardaïa. *Revue ElWahat pour les Recherches et les Etudes*. Vol.8 n°1: 84 – 93. ISSN : 1112 -7163

Lahsissene H., Kahouadji A., Tijane M., Hseini S., 2009. Catalogue des plantes médicinales utilisées dans la région de zaer (Maroc occidental). *Revue de botanique*. Be ISSN0457-4184.

Lamarti A., Badoc A., Deffieux G., Carde J P., Bull. 1994. Biogénèse des monoterpènes : La chaîne isoprénique. *Soc. Pharm. Bordeaux*,133, 79 - 99

M

Mabika A B., Loumpangou N., Agnani H., Moutsamboté J M., Ouamba J M., 2013. Les plantes tinctoriales d'Afrique Centrale : enquête ethnobotanique et screening phytochimique. *Journal of Applied Biosciences* 67:5236 – 5251. ISSN 1997–5902.

Machado CD., Raman V., Rehman Ju., Maia B., Meneghetti E K., Almeida V P., Silva R Z., Farago P V., Khan I A., Budel J M., 2018. *Schinus molle*: anatomy of leaves and stems, chemical composition and insecticidal activities of volatile oil against bed bug (*Cimex lectularius*). *Revista Brasileira de Farmacognosia*. P1-2.

- Macheix J .J., 2013.** Les composés phénoliques des végétaux: quelles perspectives à la fin du XXème siècle?. P 373.
- Macheix J.J., Fleuriet A., Jay-Allemand C. 2005.** Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques, P 192.
- Maffei M., 1990.** Essential Oils from Schinus molle L. Berries and Leaves flavour and fragrance journal, Vol.5, 49-52.
- Mahmoudi S., Khali M., Mahmoudi N., 2013.** Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynara scolymus* L.). *Revue « Nature & Technologie ». B- Sciences Agronomiques et Biologiques, n° 09. P 35- 40.*
- Mainil J., Wilbaux M., Jacquemin E., Oswald E., Imberchts H., Van Bost S., 2001.** Les souches pathogènes d'Escherichia coli chez les chiens et les chats : Données bactériologiques et cliniques sur les souches nécrotoxigènes et sur celles positives pour des adhésines, 343-354 P.
- Makram S., Alaoui K., Benabboyha T., Faridi B., Cherrah Y., Zellou A., 2015.** Extraction et activité psychotrope de l'huile essentielle de la verveine odorante *Lippia citriodora* 13:163-167.
- Malioui M., Mahdid A., 2017.** Etude phytochimique et activités antioxydantes des extraits de *Schinus molle* 37-38p.
- Mann J., 1987.** Secondary metabolism. second édition, Clarendon press, Oxford, 374 p.
- Mehani M., Segni L., 2013.** Antimicrobial Effect of Essential Oil of Plant Schinus molle on Some Bacteria Pathogens
- Merghaen R., 2009.** Eléments biochimie végétale. 1^{ère} Edition. Bachaeddine Editions. Algérie. P 65
- Meyer A., Deiana J., Bernard A., 2008.** Cours de microbiologie générale avec problèmes et exercices corrigés, Doin, France, P429.
- Mezouar M., Lahfa F B., Abdelouahid D E., Adida H., Rahmoun N M., Boucherit-Otmani Z., 2014.** Activité antimicrobienne d'extraits d'écorce de racines de *Berberis vulgaris* Phytothérapie .12:380-385.

Mohammedi Z., 2013. Etude phytochimique et activités biologiques de quelques plantes médicinales de la région dans le Nord et Sud Ouest de l'Algérie. P28,170.

Morigane., 2007. Grimoire des Plantes. Pdf P.6-7.

Moutounet M., 1981. Dosages des polyphénols des mouts de raisin. P287. Laboratoire de Technologie Végétale Centre de Recherches de Toulouse Institut National de la Recherche Agronomique B.P. 12 - 31320 Castanet Tolosan (France).

Mpondo E., Dibong D S., Yemeda L C F., Priso R j., Ngoye A., 2012. Les plantes à phénols utilisées par les populations de la ville de Douala. Journal of Animal & Plant Sciences, Vol.15, Issue 1: 2083-2098. ISSN 2071-7024.

Muanda F N., 2012. Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques. Thèse de doctorat. P106

Muniz M N., 2006. Synthèse d'alcaloïdes biologiquement actifs : la (+)-anatoxine-a et la (±)-camptothécine. Thèse Doctorat. P 15.

N

N'guessan K., Kadja B., Zirihi N G., Traoré D., Aké-Ass L., 2009. Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Krobou (Agboville, Côte-d'Ivoire). Sciences & Nature Vol. 6 N°1 : 1 - 15.

Nabors M., 2009. Biologie végétale: structures, fonctionnement, écologie et biotechnologies. Pearson Education. Paris. P 153-155.

Nineza C., Nkengurutse J., 2018. Screening phytochimique des feuilles de *senecio hadiensis* Forssk. (Asteraceae) récoltées au Burundi. Annales des Sciences et des Sciences Appliquées, Vol 4(4/4, juillet 2018), 203-213.4.

O

Olafsson K., Jaroszewski JW., Smitt UW., Nyman U. 1997. Isolation of angiotensin converting enzyme (ACE) inhibiting triterpenes from *Schinus molle*. *Planta Med.* 63 : 352–355.

Ouafi N., Moghrani H., Maachi R., 2015. Influence du procédé de séchage des plantes aromatiques et médicinales sur le rendement en huile essentielle (cas de trois menthes).

Ouhererre A., Abidat R., 2018. Caractérisation et l'effet de l'époque de récolte sur la composition des huiles essentielles de *Schinus molle* L.P 9.

P

Pelt J M., 1980. Les drogues. Leur histoire, leurs effets, Ed. Doin.

Q

Quetin JL., 2002. Le voyage insolite de la plante au médicament. Journal de Pharmacie de Belgique. Vol 20.P11.

R

Raven PH., Evert F R., Eichhorn S E., 2007. Biologie végétale.3^{ème} Edition. De Boeck Supérieur. PP 18-30.

Rhattas M., Douira A., Zidane L., 2016. Étude ethnobotanique des plantes médicinales dans le Parc National de Talassemtane (Rif occidental du Maroc). Journal of Applied Biosciences 97:9187 – 9211. ISSN 1997–5902.

Rouibi A., Saidi F., Boutoumi H., 2010. Identification par CG/MS et Détermination des Effet Antimicrobiens des Huiles Essentielles du Faux Poivrier (*Schinus molle* L). ISSN – 2277 – 1247.

S

Salem Z M., Zayed Z M., Ali M H., Abd El-Kareem S M., 2016. Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of extracts from *Schinus molle* wood branch growing in Egypt. J Wood Sci .62:548–561.

Samate A D., 2002. Compositions chimiques d'huiles essentielles extraites de plantes aromatiques de la zone soudanienne du Burkina Faso : Valorisation P24-25.

Seladiji M., 2014. Etude phytochimique, activités antioxydantes et antimicrobiennes des extraits de cinq plantes médicinales et analyse de leurs huiles essentielles.

Sereme A., Rasolodimby M J., Guinko S., Nacro M., 2008. Propriétés thérapeutiques des plantes à tanins. Pharmacopée et Médecine traditionnelle Africaines ; 15 : 41 - 49

Sofowora A., 2010. Les plantes médicinales et médecine traditionnel d'Afrique 2ème Ed. Khartala .P 25.

Sophie A., Ehrhart N., 2003. La phytothérapie: Se soigner par les plantes. © Groupe Eyrolles, ISBN 2-7081-3531-7. P 25-26.

Strateva T., Yordanov D., 2009. Pseudomonas aeruginosa - phenomenon of bacterial resistance. Journal of Medical Microbiology. 58, 1133–1148.

Sur les bioagresseurs des cultures maraichères. p 61.

T

Tidjani S., 2016. Etude Phytochimique et Evaluation Biologique de L'espèce *Senecio de lphinifolius* Vahl. Thèse Doctorat. P 12.

U

Ultee A., Bennik M H J., Moezelaar R., 2002. The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology* ; 68 ; 1561-1568.

V

Vercauteren J., Plan Formules et illustrations du cours de Pharmacognosie - Formation Commune de Base. P 9.

W

Walter E., Jaeger P., Ortscheit A., 2016. Jardin botanique de saverne. P 18-20.

Y

Yakhlef G., 2010. Etude de l'activité biologique des extraits de feuilles de *Tymus vulgaris* L et *Laurus nobilis* L, thèse de magister en biochimie appliquée, université El Hadj Lakhdar-batna, P80.

Yala J F., Ntsameso mev-mba V., Issembe Y A., Lepengue N A., Souza A., 2016. Évaluation in vitro de l'activité antimicrobienne de l'extrait aqueux d'*Eryngium foetidum* récolté dans la ville de Franceville. *Journal of Applied Biosciences* 103:9886 – 9893.

Yvonne., Chadouli S M., 2012. Les plantes aromatiques et médicinales : Un exemple de développement humain au Maroc la coopérative féminine de Ben Karrich – Tétouan. P15.

Z

Zahed N., Hosni K., Ben Brahim N., Kallel M., Sebei H., 2010. Allelopathic effect of *Schinus molle* essential oils on wheat germination. *Acta Physiol Plant* .32:1221–1227

Réalisé par : Guerdouh Souad	Membre de jury : Président : M^{me} BenterroucheI Examineur : M^{me} Benabdekader M Encadreur : M^{me} Roula M
-------------------------------------	---

THEME : Etude phytochimique et activité antibactérienne de *Schinus molle* L.

Résumé

L'objectif de notre travail est l'étude phytochimique des extraits de la plante médicinale *S. molle* ainsi que l'évaluation de l'activité antibactérienne des HES de cette plante contre *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus*. Les Travaux antérieurs qui ont été réalisés donnent des résultats intéressants puisqu'ils montrent que cette espèce présente une richesse remarquable en métabolites secondaires polyphénols, flavonoïdes, tanins et les HES.

Les HES des différentes parties de *S. molle* ont montré une sensibilité aux différentes souches testées et une activité modérée des HES des feuilles de *S. molle* contre *Escherichia coli*. La souche *Pseudomonas aeruginosa* s'est avérée la plus résistante aux HES. De même, les HES des feuilles de *S. molle* se sont avérées les plus actives en particulier contre *Staphylococcus aureus*

Mots-clés : *S. molle*, activité antibactériennes, polyphénols, étude phytochimique, HES, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*

Summary

The objective of our work is the phytochemical study of extracts from the medicinal plant *S. molle* as well as the evaluation of the antibacterial activity of EOs of this plant against *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. Previous work that has been carried out gives interesting results since they show that this species has a remarkable richness in secondary metabolites polyphenols, flavonoids, tannins and EOs. The EOs of the different parts of *S. molle* showed sensitivity to the different strains tested and a moderate activity of the EOs of the leaves of *S. molle* against *Escherichia coli*. The *Pseudomonas aeruginosa* strain has been shown to be the most resistant to EOs. Likewise, the EOs of the leaves of *S. molle* were found to be the most active in particular against *Staphylococcus aureus*

Key words: *S. molle*, antibacterial activity, polyphenols, phytochemical study, EOs, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*

المخلص

الهدف من عملنا هو الدراسة الكيميائية النباتية لمستخلصات نبات الفلفل الكادب الطبي وكذلك تقييم النشاط المضاد للبكتيريا لهذا النبات ضد *Escherichia coli* *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus*. أعطنا العمل السابق الذي تم تنفيذه نتائج مثيرة للاهتمام حيث أظهرنا أن هذا النوع عديم النشاط ملحوظ في المستقبلات الثانوية مثل البولي فينول، الفلافونويد، العفص الزيت الأساسية. أظهر الزيت الأساسي أجزاء مختلفة من الفلفل الكادب حساسية للسلاطات المختلفة التي تم اختبارها ونشاط معتدل آمن الزيوت الأساسية لأوراق الفلفل الكادب ضد *Escherichia coli*. ثبت أن سلالة *Pseudomonas aeruginosa* هي الأكثر مقاومة للزيوت الأساسية وبالمثل، فإن الزيوت الأساسية لأوراق الفلفل الكادب الأكثر نشاطاً على وجه الخصوص ضد *Staphylococcus aureus*.

الكلمات المفتاحية

الفلفل الكادب، النشاط المضاد للبكتيريا، البولي فينول، دراسة الكيمياء النباتية، الزيوت العطرية، *Escherichia coli*، *Pseudomonas aeruginosa*، *Staphylococcus aureus*.