

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA

FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE  
LA NATURE ET DE LA VIE

N° : .....



DOMAINE : SCIENCES DE LA  
NATURE ET DE LA VIE  
FILIERE : BIOTECHNOLOGIE  
OPTION : Biotechnologie Végétale

## Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique

Par : HOUICHI Racha  
BEN SOUCHA Aya

Intitulé

**Evaluation de l'activité biologique des  
différents extraits d'une plante  
médicinale.**

***Salvia officinalis L.***

Soutenu devant le jury composé de :

BISKRI Mohammed	MAA Université de M'Sila	Président.
BELKASSAM Abdelouahab	MCA Université de M'Sila	Encadreur.
HADJI Abasse	MAA Université de M'Sila	Examineur.

**Année universitaire : 2024 /2025**

# TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	5
Liste des abréviations.....	9
Liste des tableaux.....	10
Liste des Figures .....	10
Introduction.....	1
<b>Première Partie: Etude bibliographique</b>	
<b>Chapitre 01 : Présentation de la plante</b>	
I. Les Plantes médicinales.....	5
I.1. Généralités sur les plantes médicinales .....	5
I.2. Importance des plantes médicinales .....	5
I.3 La Phytothérapie.....	6
<b>II. La Famille des lamiacées.....</b>	<b>6</b>
II.1. Généralités sur la famille.....	6
II .2. Importance économique et botanique .....	6
<b>III. Le Genre <i>Salvia</i>.....</b>	<b>7</b>
III.1. Présentation générale du genre .....	7
III.2. Usages traditionnels de certaines espèces du genre <i>Salvia</i> .....	7
IV.1. Définition et nomenclature .....	8
IV.2. Classification botanique de la plante <i>Salvia officinalis</i> (Quezel et santa, 1963).....	9
IV.3. Habitat et description botanique .....	9
IV.4. Période de cueillette.....	10
IV.5. Répartition géographique de la plante <i>Salvia officinalis</i> .....	10
<b>chapitre 02: Métabolisme secondaire</b>	
I. Généralité des métabolites secondaires .....	12
II. Classification des métabolites secondaires .....	12
II.1. Les composés aromatiques ou polyphénol.....	13
II. .1.1. Classification des polyphénols .....	13
A. Flavonoids.....	14
B. Non flavonoïdes .....	16
B.1. Les acides phénoliques.....	16
B.2.Tanins .....	17
B.3. La lignine.....	18
II.2. Les terpènes.....	18

II.2.1. Les huiles essentielles .....	19
II.3. Les alcaloïdes .....	20
<b>chapitre 03: Activité biologique</b>	
I. Généralité.....	23
<b>II. Activité antioxydant.....</b>	<b>23</b>
II.1 Stress oxydatif et radicaux libres .....	23
II.1.1. Stress oxydatif .....	23
II.1.2. Radicaux libres .....	24
A/ Principaux radicaux libres et leurs origines .....	24
B/ Rôles des radicaux libres.....	24
II.2. Types d'antioxydants .....	25
II.2.1. Antioxydants de synthèse.....	25
I.2.2. Antioxydants naturels .....	25
II.3. Quelques méthodes d'évaluation de l'activité antioxydant.....	25
II.3.1. Évaluation de l'activité de piégeage des radicaux libres par le test DPPH .....	25
II.3.2. Le test de réduction du fer (FRAP) .....	27
II.3.3 Test ABTS (acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)).....	27
III. Activité antibactérienne .....	28
III.1. Généralité.....	28
III.2. Description des bactéries étudiées .....	<b>28</b>
III.2.1. Bactéries à Gram positif.....	28
III.2.2. Bactéries à Gram négatif.....	30
<b>Partie 02 : partie expérimental</b>	
I. Matériel végétal .....	34
II. Caractérisation quantitative des extraits.....	34
II.1. Principe de la macération .....	34
II.2. Détermination du rendement d'extraction.....	38
III. Extraction de l'huile essentielle .....	38
III.1. Procédé d'extraction .....	38
III .2. Calcul du rendement .....	39
IV. Caractérisation qualitative des extraits .....	39
IV.1. Chromatographie sur couche mince (CCM).....	39
V.2. Evaluation de l'activité antibactérienne .....	42
I. Évaluation des techniques d'extraction .....	47
I.1. Rendement des extraits.....	47

I.2.Rendement en huiles essentielles de <i>Salvia officinalis</i> .....	48
II. Analyses qualitative des extraits .....	49
II.1. Chromatographique sur couche mince CCM .....	49
III. Résultats des tests biologiques .....	53
III.1. Activité antioxydant.....	53
III.2. Activité antibactérienne .....	57
III.2.1. Activité antibactérienne des polyphénols .....	57
Conclusion .....	67
Références bibliographiques :.....	69
Résumé.....	81
Abstract.....	81

## REMERCIEMENTS

الحمد لله الذي بفضله وتوفيقه تم إنجاز هذا العمل، وأسأله أن يجعله خالصاً لوجهه الكريم

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur éminent, le **Dr. Belkassam Abdelouahab**, qui a joué un rôle primordial dans mon orientation et mon accompagnement tout au long de la préparation de cette recherche. Ses conseils avisés et son encouragement constant ont eu un impact déterminant dans la réalisation de ce travail scientifique dans les meilleures conditions.

J'adresse également mes sincères remerciements au **Dr. Hadji Abasse**, examinateur respecté, pour l'honneur qu'il nous a fait en participant à l'évaluation de ce mémoire, ainsi que pour son attention rigoureuse et son engagement qui ont apporté une valeur scientifique importante à ce travail. Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance au **Dr. Biskri Mohammed**, président du jury, pour ses remarques constructives qui ont enrichi et amélioré la qualité de ce mémoire, contribuant ainsi à son excellence.

Je n'oublie pas de remercier chaleureusement le **Dr. Chettra**, chef de la spécialité Sciences de la Nature et de la Vie, pour son soutien continu et ses encouragements bienveillants, qui ont été une source de motivation essentielle dans mon parcours scientifique.

Mes remerciements s'adressent également à tout le personnel du laboratoire des Sciences de la Nature et de la Vie, en particulier à Monsieur **Kamal Seghiri**, chef des laboratoires, pour leur coopération précieuse et les facilités qu'ils ont généreusement mises à disposition, facilitant ainsi la réalisation de ce travail.

Enfin, j'exprime ma profonde gratitude à toutes les personnes qui m'ont apporté un soutien moral tout au long de cette aventure scientifique. Leur appui psychologique a été un pilier fondamental pour surmonter les difficultés et mener à bien cette recherche.

أرفع أسمي آيات الشكر والامتنان، وأسأل الله أن يجعل ذلك في ميزان حسناتهم.

## Dédicace

أهدي تخرجي هذا إلى الروح الطاهرة، أمي الغالية التي غادرتنا  
جسداً لكنها لم تغادر قلبي، ولا تزال دعواتها تضيء دربي وتمنحني  
القوة في كل لحظة من حياتي.  
إلى أبي الحبيب، سندي وقوتي، الذي كان لي الصدر الحنون والظهر  
المتين في كل محنة، وجودك بجانبني هو أعظم هدية وهبني الله إياها.  
إلى عائلتي العزيزة، أخواتي: أسماء، حنان، حبيبة، لبنى، وشفاء.  
وإخوتي: ضياء، مهدي، رابع، وعبد الرحمن، الذين كانوا لي السند والدعم في كل  
خطوة، وبدونهم لما وصلت إلى ما أنا عليه اليوم.  
وإلى أخوتي اللاتي لم تلهن أمي، ليندة وحيزية.  
إلى صديقاتي الرائعات اللاتي شاركنني أفراحي وأحزاني خلال  
مشواري الدراسي،  
وإلى رفيقات السكن سعدية ورائيا وزميلي في العمل اية ،  
اللاتي كنن لي عائلة ثانية، وكنن نوراً في أوقات الظلام.  
وأخيراً، إلى من وقف بجانبني في لحظاتي الضعيفة، ومن منحني القوة  
والشجاعة لأواصل، فأتم سبب هذا الإنجاز وبهجته،  
وأهديكم هذا النجاح كعربون امتنان وحب.

RACHA

## Dédicace

الحمد لله، بفضلته تتحقق كل الأمور الطيبة.  
أود أن أعبر عن خالص شكري وامتناني العميق لكل من  
كان دعماً ثميناً طوال مسيرتي الدراسية.  
أهدي هذا النجاح إلى والديّ الأعزاء،  
الذين كانوا دائماً مصدر حب ودعم وتشجيع.  
إلى أمي الحنونة التي لم تبخل عليّ بعطفها ورعايتها،  
وإلى والدي العزيز الذي غرس فيّ قيم العمل والمثابرة.  
وأشكر أيضاً إخواني وأخواتي الأعزاء الذين كانوا دائماً  
بجانبي يشجعونني ويدعمونني في كل مرحلة.  
لا أنسى أصدقائي الأعزاء الذين شاركوني اللحظات  
الصعبة والجميلة، وكانوا عوناً كبيراً لي.  
وأخيراً، أشكر كل من ساعدني ودعمني في إنجاز هذا العمل،  
سواء قريباً أو بعيداً. إلکم جميعاً أوجه خالص تقديري واحترامي.

Aya



## Liste des abréviations

**CCM** : Chromatographie sur couche mince.

**EAcOEt** : L'extrait d'acetate d'éthyle.

**EBrt** : L'extrait brut (hydro-méthanolique)

**En-BuOH** : L'extrait butanolique.

**BHT** : Butylhydroxytoluène.

**Me OH** : Methanol

**HE** : Huile essentiel.

**Rf** : Rapport frontal.

**UV** : Ultraviolet.

**R (%)** : Le rendement en %.

**DPPH** : 2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl.

**I (%)** : Pourcentage d'inhibition.

**IC50** : Concentration inhibitrice de 50 %.

**CMI** : Concentration minimale inhibitrice.

**DMSO** : Diméthylsulfoxyde.

**mg/ml** : Milligramme par millilitre.

**mm** : Millimètre.

**µl**: Microlitre.

**CHCl3** : Chloroforme.

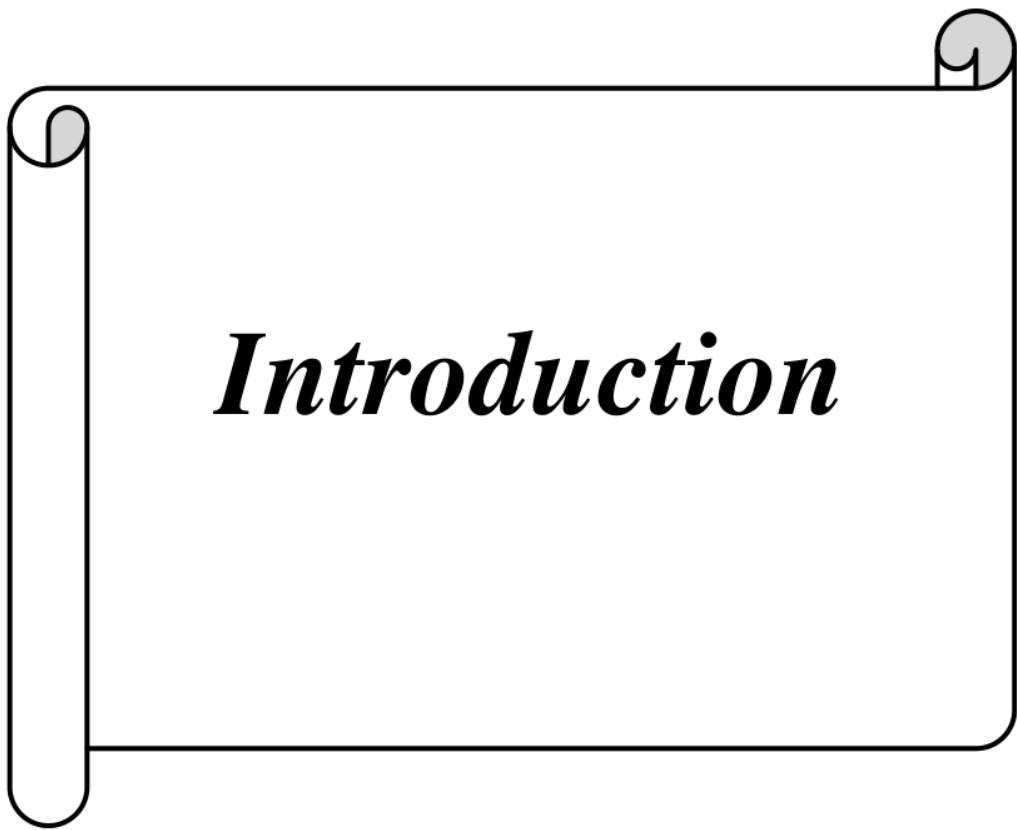
## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Principales classes de composés phénoliques .....	14
<b>Tableau 2:</b> Quelques classes des flavonoïdes .....	15
<b>Tableau 3:</b> Les différents systèmes solvants utilisés pour la CCM de gel de silice .....	40
<b>Tableau 4:</b> Les souches bactériennes utilisées .....	43
<b>Tableau 5:</b> La différence de concentration des extraits.....	43
<b>Tableau 6:</b> Résultats de chromatographie sur couche mince l'extrait brut de plante <i>Salvia officinalis</i> ..	50
<b>Tableau 7:</b> Résultats de chromatographie sur couche mince l'extrait d'acétate d'éthyle de <i>Salvia officinalis</i> .....	51
<b>Tableau 8:</b> Diamètre de zone d'inhibition de différents extraits de plante <i>Salvia officinalis</i> sur la croissance de Souche bactérienne Extraite Brt .....	57
<b>Tableau 9:</b> Diamètre de zone d'inhibition de différents extraits de plante <i>Salvia officinalis</i> sur la croissance de bactérienne Extraite AcOEt .....	58
<b>Tableau 10:</b> Diamètre de zone d'inhibition de différents extraits de plante <i>Salvia officinalis</i> sur la croissance de bactérienne Extrait BuOH.....	59
<b>Tableau 11:</b> : Diamètre de zone d'inhibition de différents extraits de plante <i>Salvia officinalis</i> sur la croissance de bactérienne Extrait Les HE .....	60

## Liste des Figures

<b>Figure 1:</b> <i>Salvia officinalis</i> .....	8
<b>Figure 2:</b> les fleurs de <i>Salvia officinalis</i> .....	9
<b>Figure 3:</b> Les feuilles de <i>Salvia officinalis</i> .....	9
<b>Figure 4:</b> Répartition géographique du genre <i>Salvia</i> dans le monde .....	10
<b>Figure 5:</b> Structure des composés phénoliques .....	13
<b>Figure 6:</b> structure des tanins.....	17
<b>Figure 7:</b> structure des lignines.....	18
<b>Figure 8:</b> les arrangements naturels les plus fréquents de l'unité isoprène (tête à queue et queue à queue). .....	19
<b>Figure 9:</b> structure des alcaloïdes .....	21
<b>Figure 10:</b> Structure du 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH). .....	25
<b>Figure 11:</b> Mécanisme de réaction.....	26

<b>Figure 12:</b> Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH .....	26
<b>Figure 13:</b> Principe réactionnel du test FRAP .....	27
<b>Figure 14:</b> Chemical reaction involved in the ABTS spectrophotometric test.....	28
<b>Figure 15:</b> L'espèce bactérienne <i>Staphylococcus aureus</i> .....	29
<b>Figure 16:</b> L'espèce bactérienne <i>Bacillus cereus</i> .....	30
<b>Figure 17:</b> L'espèce bactérienne <i>Escherichia coli</i> .....	30
<b>Figure 18:</b> L'espèce bactérienne <i>Salmonella</i> .....	31
<b>Figure 19:</b> Carte géographique de la station de récolte Batna, Algérie.....	34
<b>Figure 20 :</b> La filtration .....	35
<b>Figure 21:</b> Appareil du rotavapeur.....	35
<b>Figure 22:</b> Extraction liquide-liquide par D'acétate d'éthyle .....	36
<b>Figure 23:</b> Extraction liquide-liquide par N-butanol .....	36
<b>Figure 24:</b> Méthode d'extraction des flavonoïdes .....	37
<b>Figure 25:</b> Appareil de Clevenger. ....	38
<b>Figure 26:</b> Lampe Ultra-violet 254-365nm .....	40
<b>Figure 27 :</b> Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH .....	41
<b>Figure 28:</b> Microplate Reader.....	42
<b>Figure 29:</b> Rendement des différents extraits de l'espèce <i>Salvia officinalis</i> .....	47
<b>Figure 30:</b> Révélation de plaque CCM de gel de silice de E Brt, E AcOEt et EnBuOHde <i>Salvia officinalis</i> , sous lampeUV365 nm de S1, S5 S6. ....	49
<b>Figure 31 :</b> Courbe d'étalon d'activité antioxydant de l'extrait méthanolique brut de la plante <i>Salvia officinalis</i> .....	53
<b>Figure 32:</b> Courbe d'étalon d'activité antioxydant de l'extrait d'acétate d'éthyle de la plante <i>Salvia officinalis</i> .....	53
<b>Figure 33:</b> Courbe d'étalon d'activité antioxydant de l'extrait n- butanolique de la plante <i>Salvia officinalis</i> .....	54
<b>Figure 34:</b> Courbe d'étalon d'activité antioxydant de l'extrait Huile Essentielle de la plante <i>Salvia officinalis</i> .....	54
<b>Figure 35:</b> Courbe d'étalon d'activité antioxydant de l'extrait BHT de la plante <i>Salvia officinalis</i> .....	55
<b>Figure 36:</b> Représentation de l'Inhibition du radical DPPH par l'estimation des valeurs d'IC <sub>50</sub> des différents extraits de <i>Salvia officinalis</i> .....	55
<b>Figure 37 :</b> L'effet de l'extrait brut de la plante <i>Salvia officinalis</i> sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.....	62
<b>Figure 38:</b> L'effet de l'extrait Acétat de la plante <i>Salvia officinalis</i> sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.....	62
<b>Figure 39 :</b> L'effet de l'extrait brut de la plante <i>Salvia officinalis</i> sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.....	63
<b>Figure 40 :</b> L'effet de l'extrait. Les huiles essentielles de la plante <i>Salvia officinalis</i> sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.....	63
<b>Figure 41:</b> L'effet de l'extrait brut de feuille de la plante <i>Salvia officinalis</i> sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.....	64
<b>Figure 42:</b> L'effet de l'extrait Acétat de la plante <i>Salvia officinalis</i> sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.....	64
<b>Figure 43 :</b> L'effet de l'extrait Acétat de la plante <i>Salvia officinalis</i> sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.....	65



# *Introduction*

### Introduction

Depuis les temps anciens, les plantes ont constitué un élément fondamental du patrimoine naturel et culturel de l'humanité, jouant un rôle clé dans l'art de la guérison à travers diverses civilisations anciennes telles que celles de la Grèce, de Rome, de l'Inde, de la Chine et du monde arabe islamique. Elles ont été utilisées pour traiter de nombreuses maladies grâce à leurs propriétés médicinales naturelles (**Bousta & Enabili, 2011**). Avec l'avancée des sciences modernes, notamment la chimie et la physiologie, il est désormais possible d'identifier les composés actifs présents dans ces plantes, et de démontrer qu'elles possèdent des activités biologiques remarquables capables de traiter diverses pathologies et troubles fonctionnels (**Abdeli, 2017**).

Les plantes se distinguent par leur capacité à produire une vaste gamme de composés chimiques bioactifs, en particulier les métabolites secondaires, qui se trouvent dans différentes parties de la plante et sont responsables de ses effets thérapeutiques grâce à leurs diverses activités biologiques (**Macheix et al., 2005**). Parmi ces composés, on trouve les huiles essentielles, qui possèdent des propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales, en plus d'agir comme des antioxydants puissants, avec des effets cytotoxiques et anticancéreux (**Benabdellah et al., 2006**).

Malgré les progrès impressionnants réalisés dans les domaines de la biologie et de la médecine, des millions de personnes dans les pays en développement continuent de souffrir du manque d'accès à des soins de santé adéquats en raison de la fragilité de leurs systèmes économiques et de la faiblesse de leurs infrastructures sanitaires, rendant les ressources végétales un recours thérapeutique crucial et accessible (**Konda et al., 2011 ; Singh & Singh, 2012 ; OMS, 2013**). Cette situation a conduit à un intérêt croissant pour les composés actifs végétaux, en particulier ceux qui possèdent des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, comme alternatives naturelles et sûres aux traitements conventionnels.

Dans ce contexte, cette étude se concentre sur une plante médicinale, largement reconnue depuis les temps anciens, et réputée pour ses propriétés magiques et sa capacité à sauver des vies humaines, à savoir la sauge ou *Salvia*, une plante sacrée dans les cultures antiques. Il suffit de rappeler l'adage médiéval : « Pourquoi l'homme doit-il mourir alors que la sauge pousse dans son jardin ? » (**Iserin et al., 2001**).

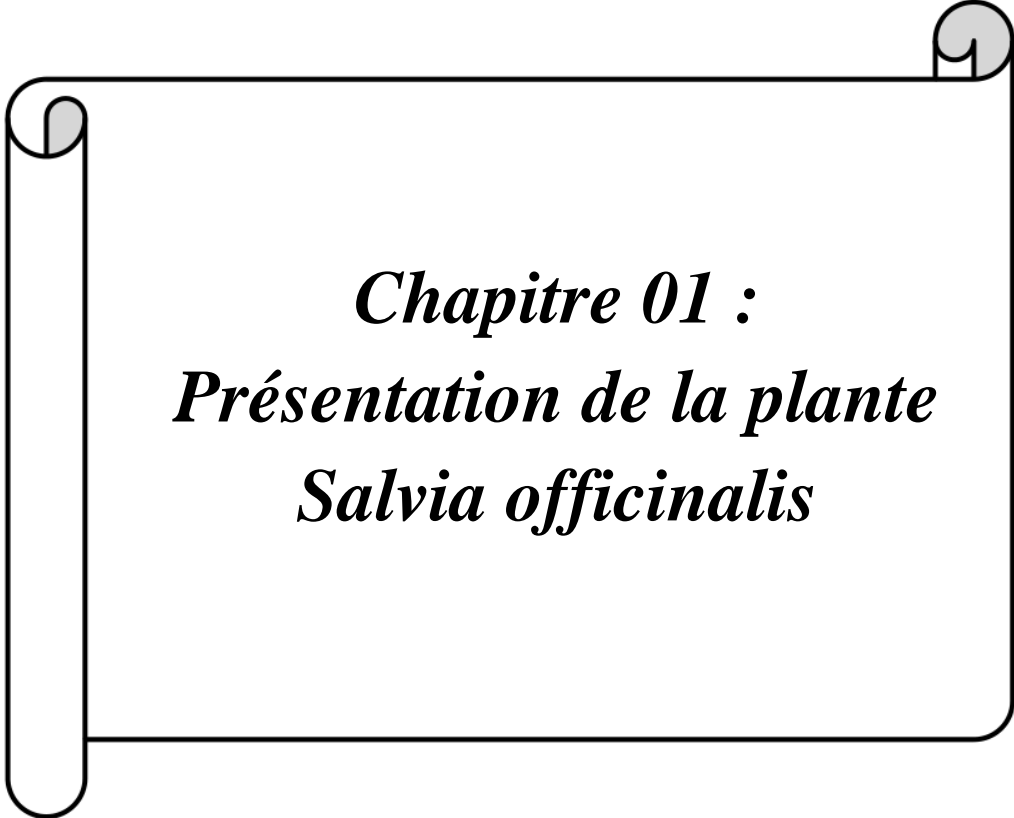
Le nom "*Salvia*" provient du mot latin *Salvare*, qui signifie "guérison", ce qui reflète la croyance populaire en ses vertus médicinales et justifie son importance dans la médecine traditionnelle à travers différentes cultures (**Bors et al., 2003**).

En se basant sur ce constat, cette thèse a pour objectif d'étudier les propriétés biologiques et chimiques de la sauge, d'analyser ses composés actifs, et de se concentrer sur son activité antioxydante et antibactérienne, dans le but de vérifier ses potentialités thérapeutiques et de les valoriser dans le cadre de la médecine naturelle contemporaine

- **La première partie** se compose de trois chapitres :
  1. Chapitre 1 : Étude complète de la plante étudiée *Salvia officinalis* (la sauge).
  2. Chapitre 2 : Description du métabolisme secondaire de la plante.
  3. Chapitre 3 : Activités biologiques associées à la plante, telles que l'activité antioxydante et l'activité antibactérienne.
- **La deuxième partie** est appliquée :
  1. Chapitre 1 : Présentation des matériaux et des méthodes utilisés dans l'étude.
  2. Chapitre 2 : Présentation des résultats obtenus et leur discussion.
- En conclusion, une **conclusion générale** sera présentée, résumant les principaux résultats obtenus.



***Première Partie:***  
***Etude bibliographique***



***Chapitre 01 :***  
***Présentation de la plante***  
***Salvia officinalis***

## I. Les Plantes médicinales

### I.1. Généralités sur les plantes médicinales

Depuis des millénaires, l'être humain recourt aux plantes pour traiter une grande diversité de troubles. Le règne végétal constitue une source majeure de médicaments, et malgré les avancées des systèmes de santé modernes, les plantes médicinales continuent de répondre à des besoins thérapeutiques importants. À ce jour, environ 35 000 espèces végétales sont utilisées à des fins médicinales à travers le monde, représentant ainsi l'une des plus vastes biodiversités exploitées par l'homme (**Farnsworth et al., 1986**).

On qualifie de plante médicinale toute espèce végétale renfermant un ou plusieurs composants actifs capables de prévenir, soulager ou traiter certaines pathologies (**Schauenberg et Paris, 2006**). Par ailleurs, les plantes utilisées en aromathérapie trouvent des applications variées, notamment en tant que médicaments, parfums, produits cosmétiques, ainsi que dans le domaine culinaire comme aromatisants.

### I.2. Importance des plantes médicinales

Les plantes médicinales représentent une ressource naturelle précieuse, riche en substances bioactives ayant des effets bénéfiques sur la santé humaine et animale. Depuis des siècles, elles constituent un pilier fondamental des systèmes de médecine traditionnelle et de phytothérapie, en raison de leurs propriétés thérapeutiques souvent supérieures à celles des médicaments chimiques modernes (**Iserin, 2001**).

Leur importance dans le domaine pharmaceutique réside dans leur capacité à être utilisées directement comme agents thérapeutiques, comme matières premières pour la fabrication de médicaments, ou encore comme modèles pour la conception de nouvelles molécules actives (**Decaux, 2002**).

Cette efficacité repose sur le fait que les principes actifs d'origine végétale résultent de processus biologiques naturels largement répandus dans le monde vivant, ce qui les rend plus compatibles avec l'organisme humain. À l'inverse, la majorité des médicaments de synthèse sont constitués de substances exogènes, souvent responsables d'effets secondaires difficiles à maîtriser (**Bruneton, 2009**).

### I.3 La Phytothérapie

Le terme "phytothérapie" provient de deux mots : "phyton", signifiant "plante", et "thérapeia", signifiant "traitement", ce qui fait référence à l'utilisation des plantes comme traitement. La phytothérapie désigne l'étude des plantes médicinales et l'utilisation de leurs propriétés curatives pour traiter ou prévenir les maladies. Cela se fait par l'emploi de préparations dites "galéniques" issues des plantes (Chamer, 2016).

## II. La Famille des lamiacées

### II.1. Généralités sur la famille

La famille des Lamiacées tire son nom du genre *Lamium*, connu sous le nom de "lamier". Elle était autrefois désignée sous le terme Labiées, dérivé du latin *labia*, signifiant "lèvres", en référence à la forme caractéristique de leurs fleurs, généralement bilabiées (Couplan, 2012). Il s'agit de l'une des familles les plus vastes et les plus distinctives du règne végétal, regroupant environ 258 genres et près de 6900 espèces réparties à travers le monde (Naghbi et al., 2005). Les Lamiacées revêtent une grande importance économique, car elles comprennent de nombreuses plantes à usages médicaux et culinaires, et sont largement utilisées dans les domaines de la médecine traditionnelle, de la gastronomie, de la pharmacie et de la parfumerie (Miller et al., 2006). Parmi les espèces les plus connues figurent l'hysope, la lavande, la mélisse et la sauge officinale *Salvia officinalis* (Dupont et Guignard, 2015).

### II.2. Importance économique et botanique

La famille des Lamiacées regroupe une grande variété de plantes, allant des arbustes aux herbes aromatiques, souvent odorantes, avec des tiges carrées. Ces plantes se caractérisent par des fleurs en inflorescences en cymes axillaires ou en épis, souvent à cinq pétales bilabiés, et produisent des fruits sous forme de 4 akènes. Cette famille revêt une importance particulière dans la flore de l'Algérie (Quezel et Santa, 1962).

Sur le plan économique, les Lamiacées sont essentielles pour leurs huiles essentielles, utilisées dans divers domaines tels que la parfumerie, la pharmacie, et la cuisine. Plusieurs genres comme *Mentha*, *Rosmarinus*, *Salvia* et *Thymus* sont particulièrement valorisés pour leurs propriétés médicinales et condimentaires. De plus, certaines espèces, comme celles du genre *Stachys*, produisent des tubercules

comestibles, tandis que *Tectona* fournit un bois d'œuvre précieux. En outre, cette famille abrite de nombreuses plantes ornementales, telles que *Ajuga*, *Callicarpa*, et *Salvia* (Judd et al., 2002).

### III. Le Genre *Salvia*

#### III.1. Présentation générale du genre

Le genre *Salvia* comprend des espèces annuelles, bisannuelles ou vivaces. Les tiges sont généralement quadrangulaires et inclinées, caractéristiques communes aux autres membres de la famille des Lamiacées.

Les feuilles sont généralement entières, bien que parfois dentées ou pennées. Les hampes florales portent de petites bractées inégales (Scully R., 2008).

Le genre *Salvia* est l'un des genres les plus importants de la famille des Lamiacées, comptant près de 900 espèces réparties à travers le monde. En Algérie, on recense 23 espèces du genre *Salvia* (Ghorbani et Esmailzadeh, 2017).

#### III.2. Usages traditionnels de certaines espèces du genre *Salvia*

La sauge officinale est l'une des plantes médicinales les plus réputées et les plus utilisées dans la médecine traditionnelle, en raison de ses nombreuses propriétés thérapeutiques. Elle est traditionnellement utilisée comme tonique naturel, en particulier chez les personnes souffrant d'anémie. Elle est également recommandée pour les individus stressés ou déprimés, et souvent conseillée aux étudiants en période d'examens pour améliorer la concentration et la mémoire (Djerroumi et Nacef, 2004).

Sur le plan local, la sauge est utilisée en bain de bouche pour soulager les inflammations buccales, traiter les abcès, et favoriser la cicatrisation des plaies. Les infusions de sauge sont aussi employées pour apaiser divers troubles digestifs, circulatoires et nerveux (Radulescu et al., 2004).

En cuisine, cette herbe aromatique est appréciée pour sa saveur camphrée intense et légèrement amère, qui rehausse la qualité gustative de nombreux plats (Duling, 2007).

Le thé à base de sauge est également utilisé traditionnellement pour traiter une grande variété de troubles, notamment ceux du système digestif et circulatoire, la bronchite, la toux, l'asthme, l'angine de poitrine, ainsi que les inflammations de la bouche et de la gorge. Il est aussi employé contre la dépression, l'hyperhidrose, les affections cutanées et bien d'autres pathologies.

Par conséquent, *Salvia officinalis* est reconnue pour ses bienfaits dans le traitement de maladies liées aux systèmes nerveux, circulatoire, respiratoire, digestif, métabolique et endocrinien. De plus, son huile

essentielle possède des propriétés antispasmodiques, carminatives, antiseptiques et astringentes (Hamidpour et al., 2014).

## IV. L'espèce *Salvia officinalis*

### IV.1. Définition et nomenclature

Le mot *Salvia* provient du latin *salvare*, signifiant "sauver" ou "guérir", soulignant ainsi les propriétés médicinales attribuées à cette plante depuis l'Antiquité (Quézel & Santa, 1963). *Salvia officinalis* appartient à la famille des Lamiacées ; il s'agit d'une plante aromatique sacrée, annuelle ou bisannuelle, particulièrement répandue dans les régions à climat méditerranéen (Djerroumi & Nacef, 2004).

Le genre *Salvia* regroupe environ 900 espèces dans le monde, dont près de 30 sont recensées en Algérie (Maksimovic et al., 2007).

- ❖ **Nom scientifique** : *Salvia officinalis* L. (Figure 01)
- ❖ **Noms Communs** : Herbe sacrée, thé de Grèce, herbe sage (Fabre et al, 1992)
- ❖ **Nom Français** : Grande sauge, thé d'Europe, herbe sacrée (Zerrouki, 2017).
- ❖ **Nom Anglais** : Sage, great sage, garden sage (Zerrouki, 2017).
- ❖ **Nom Arabe** : Salma (Beloued., 2014), Souak en nebi, salmia et maramia (Baba Aissa., 2000).



Figure 1: *Salvia officinalis*

## IV.2. Classification botanique de la plante *Salvia officinalis* (Quezel et santa, 1963)

• Règne	Plantae
• Embranchement	Spermaphyte
• Sous – Embranchement	Angiospermes
• Classe	Dicotylédone
• Sous-classe	Gamopétale
• Ordre	Lamiales
• Famille	Lamiaceae
• Genre	<i>Salvia</i>
• Espèce	<i>Salvia officinalis</i> L.

## IV.3. Habitat et description botanique

Cette plante très ramifiée peut atteindre une hauteur de 50 à 80 cm, avec une tige carrée typique des Lamiacées, lignifiée à la base. Ses feuilles sont opposées, oblongues, veloutées, rugueuses au toucher, avec des bords finement denticulés et des nervures saillantes sur la face inférieure. Leur couleur est un vert pâle légèrement grisâtre.

Ses jolies fleurs, de couleur bleu-violet à rose, apparaissent en épis vers le mois de mai et restent ouvertes pendant tout l'été. Les fruits sont des tétrakènes.

Elle préfère les endroits ensoleillés et secs, avec des sols calcaires, caillouteux et bien aérés, et pousse généralement à une altitude inférieure à 800 mètres.



**Figure 3:** Les feuilles de *Salvia officinalis*



**Figure 2:** les fleurs de *Salvia officinalis*

#### IV.4. Période de cueillette

Les feuilles peuvent être récoltées tout au long de l'année, mais le moment idéal est au printemps, juste avant la floraison. Il est important de les faire sécher lentement pour préserver leur arôme unique.

#### IV.5. Répartition géographique de la plante *Salvia officinalis*

Le genre *Salvia* représente l'un des genres botaniques les plus vastes et les plus diversifiés, avec près de 1000 espèces réparties dans différentes régions du monde. On distingue trois grands centres de répartition : l'Amérique centrale et du Sud (environ 500 espèces), l'Asie centrale et le bassin méditerranéen (environ 250 espèces), ainsi que l'Asie de l'Est (près de 90 espèces) et l'Afrique du Sud (environ 30 espèces) (Walker et al., 2004).

Concernant *Salvia officinalis*, elle pousse spontanément dans plusieurs régions du bassin méditerranéen, s'étendant de l'Espagne à la Turquie. Elle est également largement cultivée en Afrique du Nord, notamment en Algérie, où elle constitue une plante médicinale et aromatique d'une grande importance, exploitée dans divers domaines traditionnels et industriels (Baba, 2000 ; Alloun, 2013).

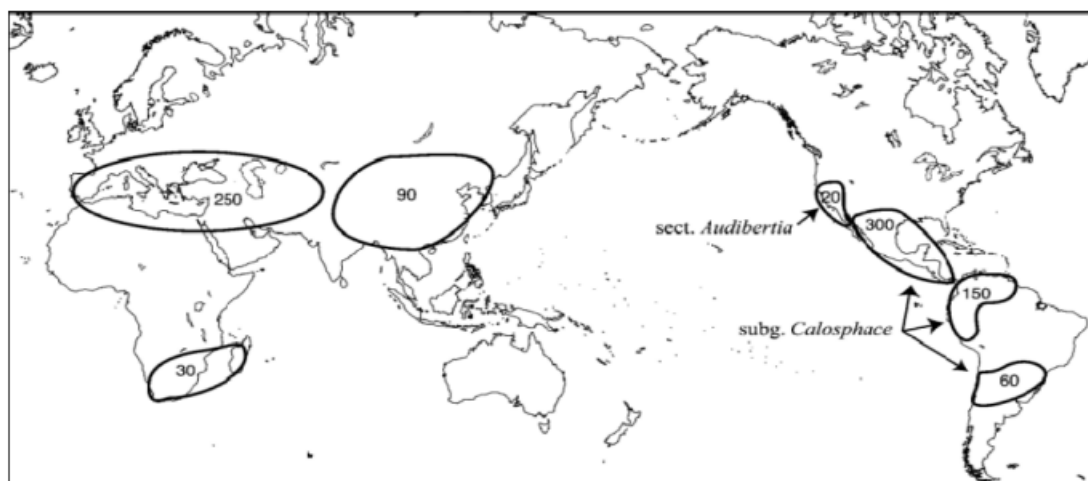


Figure 4: Répartition géographique du genre *Salvia* dans le monde (Walker et al., 2004)



**Chapitre 02 :**  
**Métabolisme secondaire**

### I. Généralité des métabolites secondaires

Les plantes se distinguent par leur capacité unique à produire une large gamme de composés naturels, qui ne se limitent pas uniquement aux métabolites primaires (tels que les sucres, les protéines, les lipides et les acides nucléiques), mais incluent également une variété de composés appelés « métabolites secondaires ». Bien que les fonctions physiologiques de ces composés secondaires ne soient pas toujours clairement établies, ils jouent un rôle crucial dans l'adaptation des plantes à leur environnement. De plus, ils constituent une source précieuse de substances utilisées dans divers domaines au service de l'homme, notamment dans l'industrie pharmaceutique. (**Attou, 2011 ; Benayache, 2013**).

Ces composés appartiennent à plusieurs familles chimiques, telles que les alcaloïdes, les terpènes et les composés phénoliques, et leur distribution varie selon les espèces végétales. Bien qu'ils ne soient pas indispensables à la survie immédiate de la plante, ils remplissent des fonctions majeures dans les interactions avec les facteurs environnementaux, comme la défense contre les prédateurs et les agents pathogènes, la régulation des interactions symbiotiques, ou encore l'attraction des agents de pollinisation et de dispersion des graines (**Attou, 2011 ; Benayache, 2013**).

Certains chercheurs (**Goyal et al., 2011**) définissent les métabolites secondaires comme des molécules qui ne sont pas nécessaires à la croissance normale de la plante, ou qui ne revêtent d'importance que dans certaines conditions environnementales, contrairement aux composés primaires impliqués directement dans les fonctions vitales. D'autres auteurs (**Bourgaud et al., 2001**) soulignent que ces composés jouent un rôle essentiel dans l'adaptation de la plante à son environnement, tout en constituant une source importante pour le développement de médicaments efficaces utilisés dans le traitement de nombreuses maladies.

### II. Classification des métabolites secondaires

On estime actuellement que le nombre de métabolites secondaires identifiés dépasse les 100 000 composés. Ces substances peuvent être classées, de manière générale, en trois grandes catégories :

**Les composés aromatiques ou polyphénols**, incluant les acides phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanines, les tanins, ainsi que les quinones.

**Les terpénoïdes et leurs dérivés.**

**Les alcaloïdes (Merghem, 2009)**

## II.1. Les composés aromatiques ou polyphénol

Les polyphénols sont des composés issus du métabolisme secondaire des plantes, Synthétisés par l'ensemble des espèces végétales. Ils se caractérisent par la présence d'au moins un noyau aromatique de type benzénique portant un ou plusieurs groupements hydroxyles, libres ou engagés dans des fonctions chimiques telles que les éthers, esters ou hétérosides (Bruneton, 1999). Ces substances jouent un rôle fondamental dans les mécanismes de défense des végétaux face à différents stress environnementaux, qu'ils soient d'origine biotique, comme les agents pathogènes, ou abiotique, tels que les rayonnements ultraviolets

La composition qualitative et quantitative des polyphénols varie considérablement selon l'espèce, l'organe, le tissu ou encore le stade de développement de la plante, ce qui témoigne de leur diversité structurale et fonctionnelle (Kuhnau, 1976).

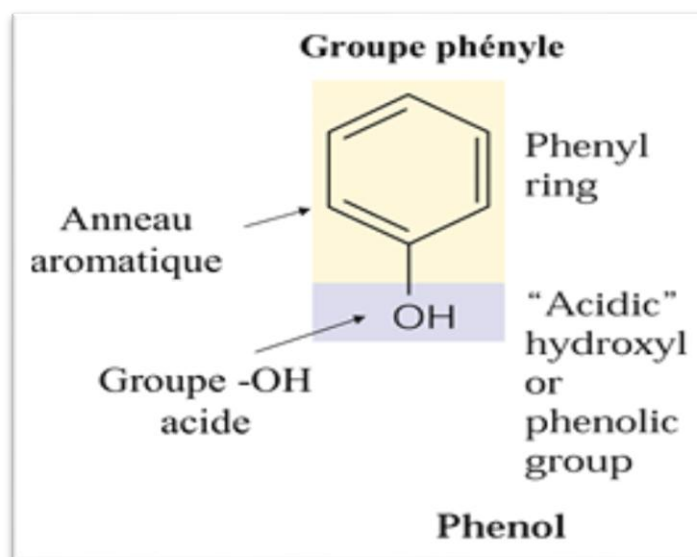


Figure 5: Structure des composés phénoliques (BUACHANAN, 2006)

### II. .1.1. Classification des polyphénols

Les polyphénols constituent un groupe vaste et diversifié de composés chimiques. Ils peuvent être classés en fonction du nombre d'atomes de carbone, comme indiqué dans le tableau 1. Ces molécules se trouvent fréquemment dans la nature sous forme conjuguée avec des sucres ou des acides organiques.

Tableau 1: Principales classes de composés phénoliques (Macheix, 1996).

Nombre d'atomes de carbone	Squelette de base	Classe	Exemple	Plante alimentaire (Exemple)
6	C6	Phénols simples	Catéchol	
7	C6-C1	A. Hydroxybenzoïques	p-Hydroxybenzoïque	Epices, fraise
9	C6-C3	A. Hydroxycinnamiques	Acide Caféique	Pomme, P. de terre. Citrus
10	C6-C4	Coumarines Naphthoquinones	Scopoline Juglone	Noix
13	C6-C1-C6	Xanthones	Mangiférine	Mangue
15	C6-C3-C6	Flavonoïdes	Quercétol, cyanidol	Fruits, légumes. Soja, pois.
N	(C6-C3) <sub>n</sub>	Isoflavonoïdes Lignines	Daidzéine	Fruits à noyau
N	(C15) <sub>n</sub>	Tanins		Raisin rouge, Kaki

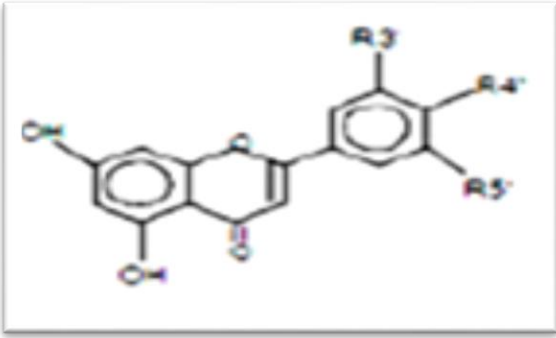
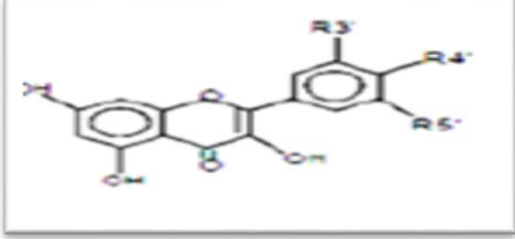
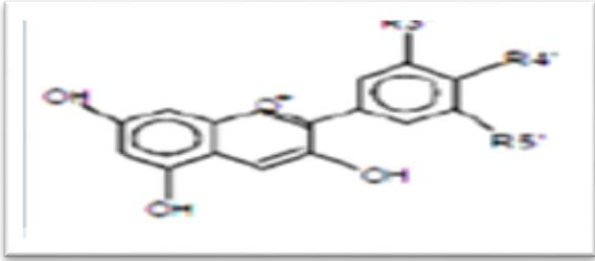
## A. Flavonoïdes

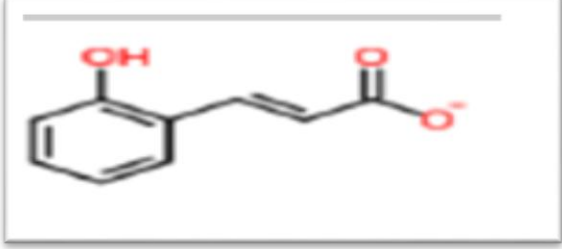
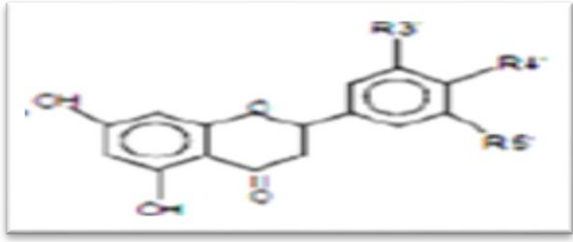
Les flavonoïdes constituent un sous-groupe majeur des polyphénols, largement répandus dans les fruits, les légumes ainsi que dans de nombreuses espèces végétales. Ces composés, reconnaissables par leur pigmentation souvent jaune, ont suscité un intérêt croissant depuis l'isolement du chrysin en 1814, considéré comme le premier flavonoïde identifié. À ce jour, plus de 4000 flavonoïdes ont été extraits et caractérisés, avec de nombreux autres encore à découvrir (Du et al., 2012).

Chimiquement, les flavonoïdes sont des molécules de faible masse moléculaire, comprenant 15 atomes de carbone agencés selon une structure C6-C3-C6. Cette configuration repose sur deux cycles aromatiques, notés A et B, reliés par une chaîne de trois atomes de carbone formant généralement un noyau hétérocyclique central désigné C. Le cycle A résulte de la voie biosynthétique acétate/malonate, tandis que le cycle B est issu de la phénylalanine via la voie du shikimate (**Balasundram et al., 2006**).

Par ailleurs, les flavonoïdes jouent un rôle reconnu dans la modulation de la perméabilité capillaire et le renforcement de la résistance vasculaire, des effets qui témoignent de leur potentiel bénéfique dans le maintien de l'intégrité des vaisseaux sanguins.

**Tableau 2:** Quelques classes des flavonoïdes (**Narayana et al., 2001**)

Groupe de Flavonoïde	Structure	Caractéristiques
Les flavones		Le groupe le plus abondant des composés phénoliques. Ils se différencient des flavonols seulement par le manque d'un OH libre en C3. Ce qui affecte ainsi leur absorption aux UV, mobilité chromatographique et les réactions de coloration
Les flavonols		Le groupe le plus abondant des composés phénoliques.
Les anthocyanines		Représentent le groupe le plus important des substances colorées. Ces pigments hydrolysables contribuent à la coloration des angiospermes.

Les hydroxycinnamates		Sont des puissants antioxydants, mais n'ont pas d'impact sensoriel sauf lorsque oxydés, ils peuvent former des pigments bruns qui ont finalement précipité.
Les flavanones		Sont caractérisés par l'absence de la double liaison C2 C3. Le flavanone le plus abondant est la naringénine, isolée pour la première fois à partir des écorces de citrus.

### B. Non flavonoïdes

#### B.1. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des composés secondaires d'origine végétale caractérisés par la présence d'une fonction acide et de plusieurs groupes phénoliques. Ils sont généralement incolores et relativement rares dans certaines sources naturelles (**Haslam, 1994**). Toutefois, ils sont largement présents dans de nombreux aliments, où ils jouent un rôle important en tant qu'antioxydants naturels (**Pandey, 2009 ; Calatayud et al., 2013**)

Ces composés se répartissent en deux grandes classes selon leur structure carbonée :

1. **Les acides hydroxybenzoïques (C6-C1)** : Dérivés hydroxylés de l'acide benzoïque, ils peuvent exister sous forme libre ou liés sous forme d'esters ou de glycosides. Parmi les exemples courants figurent : l'acide benzoïque, l'acide p-hydroxybenzoïque, l'acide salicylique, l'acide vanillique et l'acide gallique.
2. **Les acides hydroxycinnamiques (C6-C3)** : Dérivés de l'acide cinnamique, ils sont plus fréquemment rencontrés que les hydroxybenzoïques. Les principaux représentants de cette classe incluent : l'acide caféique, l'acide p-coumarique, l'acide férulique et l'acide sinapique. D'autres composés, comme l'acide o-coumarique, sont plus rares (**Bruneton, 2009 ; Pandey et Rizvi, 2009**).

Ces composés jouent divers rôles biologiques dans les plantes et présentent un intérêt particulier pour la santé humaine grâce à leurs nombreuses propriétés bioactives.

### B.2. Tanins

Les tanins représentent la deuxième classe de polyphénols la plus abondante dans le règne végétal après la lignine. Ils jouent un rôle fondamental dans les mécanismes de défense des plantes, en contribuant à leur protection contre divers stress abiotiques — tels que la sécheresse, les températures élevées et les rayonnements ultraviolets — ainsi que contre les agressions biotiques, notamment les insectes et les champignons.

Sur le plan structural et biosynthétique, les tanins sont généralement regroupés en deux grandes catégories : les tanins hydrolysables, produits exclusivement par les angiospermes, et les tanins condensés, également appelés proanthocyanidines, que l'on retrouve tant chez les gymnospermes que chez les angiospermes (Suseela V, 2019).

Les tanins condensés sont constitués de structures polyphénoliques complexes issues de l'association d'unités de polyhydroxyflavan-3-ol, reliées entre elles principalement par des liaisons carbone-carbone entre les positions C-4 et C-8, et plus rarement entre C-4 et C-6. En revanche, les tanins hydrolysables sont formés par l'association d'un sucre central — le plus souvent du D-glucose ou un polyol analogue — avec des acides phénoliques.

Présents en quantités notables dans diverses parties des plantes (Kögel-Knabner et al., 2013), les tanins forment un groupe de macromolécules hétérogènes, classées principalement en gallotannins et ellagitannins. Sur le plan biosynthétique, ces composés phénoliques, qu'ils soient primaires ou secondaires, sont produits par la voie de l'acide shikimique, également connue sous le nom de voie des phénylpropanoïdes. Ce même itinéraire métabolique est également impliqué dans la synthèse d'autres composés phénoliques tels que les isoflavones, les coumarines et la lignine.

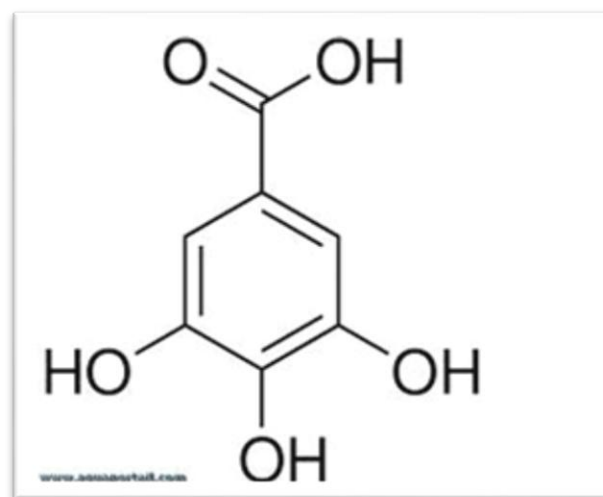


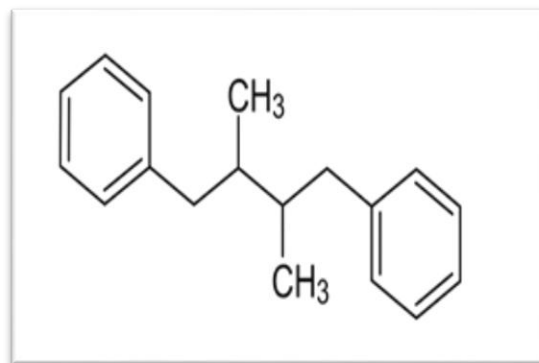
Figure 6: structure des tanins

### B.3. La lignine

La lignine est l'un des biopolymères d'origine naturelle les plus répandus dans la biosphère. Elle représente entre 15 et 40 % de la matière sèche des arbres et de 5 à 20 % des tiges des plantes annuelles. Elle est également considérée comme le polymère aromatique naturel le plus commun (**Privas, 2013**).

Son apparition est liée à la nécessité pour les plantes de renforcer leurs parois cellulaires face aux effets de la gravité (**Cruz et al., 2001**).

Au cours de l'évolution végétale, la lignine a joué un rôle crucial. Elle agit comme une barrière physique, conférant une rigidité supplémentaire, un goût peu appétissant, et réduisant la digestibilité des sucres contenus dans la paroi cellulaire. Ainsi, elle participe à la défense des plantes contre les micro-organismes pathogènes et les herbivores. La lignification constitue d'ailleurs une réponse fréquente face aux agressions telles que les infections ou les blessures (**Murry et al., 1982**).



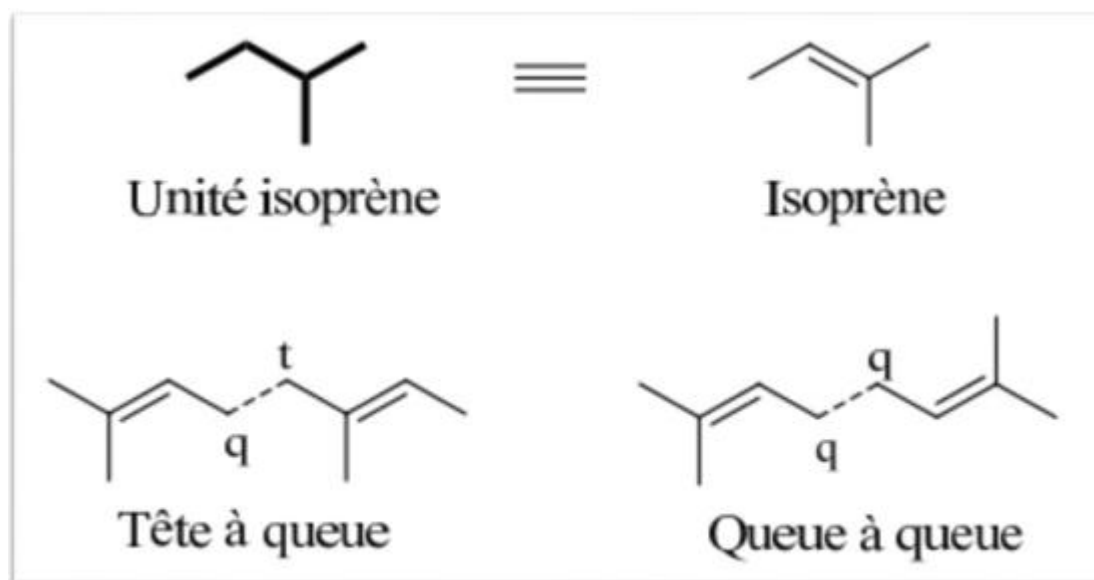
**Figure 7:** structure des lignines

### II.2. Les terpènes

Les terpènes, également appelés terpénoïdes, constituent l'un des groupes les plus importants de métabolites secondaires naturels. Ce sont des hydrocarbures à structure cyclique ou à chaîne ouverte (**Hellal, 2011 ; Malecky, 2008**). Ils sont formés à partir d'unités de base appelées isoprènes ( $C_5H_8$ ), qui constituent la base de leur classification (**Lima et al., 2016**).

Selon le nombre d'unités d'isoprène qu'ils contiennent, les terpènes peuvent être classés comme suit : hémiterpènes ( $C_5$ ), monoterpènes ( $C_{10}$ ), sesquiterpènes ( $C_{15}$ ), diterpènes ( $C_{20}$ ), sesterpènes ( $C_{25}$ ), triterpènes ( $C_{30}$ ), tétraterpènes ( $C_{40}$ ), et polyterpènes (plus de  $C_{40}$ ) (**Guignard, 1996 ; Singh & Sharma, 2014**).

Ces composés sont majoritairement extraits d'organismes vivants, en particulier des plantes, et jouent des rôles biologiques et fonctionnels variés, ce qui en fait des sujets d'intérêt majeur dans les domaines de la biochimie et de la biologie végétale.



**Figure 8:** les arrangements naturels les plus fréquents de l'unité isoprène (tête à queue et queue à queue).

### II.2.1. Les huiles essentielles

#### Définition

Les huiles essentielles, parfois appelées « essences végétales », sont des composés aromatiques volatils stockés dans diverses parties des plantes, notamment les graines, les bourgeons, les fleurs, les brindilles, les écorces, le bois, les racines, les tiges et les fruits. Elles peuvent également être extraites des gommés résineuses s'écoulant des troncs d'arbres (**Burt, 2004**).

Elles sont obtenues à partir de matières végétales botaniquement définies, par des procédés tels que la distillation à la vapeur d'eau, la distillation sèche ou encore des méthodes mécaniques sans chauffage (**Pengelly, 2003**).

Les huiles essentielles présentent une composition chimique complexe, généralement constituée d'un mélange de terpènes, d'alcools, d'aldéhydes, de cétones et d'esters (**Padrini et Lucheroni, 1997**). Dotées de propriétés spécifiques et de modes d'utilisation particuliers, elles ont donné naissance à une nouvelle branche de la phytothérapie : l'aromathérapie (**El Haib, 2011**).

- **Répartition et localisation de l'huile essentielle**

Les huiles essentielles sont synthétisées par des cellules spécialisées des plantes et peuvent être localisées dans l'ensemble des organes végétatifs et reproducteurs, tels que les feuilles, les fleurs, les fruits, les tiges, les racines ou encore l'écorce.

- **Rôle et propriété des huiles essentielles**

Le rôle écologique des huiles essentielles (HEs) est bien établi, notamment à travers leurs propriétés olfactives qui interviennent dans le processus de pollinisation. Elles agissent en tant qu'agents attractifs ou répulsifs, influençant ainsi le comportement des prédateurs tels que les herbivores et certains insectes. Grâce aux composés toxiques ou peu appétents qu'elles renferment, ces huiles peuvent perturber le système masticateur des agresseurs, contribuant ainsi à la défense naturelle des plantes (**Ouis, 2015**).

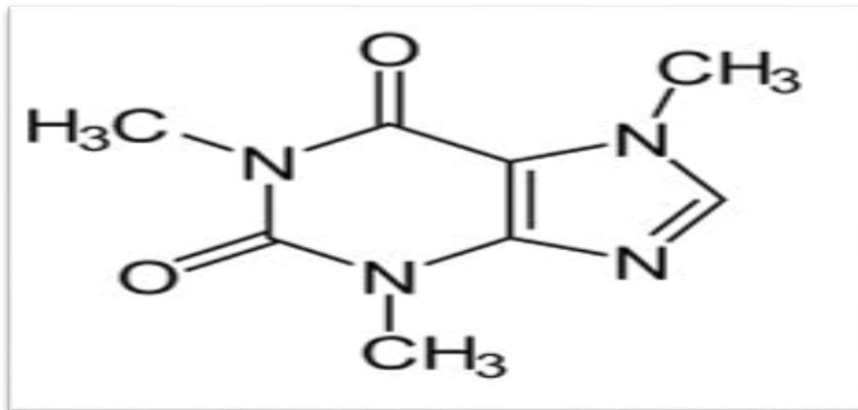
### II.3. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes représentent un groupe de composés naturels azotés largement répandus dans le règne végétal. Ils se caractérisent par une faible masse moléculaire et une structure chimique souvent complexe. Principalement dérivés d'acides aminés, ils ont été identifiés dans environ 20 % des espèces végétales (**Roberts, 2013**). Ces composés peuvent être présents dans tous les organes de la plante, bien qu'ils se rencontrent rarement à l'état libre ; ils sont le plus souvent associés à des acides organiques ou à des tanins (**Ziegler & Facchini, 2008**).

Sur le plan structural, les alcaloïdes sont classés selon le type de système cyclique qu'ils contiennent. Parmi les structures les plus courantes figurent les systèmes indolizidine, quinolizidine, quinoléine, quinazoline et acridones, qui ont été largement étudiés (**Herbert, 2003**). En fonction de leur origine biosynthétique et de la présence ou non d'un atome d'azote dans un hétérocycle, les alcaloïdes peuvent être regroupés en trois grandes catégories (**Merghem, 2009**) :

1. **Les alcaloïdes vrais** : dérivés directement d'acides aminés, ils contiennent un atome d'azote dans un système hétérocyclique. Ils présentent une structure souvent complexe, un caractère basique, et une activité pharmacologique significative, même à faibles doses.
2. **Les proto-alcaloïdes** : ce sont des amines simples dont l'azote n'est pas inclus dans un cycle, mais dont la biosynthèse implique des acides aminés.
3. **Les pseudo-alcaloïdes** : ils ne dérivent pas directement d'acides aminés, et l'atome d'azote est incorporé dans la structure finale, sans être présent dans un cycle.

Cette diversité structurale et fonctionnelle des alcaloïdes constitue un fondement essentiel pour la compréhension de leurs propriétés biochimiques et de leurs effets biologiques, ce qui en fait des composés d'un grand intérêt en pharmacologie et en biochimie



**Figure 9:** structure des alcaloïdes



**Chapiter 03:**  
**Activité biologique**

## I. Généralité

Les plantes médicinales renferment souvent un ou plusieurs principes actifs ayant la capacité de prévenir, soulager ou guérir diverses affections. Plusieurs recherches ont démontré que les composés naturels possèdent une grande variété de structures chimiques. En outre, ces composés présentent un large éventail d'activités biologiques, notamment des effets antioxydants, anti-inflammatoires, anticoagulants, antiprolifératifs, antiviraux et antimicrobiens (**Bakli, 2020**).

## II. Activité antioxydant

Le stress oxydatif résulte d'un déséquilibre entre la production de radicaux libres et les systèmes antioxydants de l'organisme. Les espèces réactives de l'oxygène jouent un rôle double : elles contribuent à des fonctions biologiques essentielles comme la défense immunitaire, mais peuvent devenir nocives lorsqu'elles s'accumulent en excès. L'organisme maintient cet équilibre grâce à des mécanismes naturels, en utilisant des antioxydants provenant de l'alimentation (comme les vitamines et les polyphénols) ou produits de manière endogène (comme le glutathion et les enzymes antioxydantes). Lorsque ce déséquilibre survient, il entraîne des dommages aux lipides, aux protéines et à l'ADN, favorisant ainsi l'apparition de maladies chroniques telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et les troubles neurodégénératifs comme la maladie d'Alzheimer. Pour y remédier, des stratégies thérapeutiques sont en cours de développement, allant de l'amélioration de l'alimentation à la création de nouveaux antioxydants naturels et synthétiques. L'objectif est de concevoir des molécules spécifiques capables de neutraliser efficacement les radicaux libres tout en minimisant les effets indésirables sur les fonctions biologiques essentielles (**Favier A. 2003**).

Les flavonoïdes et les polyphénols jouent un rôle important en tant qu'antioxydants naturels, contribuant à protéger les huiles et les graisses contre l'oxydation, ce qui aide à prolonger leur durée de conservation et à améliorer leur qualité. En outre, ils participent à la stabilisation et à la préservation des aliments pendant de plus longues périodes (**Panche et al. 2016**).

### II.1 Stress oxydatif et radicaux libres

#### II.1.1. Stress oxydatif

Le stress oxydatif correspond à un déséquilibre entre les espèces oxydantes et les mécanismes antioxydants, où les premières surpassent les défenses biologiques. Ce déséquilibre peut résulter soit d'une production excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et de radicaux libres, soit d'une

diminution de l'efficacité du système antioxydant, comme cela est souvent observé chez les personnes obèses ou chez les fumeurs (**Yoshikawa & Naito, 2002 ; Migdal et al., 2011**).

Ce déséquilibre permet aux molécules oxydantes d'attaquer les membranes cellulaires et les tissus biologiques, favorisant ainsi l'apparition de diverses pathologies. Toutefois, ces molécules jouent également un rôle bénéfique en activant certaines cellules immunitaires impliquées dans la destruction des agents pathogènes, ainsi qu'en stimulant les muscles lisses, lesquels participent à la régulation du fonctionnement normal des vaisseaux sanguins et des organes internes (**Halliwell & Gutteridge, 1999 ; Yoshikawa & Naito, 2002**)

### II.1.2. Radicaux libres

Les radicaux libres sont des molécules ou des fragments moléculaires possédant un ou plusieurs électrons non appariés dans leurs orbitales atomiques, ce qui accroît leur réactivité chimique et augmente la probabilité d'interactions avec d'autres atomes ou molécules (**Halliwell & Gutteridge, 1999**).

Les radicaux libres primaires jouent un rôle essentiel dans la physiologie, parmi lesquels on retrouve l'anion superoxyde ( $O_2^- \bullet$ ), le radical hydroxyle ( $OH\bullet$ ) et le monoxyde d'azote ( $NO\bullet$ ). Les radicaux libres secondaires, quant à eux, résultent des réactions entre les radicaux primaires et divers composés biochimiques présents dans la cellule (**Favier, 2006**)

#### A/ Principaux radicaux libres et leurs origines

Parmi l'ensemble des espèces radicalaires susceptibles de se former au sein des cellules, on peut identifier un groupe restreint de radicaux jouant un rôle important en physiologie, communément appelés radicaux libres primaires. Les autres radicaux, dits radicaux secondaires, résultent des réactions entre ces radicaux primaires et divers composés biochimiques présents dans la cellule (**Favier, 2003**)

#### B/ Rôles des radicaux libres

Le paradoxe des radicaux libres en biologie réside dans le fait qu'ils sont à la fois des espèces extrêmement dangereuses, capables de provoquer un grand nombre de maladies, et des éléments essentiels au bon fonctionnement de l'organisme.

Au-delà de leur rôle bien connu dans la phagocytose, de nombreuses fonctions biologiques leur ont récemment été attribuées.

Les radicaux libres interviennent dans l'activité de certaines enzymes, dans la transmission des signaux cellulaires, dans la défense immunitaire contre les agents pathogènes, ainsi que dans l'élimination des cellules tumorales par apoptose.

Ils jouent également un rôle dans la régulation de la vasodilatation, le fonctionnement de certains

neurones — notamment ceux impliqués dans la mémoire , la fécondation de l'ovule et la régulation de l'expression génique (Favier, 2003).

## II.2. Types d'antioxydants

### II.2.1. Antioxydants de synthèse

Les antioxydants synthétiques renforcent la résistance de l'huile à l'oxydation, mais avec une efficacité variable. Le TBHQ s'est révélé plus efficace que le BHT, tandis que le BHA et le propyl gallate (PG) ont montré une meilleure capacité à améliorer la stabilité oxydative. (Bouhadjra, 2011).

### I.2.2. Antioxydants naturels

Les antioxydants naturels se trouvent dans toutes les parties des plantes supérieures. Ils comprennent le bêta-carotène, l'albumine, les vitamines (E, C, P..) ainsi que les composés phénoliques. Ces antioxydants jouent un rôle essentiel dans la stabilisation des membranes cellulaires en réduisant leur perméabilité et possèdent également la capacité de se lier aux acides gras libres, contribuant ainsi à leur protection contre l'oxydation. (Amina & Hadjer, 2015).

## II.3. Quelques méthodes d'évaluation de l'activité antioxydant

### II.3.1. Évaluation de l'activité de piégeage des radicaux libres par le test DPPH

Le test DPPH repose sur la capacité des composés antioxydants à réduire le radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), qui se caractérise par sa couleur violette intense. Lorsqu'il entre en contact avec une molécule capable de donner un atome d'hydrogène, il subit une réduction, entraînant un changement de couleur du violet au jaune. Cette décoloration est mesurable par spectrophotométrie UV (BRAND-WILLIAMS et al., 1995). Ainsi, lorsqu'une solution de DPPH est mélangée à celle d'un substrat (AH) susceptible de céder un atome d'hydrogène, une réaction de réduction a lieu, se traduisant par la disparition progressive de la couleur violette, signe de l'activité antioxydante du composé testé (Gouveia et Castilho, 2012).

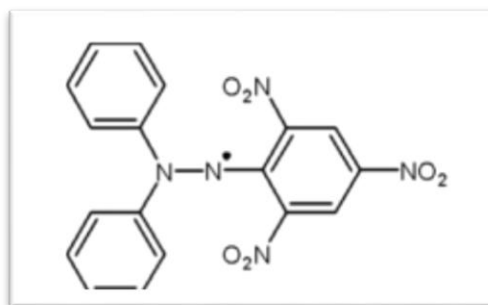
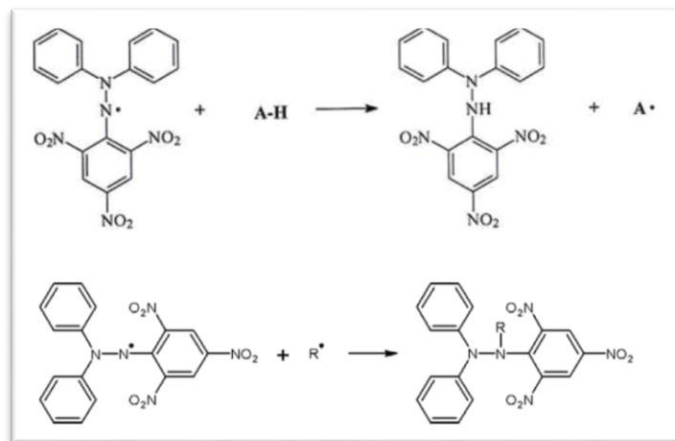


Figure 10: Structure du 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH). (Site web)

Le 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH•) est l'un des premiers radicaux libres utilisés pour étudier la relation entre la structure moléculaire et l'activité antioxydante des composés phénoliques. Ce composé possède un électron non apparié localisé sur un atome d'azote, ce qui permet une délocalisation électronique favorisant sa stabilité. Grâce à cette délocalisation, les molécules de DPPH• conservent leur forme monomérique sans former de dimères, ce qui rend le radical relativement stable à température ambiante. Cette configuration électronique est également responsable de la couleur violette intense caractéristique de la solution de DPPH•. L'efficacité d'un antioxydant est évaluée par la diminution de cette coloration violette, résultant de la réduction du radical libre en sa forme non active. Ce changement est mesurable par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 517 nm. (Foti, M.C., 2004)



**Figure 11:** Mécanisme de réaction



**Figure 12:** Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH

### II.3.2. Le test de réduction du fer (FRAP)

Cette méthode consiste à convertir le complexe ferrique  $[\text{Fe}(\text{III}) - (\text{TPTZ})_2]^{3+}$  en complexe ferreux  $[\text{Fe}(\text{II}) - (\text{TPTZ})_2]^{2+}$ , qui présente une coloration bleue à faible pH. L'objectif de ce test est d'évaluer la capacité des antioxydants à réduire le fer ferrique en fer ferreux. Cette réaction est suivie par la mesure du changement d'absorbance à une longueur d'onde de 700 nm, selon (Oyaizu 1986)

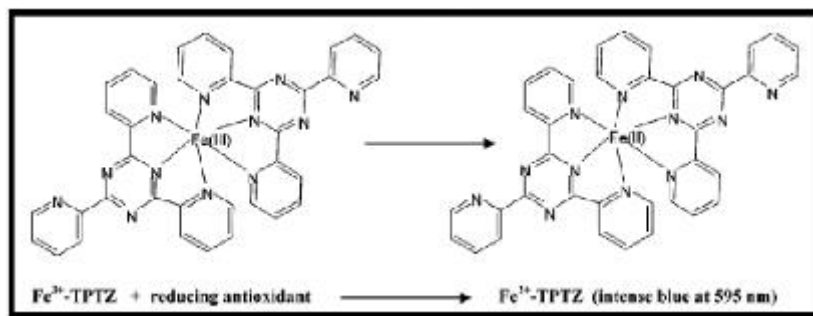


Figure 13: Principe réactionnel du test FRAP

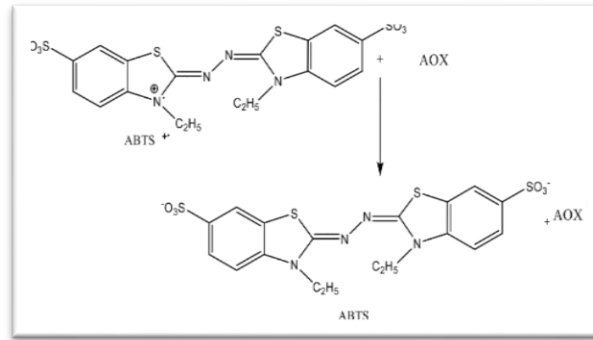
### II.3.3 Test ABTS (acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique))

- Principe

Le test ABTS repose sur l'évaluation de l'activité antioxydante par la capacité des composés à réduire le radical cationique  $\text{ABTS}^{\bullet+}$ , en utilisant une méthode spectrophotométrique, selon le protocole décrit par Re et al. (1999) [137].

Le radical  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  est un radical libre synthétique de couleur bleu-vert, qui peut être réduit en une forme non radicalaire incolore en présence d'antioxydants. Il est généré par réaction de 7 mM d'ABTS avec 2,45 mM de persulfate de potassium ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ), le mélange étant incubé à température ambiante dans l'obscurité pendant 16 heures afin d'obtenir une solution colorée bleu-vert.

L'absorbance de la solution ainsi obtenue est ensuite ajustée à  $0,7 \pm 0,02$  à 734 nm à l'aide de méthanol, ce qui permet de mesurer la diminution de l'absorbance comme indicateur de l'activité antioxydante de l'échantillon testé



**Figure 14:** Chemical reaction involved in the ABTS spectrophotometric test

### III. Activité antibactérienne

#### III.1. Généralité

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires ubiquitaires, dépourvus de noyau (procaryotes). Leur génome est constitué d'ADN formant un seul chromosome, et elles peuvent parfois contenir des plasmides, qui sont de petits fragments circulaires d'ADN. L'ensemble des bactéries constitue le règne des Eubactéries (Eubacteria). Le traitement des infections bactériennes repose principalement sur l'utilisation d'antibiotiques. Cependant, l'usage excessif et parfois inapproprié de ces médicaments peut conduire à l'apparition de souches multi-résistantes, ce qui rend nécessaire l'orientation des recherches vers de nouvelles voies, notamment la découverte de médicaments à base de plantes (Jürgen et al., 2009). Les bactéries présentent une grande diversité de formes et de tailles : elles peuvent être grandes ou petites, ovales ou longues, fines ou épaisses. Elles sont classées en deux groupes principaux, les bactéries Gram-positives (+) et Gram-négatives (-), en fonction des différences dans la structure et la composition chimique de leur paroi cellulaire

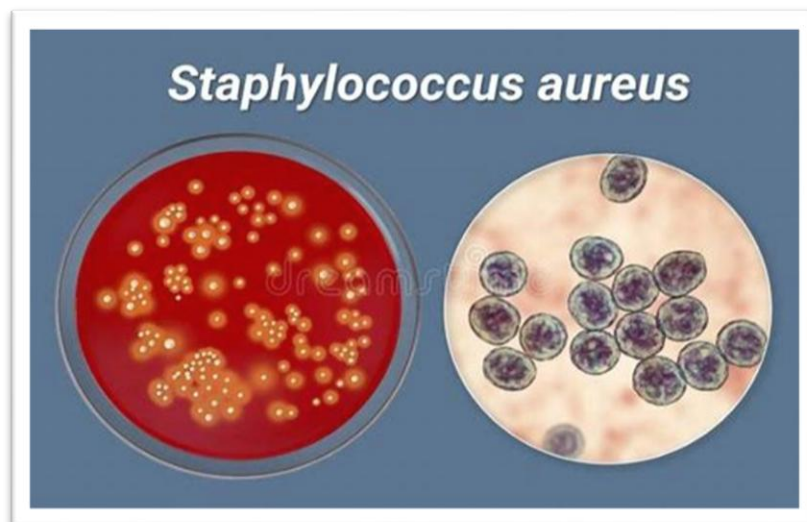
#### III.2. Description des bactéries étudiées

##### III.2.1. Bactéries à Gram positif

###### 1. *Staphylococcus aureus*

C'est une bactérie à Gram positif appartenant au genre *Staphylococcus* et à la famille des *Staphylococcaceae*. La distinction entre *Staphylococcus* et *Micrococcus* repose sur leur métabolisme anaérobie facultatif. *S. aureus* est capable de perdre sa capsule après culture et présente une croissance

optimale à 37°C pendant 18 à 24 heures. Les colonies de *S. aureus* mesurent entre 1 et 3 mm de diamètre, sont lisses, arrondies, bombées et opaques. Cette bactérie est responsable d'une variété de maladies infectieuses, telles que des infections cutanées, la bactériémie, l'endocardite, la pneumonie et l'intoxication alimentaire (Le loir et Gantier, 2009 ; Gnanamani et al., 2017).



**Figure 15:** L'espèce bactérienne *Staphylococcus aureus*

### **2. *Bacillus cereus***

Le genre *Bacillus* comprend des bacilles à Gram positif, aérobie ou anaérobie facultatif, mobiles et sporulés, appartenant à la famille des *Bacillaceae*. Ces bactéries peuvent se développer dans divers environnements tels que le sol, l'eau et les intestins (Earl et al., 2008 ; Tanada et Kaya, 2012).

*Bacillus cereus* est une cause fréquente d'intoxications alimentaires. Les symptômes apparaissent généralement entre 8 et 16 heures après la contamination et incluent des crampes abdominales et des diarrhées aqueuses, similaires à celles observées avec *B. subtilis* (Kotiranta et al., 2000 ; Dierick et al., 2005).

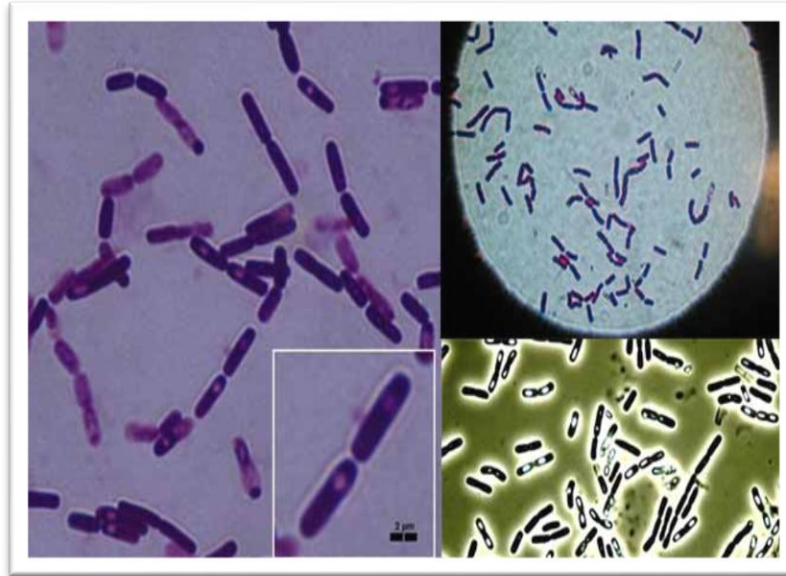


Figure 16: L'espèce bactérienne *Bacillus cereus*

### III.2.2. Bactéries à Gram négatif

#### 1. *Escherichia coli*

*Escherichia coli* est une bactérie unicellulaire capable de vivre dans divers environnements tels que le sol, l'eau et les organismes vivants, principalement les plantes, les humains et les animaux. Elle appartient à la famille des *Enterococcaceae*, et se caractérise par une forme de bacille à Gram négatif, court et droit, non sporulé, aérobic-anaérobic facultatif, et mobile grâce à des flagelles péritriches. Bien que généralement commensale chez l'homme, cette bactérie peut devenir pathogène dans certaines situations, provoquant diverses maladies humaines (Sussman, 1997 ; Denis, 2002 ; Manning, 2010).

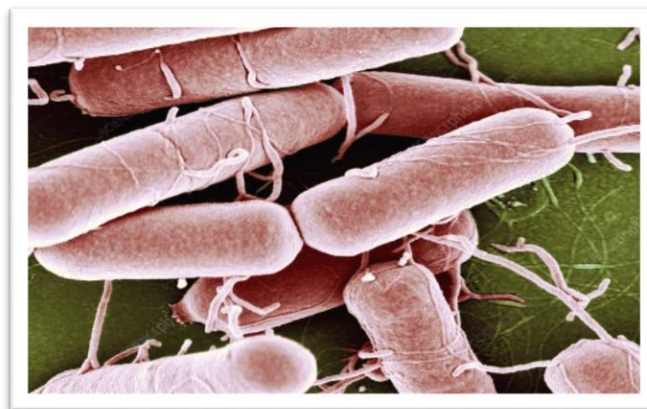


Figure 17: L'espèce bactérienne *Escherichia coli*

### 2. *Salmonella thyphimurium*

La bactérie *Salmonella enterica* sérovar Typhimurium est une bactérie bacillaire à Gram négatif, considérée comme l'un des principaux agents responsables des intoxications alimentaires et des infections intestinales chez l'homme et les animaux. Cette bactérie se distingue par sa capacité à envahir les cellules hôtes et à y survivre grâce aux systèmes de sécrétion de type III, qui lui permettent d'injecter des protéines modulant les fonctions cellulaires de l'hôte, entraînant ainsi une forte réponse inflammatoire au niveau de l'intestin. Elle possède également des îlots de pathogénicité (Pathogenicity Islands) ainsi qu'un plasmide pSLT qui renforcent sa capacité à provoquer des maladies plus sévères et plus étendues. L'émergence de souches résistantes aux antibiotiques a complexifié la lutte contre cette infection, faisant de cette bactérie un défi sanitaire mondial nécessitant davantage de recherches et de développements dans les domaines de la prévention et du traitement (Fàbrega & Vila, 2013).

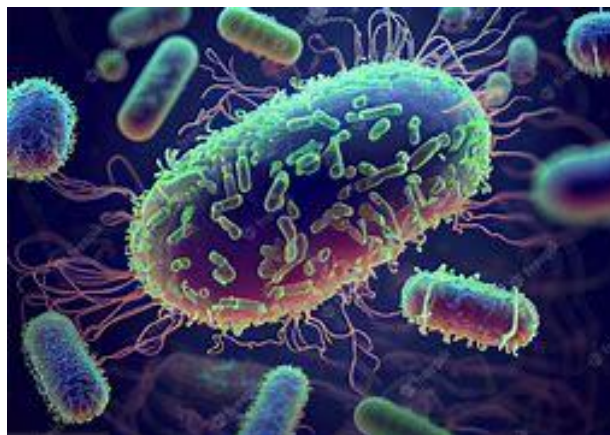
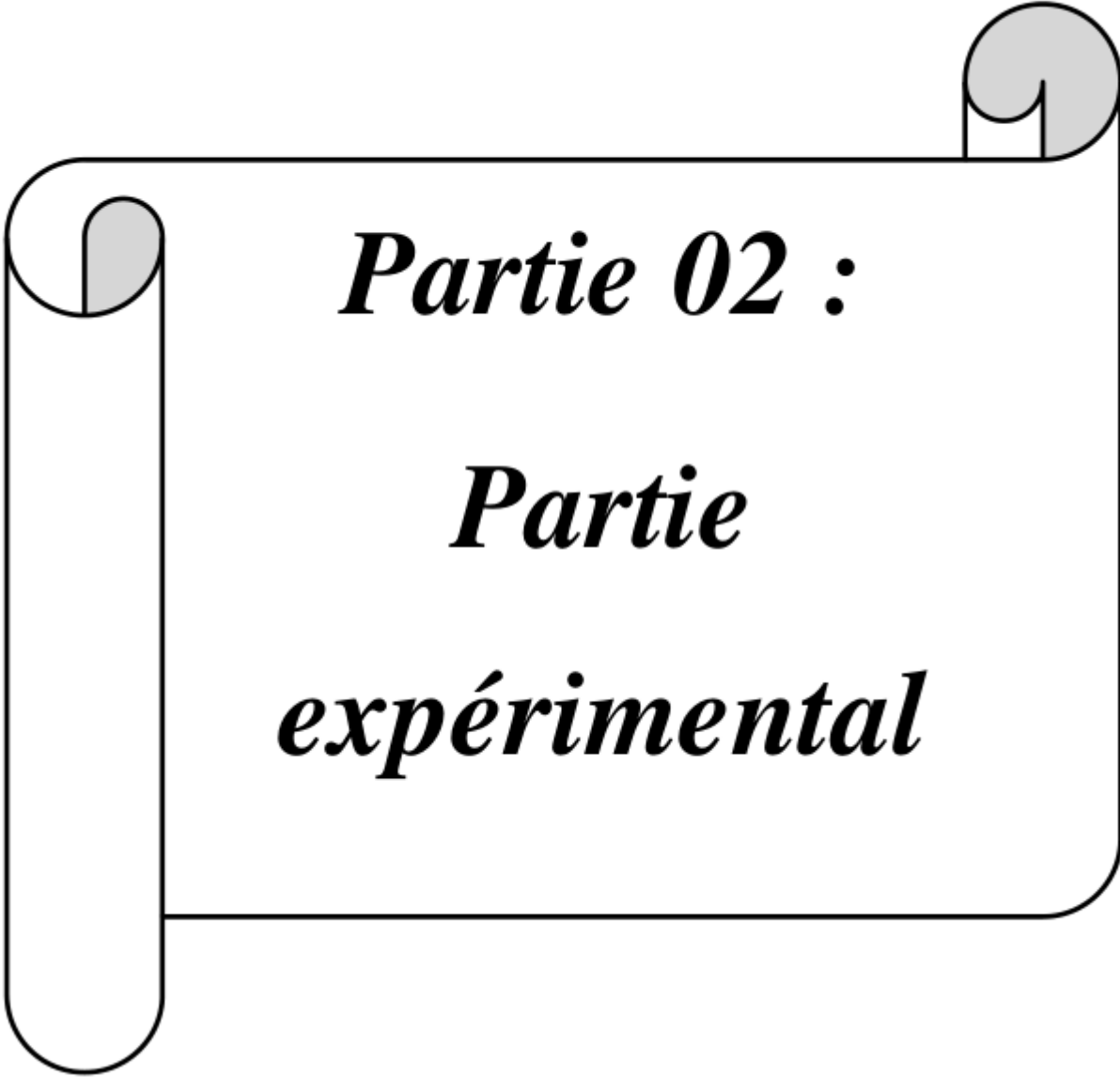


Figure 18: L'espèce bactérienne *Salmonella*

### III .3. Autres activités

La sauge *Salvia officinalis* est une plante médicinale bien connue dans la médecine traditionnelle palestinienne, grâce à ses propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires. Elle est traditionnellement utilisée pour traiter les infections cutanées, les problèmes oculaires et les maladies respiratoires. (El Asta Z. Y et al., 2005)



***Partie 02 :***

***Partie***

***expérimental***



***Chapitre01 :***

***Matériels***

***Et Méthodes***

### I. Matériel végétal

#### • Récolte de la plante

Dans le cadre de cette étude, les parties aériennes de la plante *Salvia officinalis* ont été utilisées comme matériel végétal de base. La plante entière a été récoltée dans la wilaya de Batna au cours du mois de mars 2025. Après la récolte, les échantillons ont été séchés à température ambiante, à l'abri de la lumière directe, afin de préserver leurs constituants. Une fois le séchage achevé, la plante a été broyée dans son intégralité, sans séparation des différentes parties, puis la poudre obtenue a été soigneusement conservée dans un endroit sec en vue des analyses ultérieures.

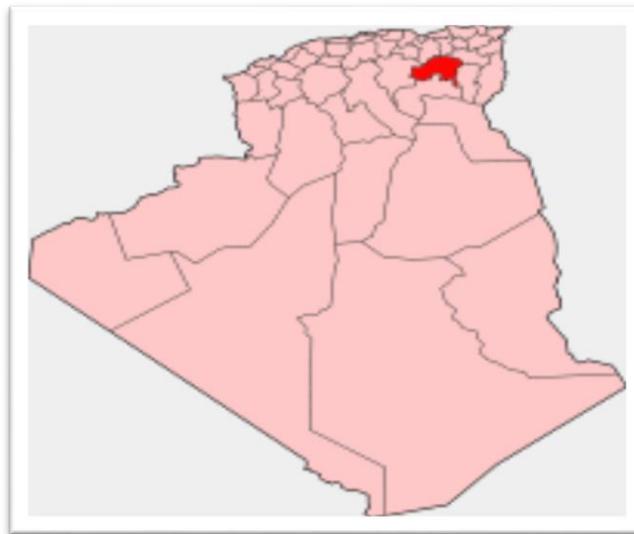


Figure 19 : Carte géographique de la station de récolte Batna, Algérie.

### II. Caractérisation quantitative des extraits

Les flavonoïdes ont été extraits des feuilles et des tiges de la plante *Salvia officinalis* par la méthode de macération dans le méthanol aqueux.

#### II.1. Principe de la macération

La macération est un procédé qui consiste à laisser une substance solide dans un liquide froid pendant une période déterminée afin d'en extraire les composés solubles. Elle peut également permettre à la substance solide d'absorber le liquide pour en obtenir les arômes ou les saveurs souhaitées, ou encore pour conserver la matière ou favoriser sa décomposition. Les solvants alcooliques jouent un rôle clé en augmentant la perméabilité des membranes cellulaires, facilitant ainsi l'extraction d'un plus grand nombre de molécules polaires, ainsi que de molécules de polarité moyenne et faible.

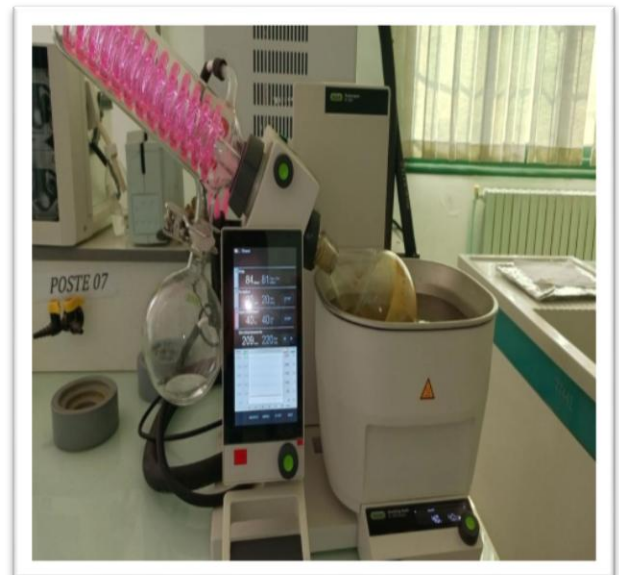
### A. Extraction type solide/liquide (Extraction par macération dans le méthanol aqueux)

#### ❖ Préparation des extraits

Après séchage de la matière végétale à température ambiante, les tiges et les feuilles ont été broyées ensemble pour obtenir une poudre fine. Ensuite, 50 grammes de cette poudre ont été placés dans un mélange de méthanol et d'eau distillée (80/20 : v/v) pour l'extraction méthanolique et brute, avec agitation périodique pour assurer une homogénéisation complète. Cette opération a été répétée trois fois successivement sur une période de 24 à 48 heures, avec renouvellement du solvant à chaque fois pour augmenter la quantité d'extrait. Après filtration sur papier filtre, le filtrat a été concentré à l'aide d'un évaporateur rotatif. Ainsi, l'extrait brut a été obtenu, transféré dans des boîtes de Petri et laissé de côté pour un séchage complet.



**Figure 20:** La filtration

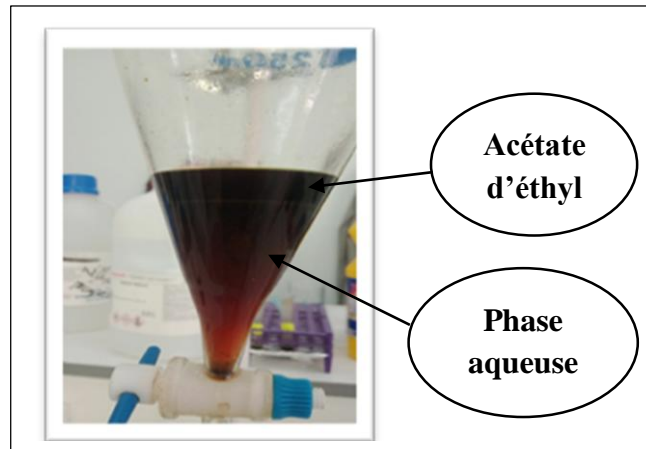


**Figure 21 :** Appareil du rotavapeur

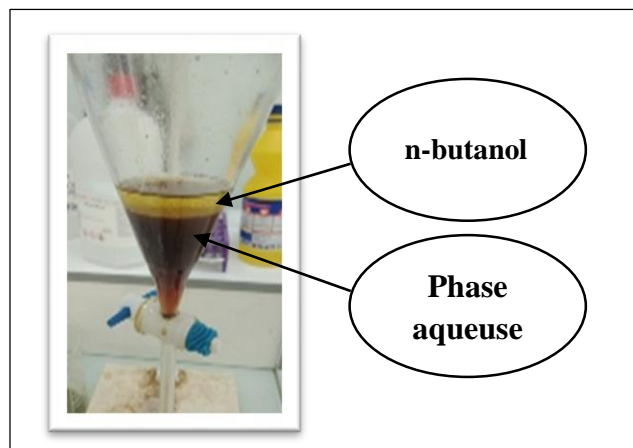
### B. Extraction type liquide /liquid

L'extrait méthanoïques sec de la plante a été utilisé comme base pour une extraction de type liquide-liquide, puis 20 ml d'acétate d'éthyle ont été ajoutés dans une ampoule à décanter. Le mélange a été vigoureusement agité, puis laissé au repos pendant au moins 24 heures jusqu'à séparation des deux phases : une phase organique (en haut) et une phase aqueuse (en bas). La phase organique a été récupérée dans un récipient en verre propre, et l'opération a été répétée trois fois successivement afin d'optimiser l'extraction.

Concernant l'utilisation du solvant n-butanol, les mêmes étapes que pour l'acétate d'éthyle ont été suivies. Au terme de cette procédure, deux extraits organiques ont été obtenus : l'un à base d'acétate d'éthyle et l'autre à base de n-butanol.



**Figure 22 :** Extraction liquide-liquide par D'acétate d'éthyle



**Figure23 :** Extraction liquide-liquide par N-butanol

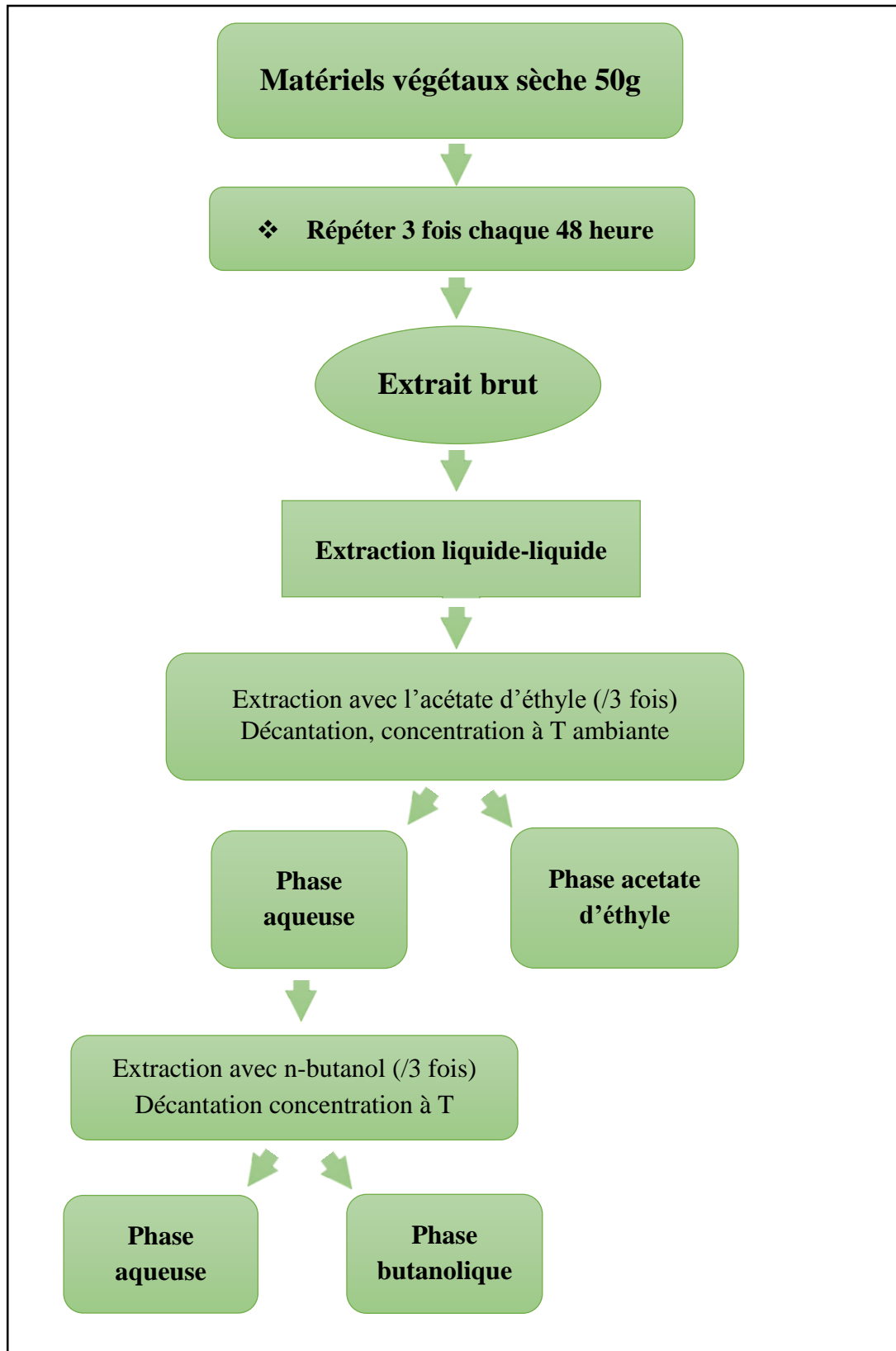


Figure24 : Méthode d'extraction des flavonoïdes (Ciulei, 1983).

### II.2. Détermination du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction correspond au rapport entre la masse de l'extrait sec obtenu et celle du matériel végétal initialement utilisé. Il permet d'évaluer l'efficacité du procédé d'extraction. Ce rendement est exprimé en pourcentage selon la formule suivante :  $R (\%) = 100 \text{ Mext}/\text{Méch}$ .

- ❖ **R** : est le rendement en % ;
- ❖ **Mext** : la masse de l'extrait après évaporation du solvant en g ;
- ❖ **Méch** : la masse sèche en g ; de la Matière végétal

### III. Extraction de l'huile essentielle

L'extraction de l'huile essentielle de *Salvia officinalis* a été réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Après la récolte des parties aériennes de la plante, notamment les feuilles, celles-ci ont été soigneusement nettoyées pour éliminer toute trace de terre ou de végétation étrangère.

#### III.1. Procédé d'extraction

L'hydrodistillation est l'une des méthodes les plus simples et les plus anciennes utilisées pour l'extraction des huiles essentielles. Elle consiste à immerger le matériel végétal dans un ballon rempli d'eau, que l'on porte ensuite à ébullition afin de libérer les composés volatils sous forme de vapeur.

Dans le cadre de cette étude, l'extraction a été effectuée à l'aide d'un appareil de Clevenger, comprenant :

- Un ballon chauffant en verre résistant à la chaleur,
- Un condenseur pour la condensation des vapeurs,
- Et un tube de collecte permettant la séparation de l'huile après refroidissement.

Avant utilisation, l'appareil a été soigneusement nettoyé à l'acétone puis rincé à l'eau distillée pour éviter toute contamination. Ensuite, 100 g de feuilles séchées ont été placées dans le ballon avec 1000 ml d'eau distillée. L'ensemble a été chauffé pendant environ 3 heures. La vapeur entraînant l'huile essentielle a été condensée, puis recueillie sous forme d'un distillat constitué de deux phases : une fine couche d'huile essentielle en surface, séparée délicatement après décantation.

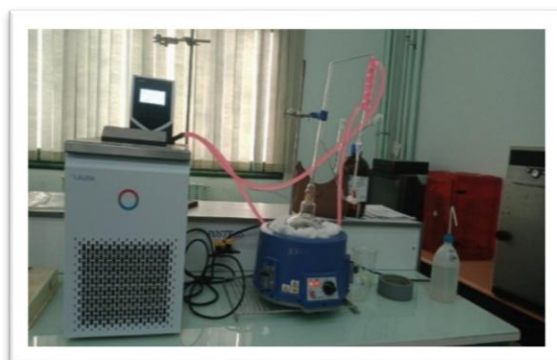


Figure 25: Appareil de Clevenger

### III .2. Calcul du rendement

Le rendement en huile essentielle est le rapport entre le poids de l'huile extraite et le poids de la plante à traiter. Le rendement, exprimé en pourcentage est calculé par la formule suivante :

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

- **RHE** : rendement en huile essentielle de la partie aérienne de la plante ;
- **MHE** : le poids de l'huile extraite (mg) ;
- **MS** : le poids de la matière végétale sèche (mg).

### IV. Caractérisation qualitative des extraits

#### IV.1. Chromatographie sur couche mince (CCM)

La chromatographie sur couche mince (CCM) est une méthode d'analyse simple, rapide et économique, reposant sur le principe de l'adsorption. Elle s'applique à divers types d'échantillons, qu'il s'agisse de composés purs, d'extraits complexes de métabolites ou encore de matrices biologiques. Cette technique permet d'avoir une vue d'ensemble sur la composition métabolique d'un extrait ou d'une fraction, facilitant ainsi l'identification qualitative des substances présentes. Lorsqu'elle est mise en œuvre dans des conditions opératoires bien maîtrisées, elle constitue également un outil fiable pour évaluer la pureté d'un composé. En plus de cela, la CCM est couramment utilisée pour le suivi de réactions chimiques, grâce à sa capacité à détecter le nombre de constituants d'un mélange réactionnel (Bengrba, 2008).

##### ➤ Principe

La chromatographie sur couche mince repose sur le déplacement d'un échantillon dissous par une phase mobile à travers une phase stationnaire. Après application de l'échantillon sur la phase stationnaire, les constituants migrent à des vitesses différentes, en fonction de leurs propriétés physico-chimiques ainsi que de la nature du solvant utilisé (Antonot et al., 1998).

##### ➤ Mise en œuvre pratique

##### ❖ Préparation des plaques CCM

Dans le cadre de ce travail, des plaques de chromatographie sur couche mince en gel de silice G 60 ont été utilisées comme phase stationnaire.

##### ❖ Préparation de la phase mobile

La phase mobile est constituée d'un mélange de solvants organiques. À cette fin, plusieurs systèmes de solvants ont été testés afin d'identifier ceux permettant une séparation optimale des constituants

**Tableau 3:** Les différents systèmes solvants utilisés pour la CCM de gel de silice

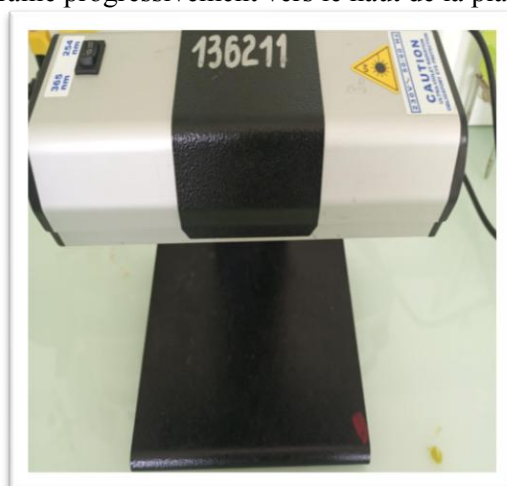
CCM sur gel de silice		
Systèmes solvant	N	Proportion
Chloroforme/Hexane	1	(2 :1)
<b>Heptane/</b> acétate d'éthyle	5	(1 :3)
<b>CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub></b> /Hexane	6	(1 :1)

### ❖ Dépôt

Les extraits de la plante sont dissous dans du chloroforme, puis déposés sur la plaque à l'aide d'une pipette Pasteur à des points repères situés à 1 cm du bord inférieur de la plaque. Il est possible de réaliser plusieurs dépôts successifs du même analyte au même endroit, ce qui permet de concentrer l'analyte (Sine, 2003).

### ❖ Développement des plaques

Chaque plaque est placée en position verticale ou légèrement inclinée dans un bécher préalablement saturé par les vapeurs du solvant approprié. Au fur et à mesure que la phase mobile progresse par capillarité, l'échantillon étudié est entraîné progressivement vers le haut de la plaque (Sine, 2003)



**Figure 26:** Lampe Ultra-violet 254-365nm

### ❖ Révélation

Une fois le développement du chromatogramme terminé, la plaque est séchée à température ambiante, puis examinée sous UV à une longueur d'onde de 365 nm. Le comportement d'une molécule dans un système donné est exprimé par son facteur de front **R<sub>f</sub>**, calculé selon la formule suivante :

**d** : la distance parcourue par la molécule ;

**D** : la distance parcourue par la phase mobile (front du solvant).

$$R_f = d / D$$

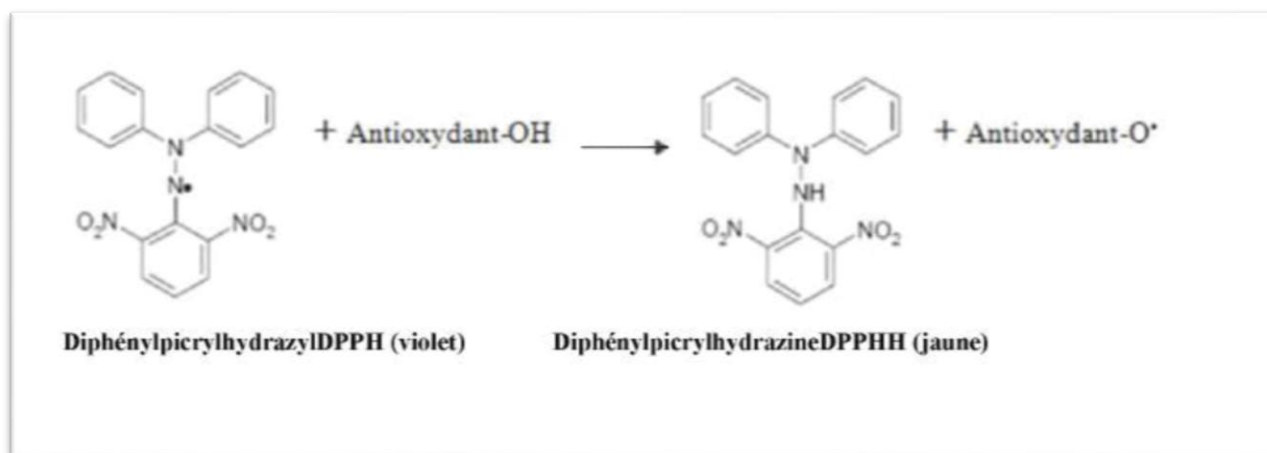
### V. Teste des activités biologiques

#### V.1. Evaluation du pouvoir antioxydant

De nombreux tests sont utilisés pour évaluer l'activité antioxydante des extraits. La plupart de ces tests reposent sur l'observation du changement de couleur d'un réactif dans le milieu réactionnel. Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé le test DPPH pour évaluer l'activité antioxydante.

##### ❖ Test DPPH

L'activité antioxydante des extraits a été évaluée à l'aide du test **DPPH** (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), où le **DPPH** est un radical libre stable de couleur violette, mesurable photométriquement à 517 nm. La réduction de ce radical par un donneur d'atomes d'hydrogène conduit à la formation de **2,2-diphényl-1-picrylhydrazine**, qui présente une couleur jaune-verte. L'intensité de la couleur formée est proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans l'échantillon à donner des protons (**Sanchez-Moreno, 2002**).



**Figure 27** : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH (**Lounis et khalfalah, 2015**).

##### ❖ Mise en œuvre pratique

Une solution mère de l'extrait a été préparée dans le méthanol à une concentration de 2000 µg/mL, puis des dilutions ont été réalisées pour obtenir des concentrations finales de 10, 25, 50 et 100 µg/mL. Chaque concentration a été mélangée avec une quantité appropriée de méthanol et de solution de DPPH, afin d'atteindre un volume final constant. Les mélanges ont ensuite été incubés à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. Les solutions ont été réparties dans une plaque ELISA (Microplaque),

où les trois répétitions pour chaque concentration ont été placées dans des puits adjacents au sein de la même plaque.

D'autre part, un témoin négatif a été préparé, constitué uniquement d'une solution de DPPH et de méthanol. L'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

L'activité antioxydante a été calculée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH selon la formule suivante

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{\text{Abs Control} - \text{Abs échantillon}}{\text{Abs control}} \times 100$$

- Abs control : Absorbance du blanc (contenant tous les réactifs excepté le composé d'essai) ;
- Abs échantillon : Absorbance du composé d'essai. Comme il n'existe pas de mesure absolue de la capacité antioxydant d'un composé, les Résultats sont souvent portés par rapport à un antioxydant de référence dans notre expérience Est BHT.



**Figure 28** : Microplate Reader

### V.2. Evaluation de l'activité antibactérienne

L'activité antibactérienne est évaluée par la méthode de l'aromatogramme, qui équivaut à un antibiogramme (une technique utilisée en bactériologie médicale où les antibiotiques sont remplacés par des extraits). Cette méthode repose sur la diffusion en milieu gélosé ou sur l'utilisation de disques, et sert à tester la sensibilité des souches bactériennes vis-à-vis d'un ou plusieurs antibiotiques.

#### ❖ Préparation des disques

Les disques sont préparés à partir de papier Whatman avec un diamètre de 6 mm. Ils sont ensuite placés dans un tube à essai, stérilisés à l'autoclave et conservés jusqu'à leur utilisation.

### ❖ Milieu de culture

On utilise la gélose nutritive Mueller Hinton pour évaluer la sensibilité des souches bactériennes à différentes concentrations d'extraits méthanoïques

### ❖ Souches bactériennes testées

Dans le cadre de cette étude, l'évaluation de l'activité antibactérienne de *Salvia officinalis* a été réalisée à l'aide de souches bactériennes de référence, incluant à la fois des bactéries à Gram positif et à Gram négatif. Ces souches ont été aimablement fournies par le laboratoire de microbiologie de l'Université de M'sila. Afin d'assurer leur viabilité jusqu'à l'expérimentation, elles ont été conservées au réfrigérateur dans des tubes hermétiques contenant un milieu nutritif approprié.

**Tableau 4:** Les souches bactériennes utilisées

Nom de souche	Gram
<i>Bacillus cereus</i>	<b>Gram positif</b>
<i>Staphylococcus aureus</i>	<b>Gram positif</b>
<i>Escherichia coli</i>	<b>Gram négatif</b>
<i>Salmonella typhimurium</i>	<b>Gram négatif</b>

#### ▪ Préparation des dilutions des extraits (concentration)

Selon (ciulel, 1983) ; nous avons préparé dilutions des extraits.

**Tableau 5:** La différente concentration des extraits.

Extrait	Concentration (mg/ml)
<b>C1</b>	16
<b>C2</b>	8
<b>C3</b>	4
<b>C4</b>	2

#### ▪ Préparation de l'inoculum

L'inoculum a été préparé à partir d'une culture pure de la bactérie à tester. Des colonies bien isolées, présentant une morphologie homogène, ont été prélevées à l'aide d'une anse de platine stérile.

Ces colonies ont ensuite été transférées dans un tube contenant 8 ml de solution physiologique stérile à 0,9 %, puis soigneusement homogénéisées afin d'obtenir une suspension bactérienne homogène.

### ▪ **Inoculation bactérienne sur gélose (étapes)**

#### **Préparation de l'environnement de travail**

Travailler dans des conditions stériles, à proximité d'un bec Bunsen pour limiter les contaminations environnementales.

#### ✓ **Préparation de l'écouvillon**

Plonger un écouvillon stérile dans la suspension bactérienne préalablement préparée.

#### ✓ **Élimination de l'excès de liquide**

Presser doucement l'écouvillon contre la paroi interne du tube pour en retirer l'excès de liquide.

#### ✓ **Inoculation de la gélose**

Étaler l'écouvillon sur toute la surface de la gélose sèche en effectuant un mouvement vertical régulier (de haut en bas).

#### ✓ **Répétition du geste**

Répéter l'opération deux fois, en tournant la boîte de Petri d'environ 60° à chaque passage pour assurer une couverture uniforme.

#### ✓ **Fin**

Terminer en passant délicatement l'écouvillon sur la périphérie de la gélose pour homogénéiser l'inoculation.

### ❖ **Incubation et Interprétation des Résultats**

À la fin de la période d'incubation, la lecture des résultats est effectuée en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition autour de chaque disque à l'aide d'une règle millimétrée ou d'un pied à coulisse. Ce diamètre permet d'évaluer l'efficacité des extraits polyphénoliques à inhiber la croissance des souches bactériennes testées. L'interprétation se fait selon la classification suivante, basée sur la sensibilité des bactéries (**Ponce, 2003**)

- **Non sensible (-)**: diamètre < 8 mm
- **Sensible (+)** : diamètre compris entre 9 et 14 mm
- **Très sensible (++)** : diamètre compris entre 15 et 19 mm
- **Extrêmement sensible (+++)**: diamètre > 20 mm



*Chapitre 02 :*

*Résultats*

*Et discussions*

## I. Évaluation des techniques d'extraction

Des analyses phytochimiques ont été effectuées sur des extraits obtenus à partir de la plante *Salvia officinalis*. Ces analyses ont reposé sur une série de réactions chimiques visant à identifier les composés bioactifs présents.

Une variété de solvants de polarités différentes a été utilisée afin de permettre la séparation des composés en fonction de leur solubilité dans chaque solvant d'extraction.

La détection de ces composés a été réalisée à travers des analyses qualitatives et quantitatives, incluant la détermination des teneurs totales en polyphénols et flavonoïdes, l'utilisation de la chromatographie sur couche mince (CCM), ainsi que la spectrophotométrie UV, en complément d'autres techniques analytiques

### I.1. Rendement des extraits

Une extraction des composés de *Salvia officinalis* a été réalisée en utilisant une série de solvants de polarité croissante, à savoir : le méthanol, l'acétate d'éthyle et le n-butanol. Cette méthode a permis d'isoler différents extraits à partir des parties de la plante, notamment :

- l'extrait brut (EBr.),
- L'extrait à l'acétate d'éthyle (EAcOEt),
- Et l'extrait au n-butanol (En-BuOH)

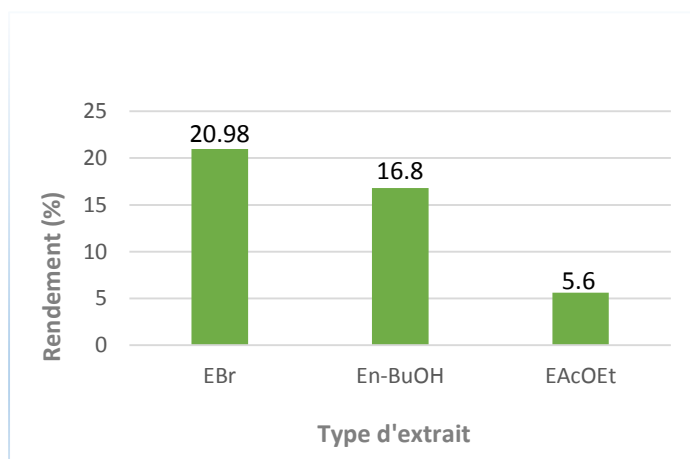


Figure 29 : Rendement des différents extraits de l'espèce *Salvia officinalis*.

Les résultats de l'extraction de la plante *Salvia* ont montré une variation significative des rendements selon le type de solvant utilisé. Comme l'indique la figure (×), le rendement de l'extrait brut (EBr) était

d'environ 21%, suivi de l'extrait au n-butanol (En-BuOH) avec un rendement proche de 17%, tandis que l'extrait à l'acétate d'éthyle (EAcoEt) a présenté le rendement le plus faible, estimé à 7%. Ces résultats soulignent l'influence du solvant sur la quantité de composés extraits.

Ces résultats sont proches de celui trouvé par Dans cette étude, l'extrait à l'acétate d'éthyle avait atteint un rendement de 24,4%, surpassant celui du butanol qui n'était que de 5,2% (**Okorie et al., 2023**). Cette divergence peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment la composition chimique spécifique à chaque espèce, les caractéristiques des tissus végétaux, ainsi que les conditions d'extraction telles que la température, le temps de macération et la concentration du solvant. Cette comparaison met en évidence le rôle crucial joué à la fois par le type de plante et par le solvant utilisé dans l'efficacité de l'extraction et la qualité des composés bioactifs obtenu

### **I.2.Rendement en huiles essentielles de *Salvia officinalis***

Dans cette étude, nous avons extrait l'huile essentielle de la sauge *Salvia officinalis* à l'aide de l'appareil de Clevenger, obtenant un rendement de 0,20 %. Ce résultat est très proche de ceux rapportés dans d'autres études : par exemple, **Saqqour (2020)** à l'Université de Tichreen en Syrie a obtenu un rendement de 0,18 % par distillation à la vapeur, tandis que **Rahmani-Zanou (2020)** à l'Université d'Ouargla a enregistré un rendement de 0,22 % avec le même appareil. De plus, **Dradji-Krama et ses collaborateurs (2022)** ont observé un rendement de 0,15 %, ce qui reflète la variation naturelle du rendement selon les conditions expérimentales. Ces valeurs proches confirment que le rendement obtenu dans notre étude se situe dans la fourchette attendue pour l'extraction de l'huile essentielle de sauge avec l'appareil de Clevenger, témoignant de la qualité de la matière première et de l'efficacité de la méthode utilisée

## II. Analyses qualitative des extraits

### II.1. Chromatographique sur couche mince CCM

La technique de **chromatographie sur couche mince (CCM)** a été utilisée afin d'évaluer qualitativement les composés phénoliques présents dans les différents extraits (acétate d'éthyle, n-butanol et extrait brut) issus des de *Salvia officinalis*.

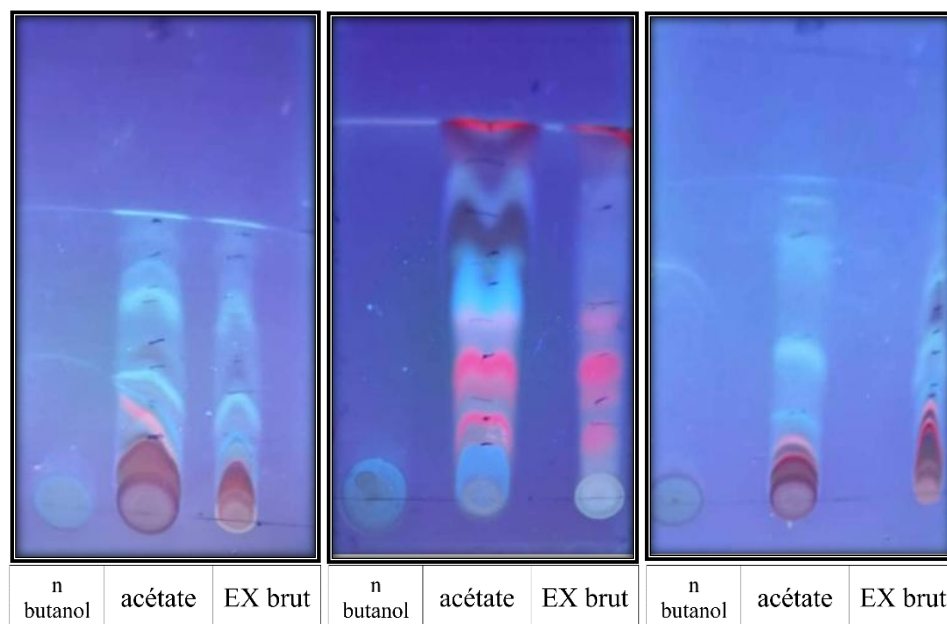
Cette méthode constitue l'une des approches classiques et efficaces pour la séparation et la purification des constituants végétaux, en raison de sa simplicité de mise en œuvre et de sa capacité à révéler la diversité des composés chimiques dans les extraits.

- **Révélation (visualisation des tâches)**

Dans le cadre de cette étude, la séparation des extraits végétaux a été réalisée à l'aide de quatre systèmes de solvants de polarité intermédiaire.

Pour la détection des composés séparés, les plaques chromatographiques ont été exposées à la lumière ultraviolette (UV), ce qui a permis de visualiser et de localiser clairement les différentes tâches. Les couleurs des spots ainsi que leurs valeurs de facteur de rétention (Rf) ont été enregistrées suite à l'analyse par chromatographie sur couche mince (CCM).

Les résultats obtenus ont été présentés sous forme de figures illustratives et de tableaux :



**Figure30** : Révélation de plaque CCM de gel de silice de E Brt, E AcOEt et EnBuOHde *Salvia officinalis*, sous lampeUV365 nm de S1, S5 S6.

Une chromatographie analytique sur couche mince a été réalisée en utilisant trois systèmes de solvants de polarité moyenne. Les différentes taches des produits apparues sur les chromatogrammes ont été délimitées sous lumière UV à une longueur d'onde de 365 nm.

Les couleurs des taches et leurs valeurs de Rf ont été observées sous UV après l'analyse chromatographique sur couche mince. Les extraits provenant des différentes parties de la plante *Salvia officinalis* (tige et feuille) ont révélé plusieurs taches avec des couleurs différentes dans les trois systèmes de solvants.

Ces couleurs variées observées sur les chromatogrammes sous UV/365 nm peuvent correspondre à plusieurs classes de métabolites secondaires.

Ces différences dans la composition phytochimique reflètent l'influence des facteurs biotiques et abiotiques sur la synthèse des métabolites secondaires par les plantes. En effet, plusieurs facteurs externes peuvent influencer la composition chimique de ces métabolites, tels que le sol, la température et la lumière (Bourgaud, 2012).

**Tableau 6:** Résultats de chromatographie sur couche mince l'extrait brut de plante *Salvia officinalis*.

N° des Systèmes de solvants	Extrait brut	
	N° des Spots	RF (cm)
1	1	0,41
	2	0,43
	3	0,74
	4	0,88
	5	0,96
5	1	0,2
	2	0,26
	3	0,30
	4	0,52
	5	0,75
6	1	0,32
	2	0,36
	3	0,48
	4	0,53
	5	0,63
	6	0,73

**Tableau 7:** Résultats de chromatographie sur couche mince l'extrait d'acétate d'éthyle de *Salvia officinalis*

N° des Systèmes de solvants	Extrait d'acétate d'éthyle	
	N° des Spots	RF (cm)
1	1	0,27
	2	0,39
	3	0,58
	4	0,70
	5	0,86
	6	0,96
5	1	0,15
	2	0,21
	3	0,26
	4	0,36
	5	0,46
	6	0,55
	7	0,64
	8	0,73
	9	0,8
6	1	0,2
	2	0,4
	3	0,8
	4	0,9

Les résultats de la chromatographie pour l'extrait brut et l'extrait d'acétate d'éthyle ont montré une diversité notable dans le nombre de taches et les valeurs de RF selon le système de solvant utilisé, tandis que l'extrait de n-butanol n'a donné aucun résultat, aucune tâche n'ayant été détectée dans tous les systèmes testés, ce qui indique l'absence ou la faible concentration de composés détectables dans cet extrait.

Pour l'extrait brut, le premier système a révélé cinq taches avec des valeurs de RF relativement élevées (de 0,41 à 0,96), ce qui indique la présence de composés moins polaires. Le cinquième système a montré également cinq taches, mais avec des valeurs de RF plus faibles (de 0,2 à 0,75), traduisant la

présence de composés plus polaires. Quant au sixième système, il a révélé six taches avec des valeurs de RF étalées (de 0,32 à 0,73), témoignant d'une bonne diversité chimique.

Pour l'extrait d'acétate d'éthyle, le cinquième système s'est avéré le plus efficace, avec neuf taches et des valeurs de RF allant de 0,15 à 0,80, reflétant une grande capacité à séparer divers composés végétaux de polarités différentes. Le premier système a révélé six taches avec des valeurs de RF allant de 0,27 à 0,96, tandis que le sixième système n'a montré que quatre taches, indiquant une efficacité moindre

Ces résultats sont en accord avec la littérature scientifique, où de nombreuses études ont montré que l'utilisation de systèmes de solvants mixtes et de polarité intermédiaire (comme l'acétate d'éthyle) augmente l'efficacité de la séparation et révèle une plus grande diversité chimique dans les extraits végétaux (**Djahra, 2014 ; Bougandoura & Bendimerad, 2011 ; Markham, 1982**). Les travaux de **Lana & Alaadin (2012)** ont également montré que les extraits à l'acétate d'éthyle produisent généralement un plus grand nombre de taches et une diversité chimique plus large que d'autres solvants. L'absence de résultats avec l'extrait de n-butanol a également été signalée dans certaines études, car certains composés végétaux peuvent ne pas être solubles ou détectables dans les systèmes chromatographiques utilisant le butanol comme solvant (**Benamar et al., 2010**).

Les faibles valeurs de RF indiquent la séparation de composés polaires tels que les flavonoïdes et les tanins, tandis que les valeurs élevées de RF reflètent la présence de composés moins polaires comme les terpènes et les stérols, ce qui a été confirmé par la littérature scientifique (**Markham, 1982 ; Benamar et al., 2010**) En conclusion, le cinquième système avec l'extrait d'acétate d'éthyle s'avère le plus approprié pour la séparation qualitative des composés de la plante étudiée, puisqu'il a montré le plus grand nombre de taches et une large distribution des valeurs de RF, traduisant la richesse de l'échantillon en composés phénoliques et flavonoïdiques, alors que l'extrait de n-butanol n'a montré aucune efficacité dans cette analyse.

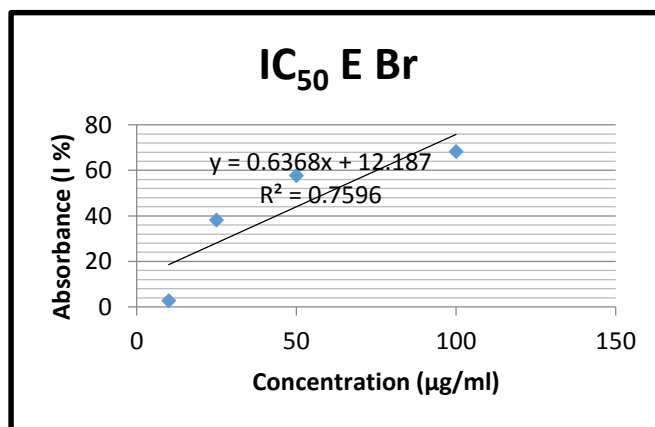
### III. Résultats des tests biologiques

#### III.1. Activité antioxydant

##### ❖ Détermination de l'activité anti-radicalaire des extraits de *Salvia officinalis* par la méthode DPPH

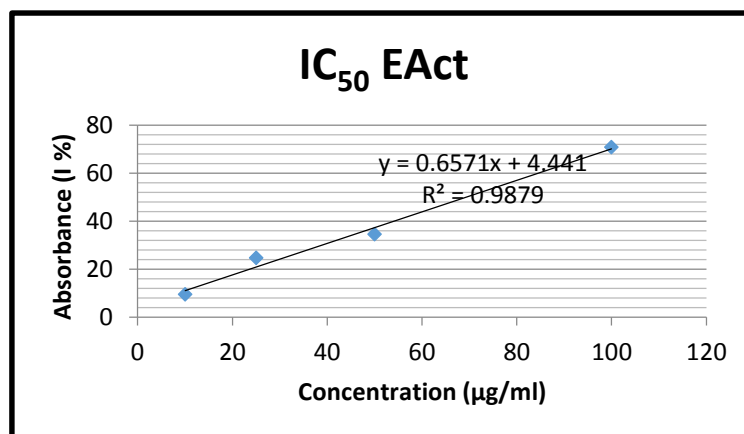
L'activité anti-radicalaire des différents extraits de la plante *Salvia officinalis* a été testée par la méthode du radical libre DPPH. Pour chaque extrait et pour chaque concentration, Les résultats obtenus sont représentés sous forme de droites dont les équations sont les suivants :

##### Extrait méthanolique brut



**Figure31** : Courbe d'étalon d'activité antioxydant de l'extrait méthanolique brut de la plante *Salvia officinalis*

##### Extrait d'acétate d'éthyle



**Figure 32** : Courbe d'étalon d'activité antioxydant de l'extrait d'acétate d'éthyle de la plante *Salvia officinalis*

Extrait n- butanolique

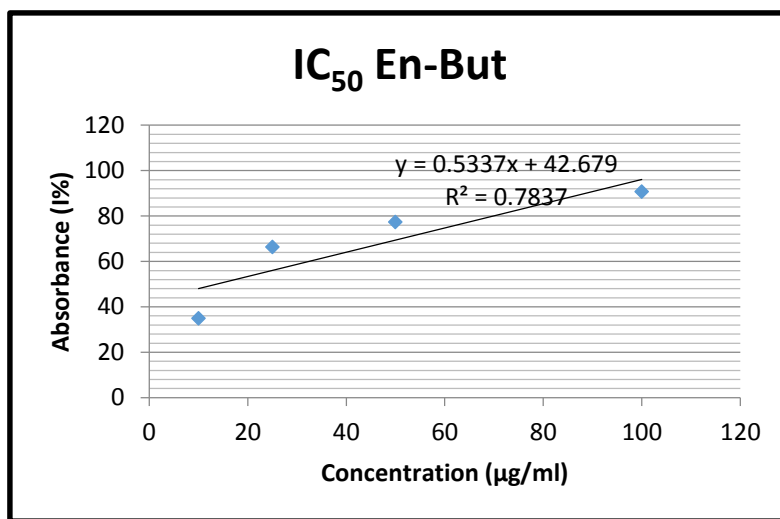


Figure 33 : Courbe d'étalon d'activité antioxydant de l'extrait n- butanolique de la plante *Salvia officinalis*

Huile Essentielle

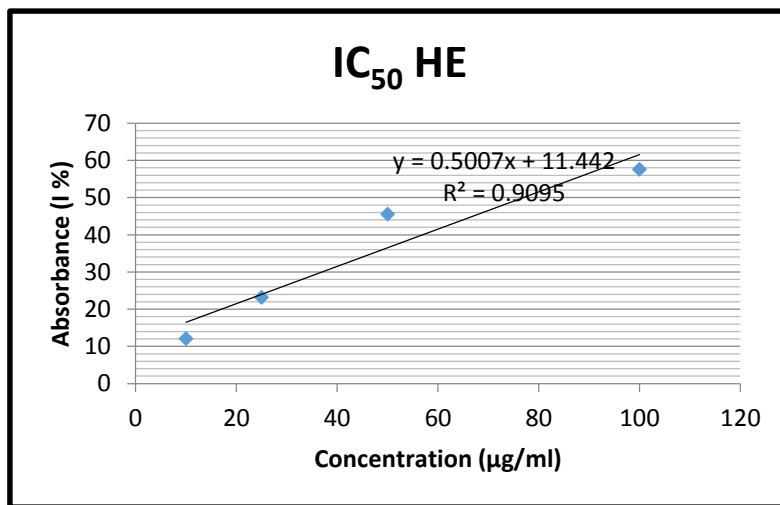


Figure 34 : Courbe d'étalon d'activité antioxydant de l'extrait Huile Essentielle de la plante *Salvia officinalis*

BHT

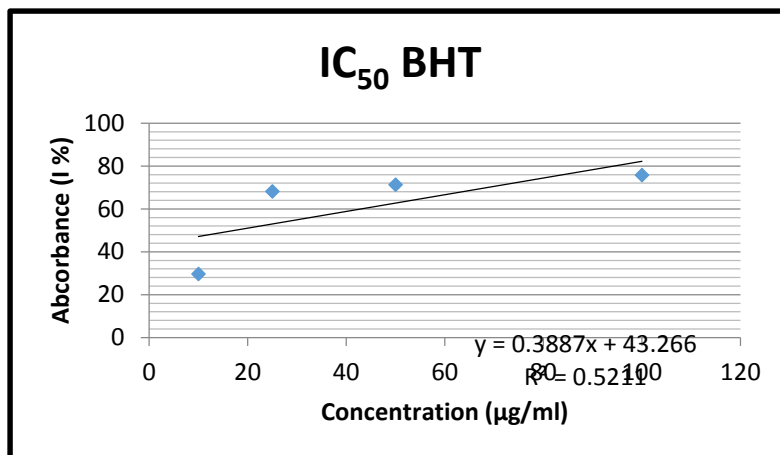


Figure 35 : Courbe d'étalon d'activité antioxydant de l'extrait BHT de la plante *Salvia officinalis*

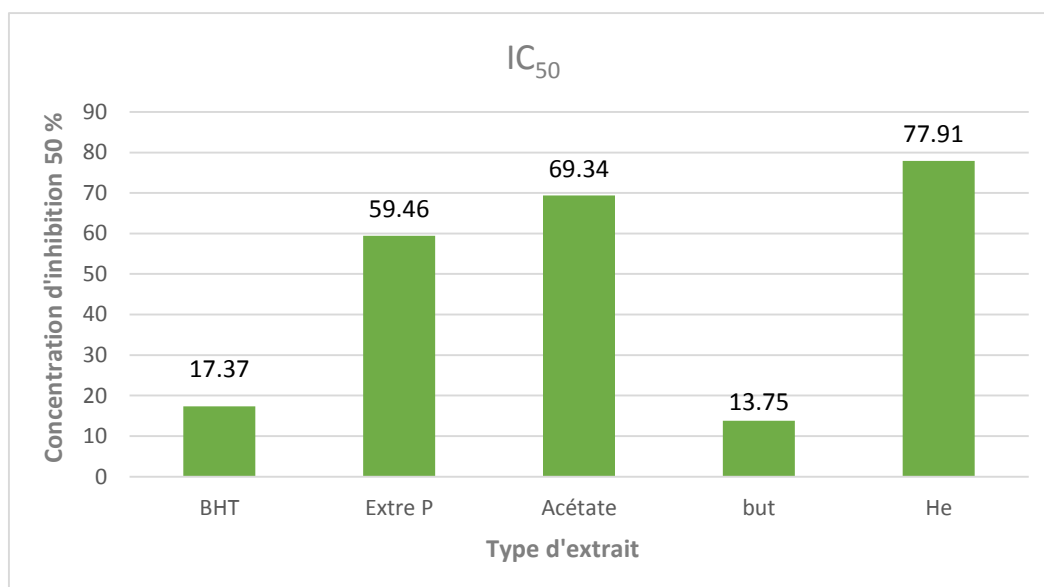


Figure 36 : Représentation de l'Inhibition du radical DPPH par l'estimation des valeurs d'IC<sub>50</sub> des différents extraits de *Salvia officinalis*

L'activité antioxydant a été évaluée par le spectrophotomètre suivant la réaction de ce radical qui s'accompagne par son passage de la couleur violette à la couleur jaune, mesurable à 517nm, cette capacité de réduction est déterminée par une diminution de l'absorbance induite par des substances anti-radicalaires (**Hamidi, 2011**). Calcul des IC<sub>50</sub> Il faut savoir aussi que l'IC<sub>50</sub> est la concentration nécessaire pour éliminer 50% des radicaux libres, c'est le paramètre utilisé pour mesurer l'activité de l'extrait à piéger le radical libre (**Cuvelier et al., 1992**) ; il est inversement lié à la capacité antioxydant d'un composé car une faible valeur d'IC<sub>50</sub> indique une forte efficacité antioxydant de l'extrait (**Babovic et al., 2010**).

Dans cette étude, l'activité antioxydante des différents extraits de *Salvia officinalis* a été évaluée à l'aide d'un lecteur de microplaques, révélant une variation nette des valeurs de IC<sub>50</sub> selon le type de solvant utilisé. L'extrait butanolique a présenté la plus forte activité antioxydante avec une valeur IC<sub>50</sub> de 13,75 µg/ml, suivi du standard BHT avec une valeur de 17,37 µg/ml, puis de l'extrait brut (59,46 µg/ml), ensuite de l'extrait d'acétate d'éthyle (69,34 µg/ml), tandis que les huiles essentielles ont montré la plus faible activité avec une IC<sub>50</sub> de 77,91 µg/ml. Cette variation reflète l'influence de la polarité des solvants, les solvants polaires comme le butanol favorisant l'extraction de composés phénoliques et flavonoïdes reconnus pour leur forte activité antioxydante (**Tzanova et al., 2019**).

Ces résultats sont en accord avec des études antérieures qui ont démontré que les extraits polaires de *Salvia officinalis*, tels que les extraits aqueux et méthanoliques, possèdent une activité antioxydante variable selon la méthode d'extraction et la concentration en composés phénoliques (**Džamić et al., 2016**). Par ailleurs, une autre étude a montré que l'utilisation de solvants hydroéthanoliques augmente la concentration des composés actifs et améliore l'activité antioxydante par rapport aux extraits traditionnels (**López et al., 2020**). En revanche, les huiles essentielles ont présenté une activité moindre, ce qui est conforme aux résultats d'études indiquant que leur composition contient des composés avec une activité antioxydante inférieure comparée aux extraits polaires (**Bozin et al., 2007**).

De plus, l'activité antioxydante est positivement corrélée à la teneur en composés phénoliques tels que l'acide rosmarinique et l'acide carnosique présents dans la sauge, qui jouent un rôle clé dans l'inhibition des radicaux libres (**Neagu et al., 2022**). Sur la base de ces résultats et comparaisons, il est possible de conclure que les extraits polaires de *Salvia officinalis*, notamment l'extrait butanolique, constituent des sources naturelles efficaces d'antioxydants, avec un potentiel d'application dans les domaines médical et alimentaire, tandis que les huiles essentielles demeurent moins efficaces dans ce contexte.

### III.2. Activité antibactérienne

#### III.2.1. Activité antibactérienne des polyphénols

**Tableau 8:** Diamètre de zone d'inhibition de différents extraits de plante *Salvia officinalis* sur la croissance de Souche bactérienne Extraite Brt

Les Souche bactérienne	Extrait Brt				Sensibility
	Concentration mg/ml				
	16	8	4	2	
<b>Diamètre de zone d'inhibition en mm</b>					
<i>Staphylococcus aureus</i>	9	8	7	7	+
<i>Salmonella typhimurium</i>	9	10	6	9	+
<i>Escherichia coli</i>	6	6	6	6	—
<i>Bacillus cereus</i>	6	6	6	6	—

Les résultats du test d'activité antibactérienne de l'extrait brut de *Salvia officinalis* contre quatre souches bactériennes ont montré une variation notable selon le type de bactérie et la concentration de l'extrait. L'extrait brut a présenté une activité significative contre *Staphylococcus aureus*, avec un diamètre de zone d'inhibition de 9 mm à la concentration de 16 mg/ml, diminuant progressivement jusqu'à 7 mm à 2 mg/ml, ce qui indique une relation positive entre la concentration et l'efficacité. Une bonne activité a également été observée contre *Salmonella typhimurium*, avec des diamètres variants entre 9 mm et 10 mm aux concentrations les plus élevées, et une diminution à 6 mm à 4 mg/ml, puis une remontée à 9 mm à la plus faible concentration. En revanche, aucune activité inhibitrice n'a été notée contre *Escherichia coli* et *Bacillus cereus*, le diamètre de la zone d'inhibition restant constant à 6 mm pour toutes les concentrations, ce qui correspond généralement au diamètre du disque lui-même, indiquant l'absence d'effet antibactérien. Ainsi, l'extrait brut de sauge présente une activité sélective envers certaines souches bactériennes, notamment les bactéries à Gram positif comme *Staphylococcus aureus* et certaines à Gram négatif telles que *Salmonella typhimurium*

**Tableau 9:** Diamètre de zone d'inhibition de différents extraits de plante *Salvia officinalis* sur la croissance de bactérienne Extraite AcOEt

Les Souche bactérienne	Extrait AcOEt				
	Concentration mg/ml				Sensibility
	16	8	4	2	
<b>Diamètre de zone d'inhibition en mm</b>					
<i>Staphylococcus aureus</i>	8	7	6	6	+
<i>Salmonella typhimurium</i>	9	8	7	6	+
<i>Escherichia coli</i>	6	6	6	6	—
<i>Bacillus cereus</i>	12	6	6	6	+

Les résultats obtenus montrent que l'extrait d'acétate d'éthyle de *Salvia officinalis* présente une activité antibactérienne variable selon la souche testée et la concentration utilisée. Un effet inhibiteur notable a été observé contre *Staphylococcus aureus*, avec un diamètre de zone d'inhibition de 8 mm à la concentration la plus élevée (16 mg/ml), diminuant progressivement à 6 mm à la concentration la plus faible (2 mg/ml). Une activité similaire a été notée contre *Salmonella typhimurium*, où le diamètre de la zone d'inhibition varie de 9 mm à 6 mm selon la concentration. En revanche, aucune activité n'a été détectée contre *Escherichia coli*, le diamètre restant constant à 6 mm quelle que soit la concentration, ce qui indique une absence d'effet inhibiteur. Pour *Bacillus cereus*, l'extrait a montré la plus grande efficacité à la concentration de 16 mg/ml (12 mm), puis une diminution marquée à des concentrations plus faibles. Ces résultats mettent en évidence le caractère sélectif de l'extrait vis-à-vis des différentes souches bactériennes, avec une efficacité maximale contre *Bacillus cereus* et *Staphylococcus aureus*, et aucune activité contre *Escherichia coli*.

**Tableau 10:** Diamètre de zone d'inhibition de différents extraits de plante *Salvia officinalis* sur la croissance de bactérienne Extrait BuOH

Les Souche bactérienne	Extrait BuOH				Sensibility
	Concentration mg/ml				
	16	8	4	2	
<b>Diamètre de zone d'inhibition en mm</b>					
<i>Staphylococcus aureus</i>	6	6	6	6	—
<i>Salmonella thyphimurium</i>	6	6	6	6	—
<i>Escherichia coli</i>	6	6	6	6	—
<i>Bacillus cereus</i>	6	6	6	6	—

Les résultats du test d'activité antibactérienne de l'extrait de butanol (BuOH) sur les souches bactériennes étudiées ont montré l'absence d'effet inhibiteur de croissance, puisque le diamètre de la zone d'inhibition est resté constant à 6 mm pour toutes les concentrations testées (16, 8, 4, 2 mg/ml) et pour toutes les souches examinées, sans observer de différences ni d'augmentations dans les diamètres. Cela indique une absence d'activité antibactérienne de cet extrait dans les conditions et concentrations utilisées dans cette étude.

**Tableau 11 :** Diamètre de zone d'inhibition de différents extraits de plante *Salvia officinalis* sur la croissance de bactérienne Extrait Les HE

Les Souche bactérienne	Les HE				Sensibility
	Concentration mg/ml				
	16	8	4	2	
<b>Diamètre de zone d'inhibition en mm</b>					
<i>Staphylococcus aureus</i>	6	6	6	6	—
<i>Salmonella thyphimurium</i>	7	6	8	7	+
<i>Escherichia coli</i>	6	6	6	6	—
<i>Bacillus cereus</i>	6	6	6	6	—

À la lumière des résultats présentés dans le tableau, il apparaît que l'huile essentielle étudiée n'a montré aucune activité inhibitrice sur la croissance de la plupart des souches bactériennes testées, puisque le diamètre de la zone d'inhibition est resté constant à 6 mm pour toutes les concentrations, concernant les souches *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Bacillus cereus*, ce qui indique l'absence d'effet antibactérien dans ces cas. En revanche, la souche *Salmonella thyphimurium* a présenté une réponse différente, caractérisée par une légère augmentation du diamètre de la zone d'inhibition en fonction des concentrations, suggérant une sensibilité relative à cette huile essentielle uniquement pour cette souche. Ces résultats reflètent la sélectivité de l'effet antibactérien de l'huile essentielle et soulignent la nécessité de mener davantage d'études afin de déterminer son mécanisme d'action et d'évaluer son efficacité sur un éventail plus large de souches bactériennes.

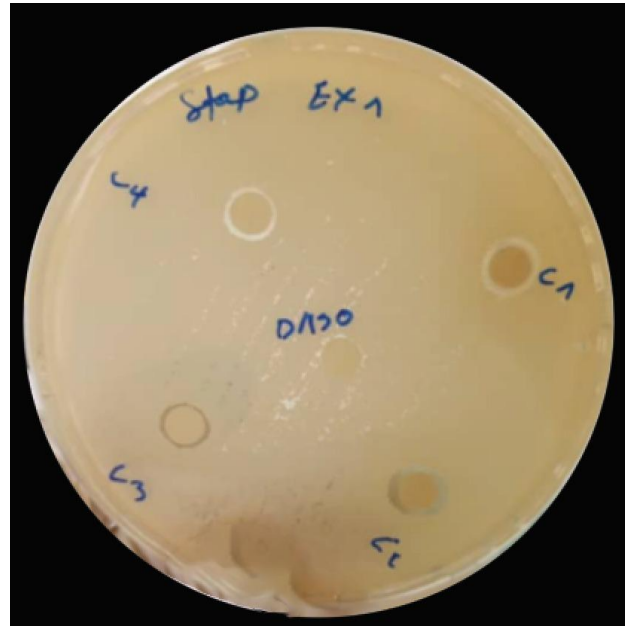
À la fin de cette présentation des résultats figurant dans les tableaux et les images, on peut résumer que le pouvoir antibactérien varie d'un extrait à un autre. Le diamètre de la zone d'inhibition de l'extrait étudié diffère selon la bactérie testée ainsi que selon le type d'extrait. Cette variation de l'activité antimicrobienne des extraits vis-à-vis d'une même bactérie est principalement due aux différences dans leur composition chimique (Boudjouref, 2011 ; Ben Sassi et al., 2007 ; Naili et al., 2010).

De plus, **Hayouni et al. (2007)** ont montré que la méthode d'extraction et la nature du solvant peuvent influencer l'activité antibactérienne des composés phénoliques des plantes. L'activité antibactérienne des flavonoïdes peut s'expliquer par des mécanismes de toxicité envers les microorganismes, incluant des interactions non spécifiques telles que la formation de ponts hydrogène avec les protéines des parois cellulaires ou les enzymes, la chélation des ions métalliques, l'inhibition du métabolisme bactérien, ainsi que la séquestration des substances nécessaires à la croissance bactérienne (**Karou et al., 2005**).

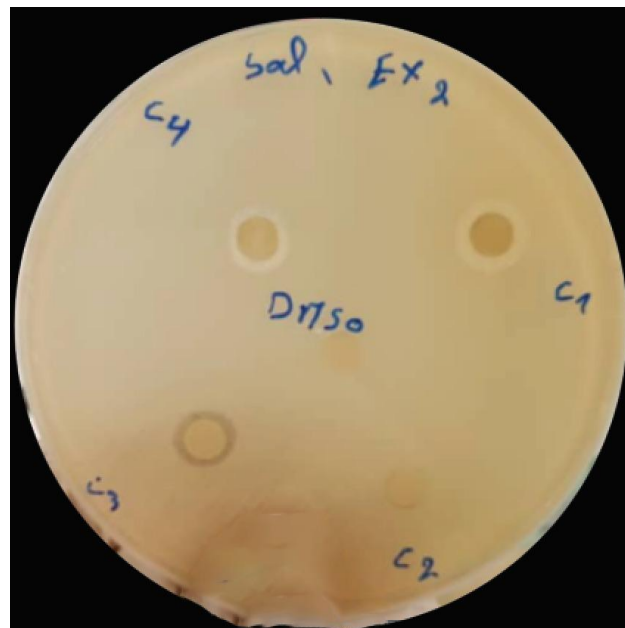
Les extraits de la plante *Salvia officinalis* sont reconnus comme une source naturelle dotée d'une activité antibactérienne, principalement due à leur composition chimique riche en composés phénoliques, acides organiques et huiles essentielles possédant des propriétés inhibitrices sur la croissance de plusieurs souches bactériennes. Des études ont montré que l'huile essentielle de la sauge exerce une forte activité contre les bactéries à Gram positif, notamment *Staphylococcus aureus*, avec des zones d'inhibition significatives témoignant d'une grande efficacité (**Bakhouch et al., 2005**). Des analyses chimiques récentes indiquent que des composés actifs tels que les monoterpènes cétones, les tanins et les acides phénoliques (acide rosmarinique et caféique) jouent un rôle important dans cette activité antibactérienne (**Dhouib & Souaker, 2023**).

En ce qui concerne les bactéries à Gram négatif comme *Escherichia coli* et *Salmonella typhimurium*, certaines études ont rapporté une activité modérée des extraits, ce qui s'explique par la structure complexe de leur paroi cellulaire qui réduit la perméabilité des composés actifs (**Maatouq & Naqishbandi, 2012**). De plus, la méthode d'extraction et la concentration de l'extrait influencent significativement l'intensité de l'activité antibactérienne, les extraits alcooliques et chloroformiques montrant une activité variable selon la concentration utilisée (**Maatouq & Naqishbandi, 2012**). Par ailleurs, l'activité antibactérienne est liée à la concentration des substances actives dans l'huile essentielle, qui varie selon le lieu et la période de récolte de la plante (**Dhouib & Souaker, 2023**).

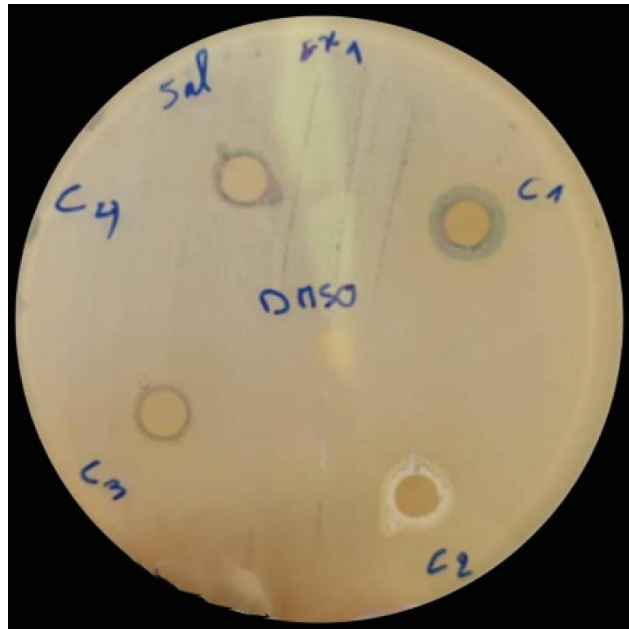
Ces études démontrent l'importance de la sauge comme source naturelle de composés antibactériens, particulièrement contre les bactéries à Gram positif telles que *Staphylococcus aureus*, ce qui en fait un candidat prometteur pour des applications médicales et pharmaceutiques dans la lutte contre les infections (**Bakhouch et al., 2005 ; Maatouq & Naqishbandi, 2012**).



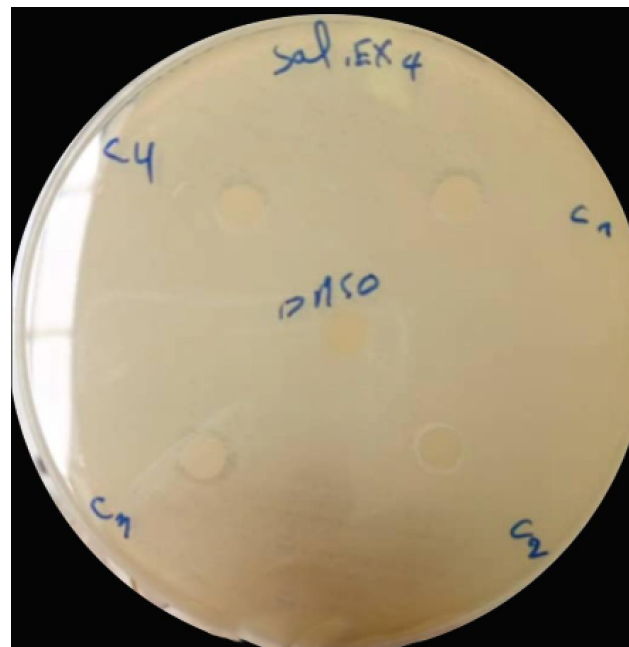
**Figure 37** : L'effet de l'extrait brut de la plante *Salvia officinalis* sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.



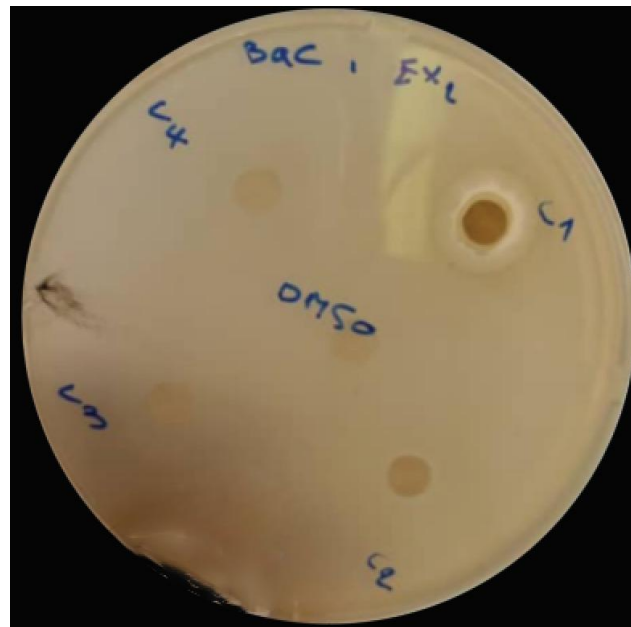
**Figure 38** : L'effet de l'extrait Acétat de la plante *Salvia officinalis* sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.



**Figure 39** : L'effet de l'extrait brut de la plante *Salvia officinalis* sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.



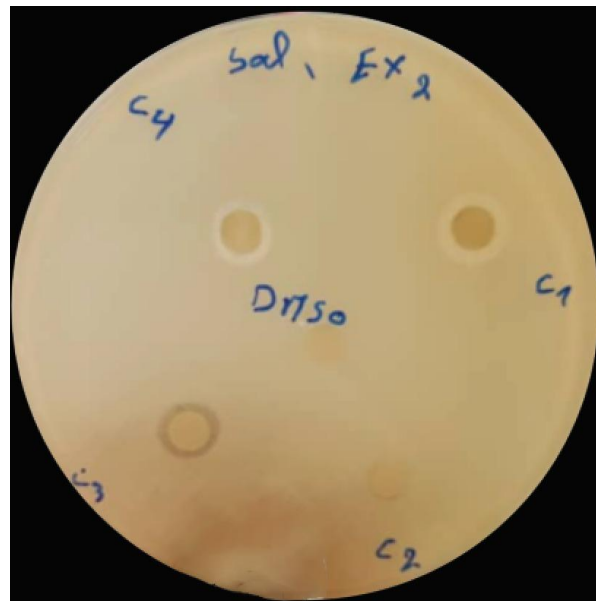
**Figure 40** : L'effet de l'extrait les huiles essentielles de la plante *Salvia officinalis* sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.



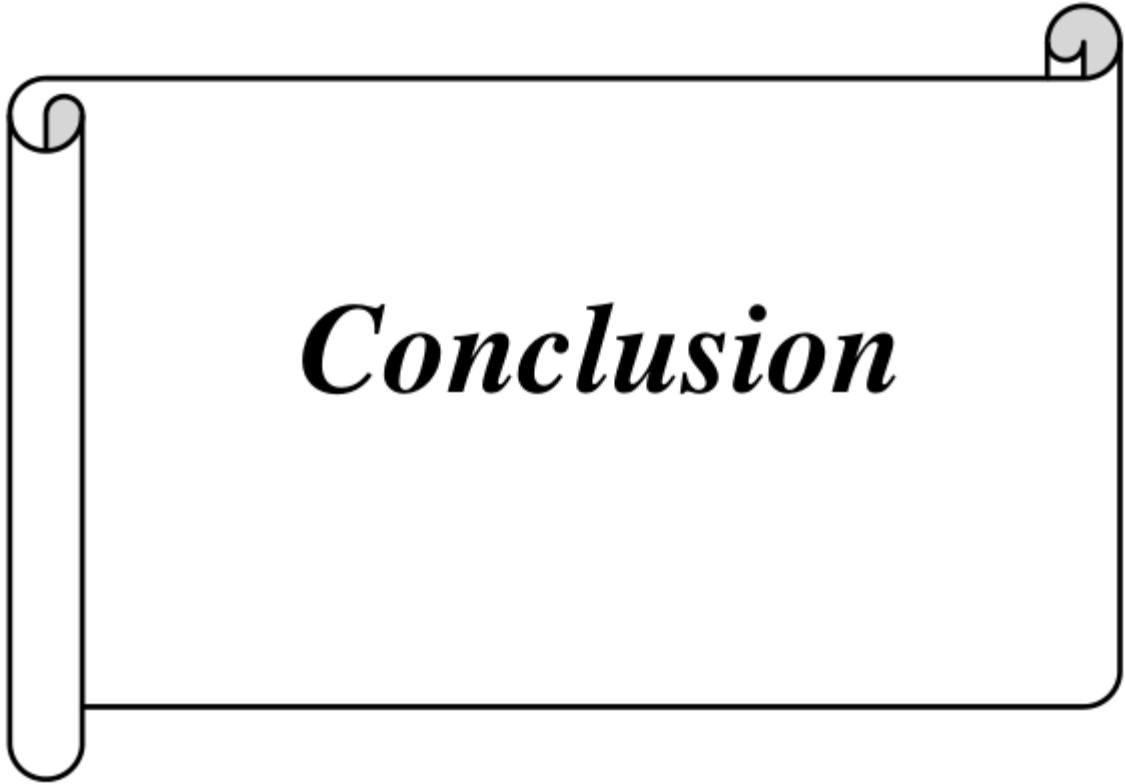
**Figure 41 :** L'effet de l'extrait brut de la plante *Salvia officinalis* sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.



**Figure 42:** L'effet de l'extrait Acétat de la plante *Salvia officinalis* sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.



**Figure 43** : L'effet de l'extrait Acétat de la plante *Salvia officinalis* sur les souches bactériennes testée en présence différent concentration d'extraits.



***Conclusion***

## Conclusion

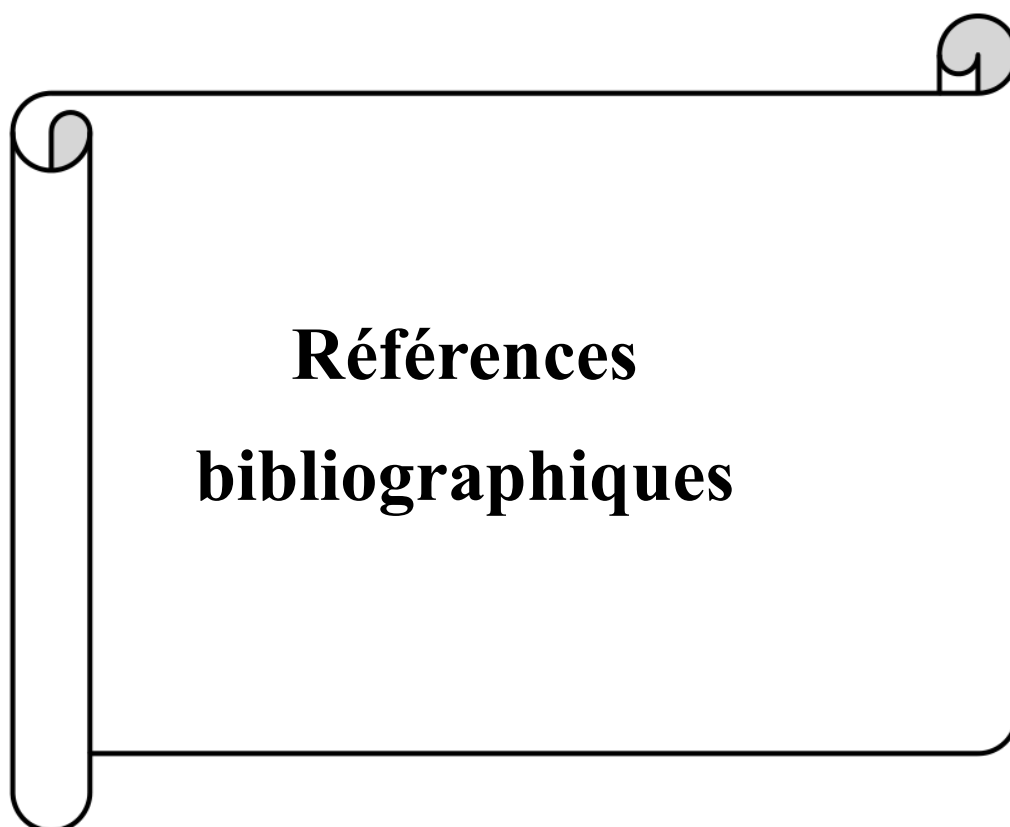
Les résultats de cette étude soulignent l'importance capitale de tester le type de solvant pour l'extraction des composés actifs de la sauge (*Salvia officinalis*), car il apparaît clairement que le type de solvant influence directement le rendement d'extraction, la composition chimique des extraits, ainsi que leur activité biologique.

L'extrait brut (EBr) a donné le rendement le plus élevé, soit 20,98 %, et présente une activité antioxydante modérée avec une valeur  $IC_{50}$  de 59,46  $\mu\text{g/mL}$ , ce qui indique la présence de composés chimiques extractibles contribuant à cette activité. Vient ensuite l'extrait au n-butanol (En-BuOH), qui a montré une activité antioxydante plus forte avec une  $IC_{50}$  de 13,75  $\mu\text{g/mL}$ , surpassant le standard BHT (17,37  $\mu\text{g/mL}$ ). L'extrait à l'acétate d'éthyle (EAcOEt) a présenté un rendement relativement faible de 6,56 % avec une activité antioxydante moindre ( $IC_{50} = 69,34 \mu\text{g/mL}$ ). Quant à l'huile essentielle de la sauge, elle a eu le rendement le plus bas (0,20 %) et la plus faible activité antioxydante ( $IC_{50} = 77,91 \mu\text{g/mL}$ ), ce qui est naturel compte tenu de sa composition volatile et de sa faible concentration en principes actifs.

L'analyse chromatographique de l'extrait à l'acétate d'éthyle a révélé une diversité de composés phénoliques et flavonoïdes connus pour leur activité biologique, tandis que l'extrait au butanol n'a pas montré de différences significatives dans les composés extraits selon le solvant utilisé.

Concernant l'activité antibactérienne, l'extrait brut et l'extrait à l'éthanol éthylique ont démontré une efficacité létale contre certaines souches telles que *Salmonella typhimurium* et *Staphylococcus aureus*, avec des diamètres d'inhibition variant entre 6 mm et 10 mm selon la concentration. En revanche, l'extrait au butanol n'a montré aucune activité antibactérienne, et l'huile essentielle de la sauge a présenté une activité très faible.

Ces résultats mettent en lumière le rôle crucial du choix du solvant dans la qualité et l'efficacité des extraits végétaux, soulignant la nécessité d'adapter le solvant en fonction de l'objectif de l'extraction, qu'il s'agisse d'activité antioxydante ou antibactérienne. Cette étude ouvre également des perspectives pour le développement d'extraits de sauge efficaces à des fins pharmaceutiques et alimentaires, tout en insistant sur la nécessité de recherches complémentaires pour identifier précisément les composés actifs et améliorer les méthodes d'extraction.



### Références bibliographiques :

1. **Abdeli, A. (2017).** *Étude phytochimique et évaluation de l'activité biologique de Thymelaea hirsuta* [Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem]. <http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle/123456789/2892>
2. **Alloun, K. (2013).** *Composition chimique et activités antioxydante et antimicrobienne des huiles essentielles de l'aneth (Anethum graveolens L.), de la sauge (Salvia officinalis L.) et de la rue des montagnes (Ruta montana L.)*. Thèse de magister en agronomie : alimentation et nutrition, École nationale supérieure agronomique El Harrach, 119 p. Disponible sur [http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/385/1/alloun\\_k.pdf](http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/385/1/alloun_k.pdf).
3. **Amina, B., & Hadjer, M. (2015).** *Les antioxydants* (Doctoral dissertation, Université de Ghardaïa).
4. **Attou, A. (2011).** *Contribution à l'étude phytochimique & activités biologiques des extraits de la plante Ruta chalepensis (fidjel) de la région d'Ain Témouchent*. Mémoire de magister en biologie, Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen, pp. 9-15.
5. **Baba Aissa, F. (1999).** *Encyclopédie des plantes utiles (Flore d'Algérie et du Maghreb): Substances végétales d'Afrique, d'Orient et d'Occident*. Edas, Alger, 368 p.
6. **Baba Aissa, F. (2000).** *Encyclopédie des plantes utiles : Flore d'Algérie et du Maghreb*. Librairie Moderne Rouiba, pp. 252–253.
7. **Babovic, N., Djilas, S., Jadranin, M., Vajs, V., Ivanovic, J., Petrovic, S., & Zizovic, I. (2010).** Supercritical carbon dioxide extraction of antioxidant fractions from selected Lamiaceae herbs and their antioxidant capacity. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 98–107.
8. **Bakhouch, K., Belkacem, F., Zekkar, F., & Alakoun, S. (2005).** *Étude de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de Salvia officinalis (L.)*. Université de Jijel.
9. **Bakli, S. (2020).** *Activité antimicrobienne, antioxydante et anticoccidienne des extraits phénoliques des quelques plantes médicinales locales*. Thèse de doctorat en biologie microbiologie, Université Ferhat Abbas Sétif 1, 216 p.
10. **Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006).** Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191–203.

11. **Beloued, A. (2014).** *Plante médicinale d'Algérie*. Ben Aknoute: Edition OPU, 296 p. ISBN 978-9961-0-0304-6.
12. **Ben Sassi, A., Harzallah-Skhiri, F., & Aouni, M. (2007).** Investigation of some medicinal plants from Tunisia for antimicrobial activities. *Journal of Pharmacognosy and Biology*, 45(5), 421–428.
13. **Benabdellah, A., Meddah, B., Tir Touil, A., & Sonnet, P. (2006).** Étude de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Salvia officinalis* L.. *Mémoire de Master, Université de Bordj Bou Arréridj*. <https://dspace.univ-bba.dz/handle/123456789/336>
14. **Benamar, H., et al. (2010).** Phytochemical screening of *Salvia* species. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(14), 1383–1392.
15. **Benayache, F. (2013).** *Étude phytochimique et biologique de l'espèce Thymus numidicus Poiret*. Mémoire de magister en chimie organique, Université Constantine 1, pp. 23–34.
16. **Boudjouref, M. (2011).** *Étude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'Artemisia campestris* L. p. 51.
17. **Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2011).** Phytochemical study of *S. calamintha*. *African Journal of Food Science*, 5(10), 550–556.
18. **Bouhadjra, K. (2011).** *Étude de l'effet des antioxydants naturels et de synthèse sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge* (Doctoral dissertation, UMMTO).
19. **Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., & Gontier, E. (2001).** Production of plant secondary metabolites: A historical perspective. *Plant Science*, 161(5), 839–851. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00490-3](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00490-3)
20. **Bousta, D., & Ennabili, A. (2011).** L'Institut national des plantes médicinales et aromatiques au service du développement de la phytothérapie au Maroc. *Phytothérapie*, 9(5), 297–303. <https://doi.org/10.1007/s10298-011-0631-y>
21. **Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Simin, N., & Anackov, G. (2007).** Characterization of the volatile composition of essential oils of some Lamiaceae spices and the antimicrobial and antioxidant activities of the entire oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(19), 7879–7885.
22. **Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 28, 25–30.

23. **Bruneton J. (2009)** - Pharmacognosie : phytochimie, plantes médicinales. 4e éd : Lavoisier : Paris., 1269p.
24. **Bruneton, J. (1999)**. *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (3e éd.). Paris : Éditions médicales internationales, Éditions Toc et Doc Lavoisier, 1120 p.
25. **Bruneton, J. (2009)**. Pharmacognosie, phytochimie, *plantes médicinales* (4e éd.). Paris: Lavoisier, 1292 p.
26. **Burt, S. (2004)**. Essential oils, their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223–226.
27. **Calatayud, P. A., Marion-Poll, F., Sauvion, N., & Thiéry, D. (2013)**. *Interactions insectes-plantes*. Éditions Quae, Marseille, pp. 218–222.
28. **Chemar, K. (2016)**. *Étude ethnobotanique de quelques plantes médicinales spontanées de la région El Outaya*. Mémoire de master, Université Mohamed Khider, Biskra, pp. 8–11.
29. **Couplan, F. (2012)**. *Les plantes et leurs noms : Histoires insolites*. Éditions Quae.
30. **Crozier, A., Clifford, M. N., & Ashihara, H. (2007)**. *Phenols, polyphenols, and tannins: An overview*. In *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet* (Chap. 1, pp. 1–384). John Wiley & Sons.
31. **Cruz, J. M., Dominguez, J. M., Dominguez, H., & Parajo, J. C. (2001)**. Antioxidant and antimicrobial effects of extracts from hydrolysates of lignocellulosic materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2459-2464.
32. **Decaux, I. (2002)**. *Phytothérapie : Mode d'emploi*. Le Bien Public, 6 p.
33. **Denis, M. (2002)**. *Escherichia coli : Caractéristiques et pathogénie*. Éditions scientifiques.
34. **Dhouib, A., & Souaker, M. (2023)**. *Étude des composés actifs et activité antioxydante de Salvia officinalis du sud algérien*. Université de Ouargla.
35. **Dierick, K., Devriese, L., & Vandamme, P. (2005)**. Fatal family outbreak of Bacillus cereus-associated food poisoning. *Emerging Infectious Diseases*, 11(4), 547–550.
36. **Djahra, A. (2014)**. *Phytochemical analysis of medicinal plants*. Thèse de doctorat, Université de Tlemcen.
37. **Djerroumi, A., & Nacef, M. (2004)**. *100 plantes médicinales d'Algérie*. Palais du Livre, pp. 135–131.
38. **Dradji-Krama, M., et al. (2022)**. *Évaluation du rendement en huile essentielle utilisant l'appareil de Clevenger chez des plantes aromatiques*. Université d'Ouargla.

39. **Du, J., Cullen, J. J., & Buettner, G. R. (2012).** *Ascorbic acid: Chemistry, biology and the treatment of cancer. Biochimica et Biophysica Acta, 1826(2), 443–457.*
40. **Duling, E. N., Catchpole, O. J., Grey, J. B., Webby, F. R., Mitchell, K. M., Foo, L. Y., & Perry, N. B. (2007).** *Extraction of phenolic and essential oil from dried sage (Salvia officinalis L) using ethanol-water mixture. Food Chemistry, 101(4), 1417–1424.*  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.050>
41. **Dupont, F., & Guignard, J. L. (2015).** *Botanique : Les familles de plantes.* Elsevier Masson.
42. **Džamić, A. M., Soković, M., Ristić, M., & Vukojević, J. (2016).** *Comparison of total phenolic content and antioxidant activity in extracts of Salvia species. Industrial Crops and Products, 83, 34–40.*
43. **Earl, A. M., Losick, R., & Kolter, R. (2008).** *Ecology of Bacillus subtilis and Bacillus cereus in the human gastrointestinal tract. Journal of Bacteriology, 190(8), 2718–2728.*
44. **El Amri, J., Elbadaoui, K., Zair, T., Bouharb, H., Chakir, S., & Alaoui Taj Lmolck. (2014).** *Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de Teucrium capitatum L et l'extrait de Silene vulgaris sur différentes souches testées. Journal of Applied Biosciences, 82, 7481–7492.*
45. **El Astal, Z. Y., Ashour, E. R. A., & Kerrit, A. A. M. (2005).** *Antimicrobial activity of some medicinal plant extracts in Palestine. Pakistan Journal of Medical Sciences, 21(2), 187–193.*
46. **El Haib, A. (2011).** *Valorisation des terpènes naturels issus de plantes marocaines par transformation catalytique.* Université de Toulouse, pp. 4–12.
47. **Fabre, M.-C., Genin, A., Merigoux, J., & Moget, E. (1992).** *Herboristerie familiale : Des recettes simples pour résoudre les problèmes simples.* 103 p.
48. **Fàbrega, A., & Vila, J. (2013).** *Salmonella enterica serovar Typhimurium skills to succeed in the host: Virulence and regulation. Clinical Microbiology Reviews, 26(2), 308–341.*
49. **Farnsworth, N., Akerele, O., Binget, A. S., Soejarto, D. D., & Guo, Z. (1986).** *Place des plantes médicinales dans la thérapeutique. Bulletin de l'Organisation mondiale de la santé, 64(2), 159–164.*
50. **Favier, A. (2003).** *Le stress oxydant. L'actualité chimique, 108(10), 863–832.*
51. **Favier, A. (2003).** *Mécanismes biochimiques – Le stress oxydant : Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. L'actualité chimique, 108(10), 108–115–111.*

52. **Favier, A. (2006).** *Stress oxydant et pathologies humaines. Annales Pharmaceutiques Françaises*, 64, 390–396.
53. **Foti, M. C., Daquino, C., & Geraci, C. (2004).** *Electron-transfer reaction of cinnamic acids and their methyl esters with the DPPH radical assay. Journal of Organic Chemistry*, 69(9), 2309–2461.
54. **Ghorbani, A., & Esmaeilzadeh, M. (2017).** *Pharmacological properties of Salvia officinalis and its components. Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(4), 433–440.
55. **Gnanamani, A., Hariharan, P., & Paul-Satyaseela, M. (2017).** *Staphylococcus aureus: Overview of bacteriology, clinical diseases, epidemiology, antibiotic resistance and therapeutic approach. Frontiers in Staphylococcus aureus*, 1–29.
56. **Gouveia, S., & Castilho, P. C. (2012).** *Helichrysum monizii* Lowe: Phenolic composition and antioxidant potential. *Phytochemical Analysis*, 23(1), 72–83.
57. **Goyal, S., Lambert, C., Cluzet, S., Mérillon, J. M., & Ramawat, K. G. (2011).** *Secondary metabolites and plant defence. In Plant Defence: Biological Control* (pp. 109–138). [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1933-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1933-0_5)
58. **Guignard, J. L. (1996).** *Biochimie végétale*. Masson, Paris, France, 274 p.
59. **Halliwel, B., & Gutteridge, J. M. C. (1999).** *Free radicals in biology and medicine* (3rd ed.). Oxford University Press, Oxford, pp. 1–25.
60. **Hamidi, A. (2013).** *Étude phytochimique et activité biologique de la plante Limoniastrum guyoonianum*. Mémoire de magistère, Université Kasdi Merbah Ouargla, p. 86.
61. **Hamidpour, M. R. S., & Shahlari, M. (2014).** *Chemistry, pharmacology, and medicinal property of sage (Salvia) to prevent and cure illnesses such as obesity, diabetes, depression, dementia, lupus, autism, heart disease, and cancer. Journal of Medicinal Plants Research, Vol. 4*, 82–88.
62. **Haslam, E. (1994).** *Natural polyphenols (vegetable tannins): Gallic acid metabolism. Natural Product Reports, Vol. 11*, 41–66.
63. **Hayouni, E. A., Abedrabba, M., Bouix, M., & Hamdi, M. (2007).** *The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian Quercus coccifera L. and Juniperus phoenicea L. fruit extracts. Food Chemistry, in press.*

64. **Hellal, Z. (2011).** *Contribution à l'étude des propriétés antibactériennes et antioxydantes de certaines huiles essentielles extraites des citrus: Application sur la sardine (Sardina pilchardus).* Mémoire de magister en biologie, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie, 78 p.
65. **Herbert, R. B. (2003).** The biosynthesis of plant alkaloids and nitrogenous microbial metabolites. *Natural Product Reports*, 20, 494–508. Influence of phenolic acid content on sensory perception of bread and crackers made from red or white wheat. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 181–188. *Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Agro Paris Tech*, p. 9.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092730>. Available at [Europe PMC](#)
66. **Iserin, P. (2001).** *Larousse encyclopédie des plantes médicinales : Identification, préparation, soins.* Larousse-Bordas, 335 p.
67. **Judd, W. S., Campbell, C., Kellogg, E. A., & Stevens, P. F. (2002).** *Botanique systématique : Une perspective phylogénétique.* Traduction et révision scientifique de la 1ère édition américaine par Jules Bouharmont et Charles-Marie Evrard. De Boeck Université, pp. 84–88, 467.
68. **Kögel-Knabner, I., & Amelung, W. (2013).** *Dynamics, chemistry, and preservation of organic matter in soils.* In K. K. Turekian & H. D. Holland (Eds.), *Treatise on Geochemistry* (2nd ed., Vol. 12, pp. 157–215). Elsevier Inc.
69. **Konda, S. G., Shingade, P. V., & Shinde, M. A. (2011).** Determinants of delays in diagnosis and treatment of pulmonary tuberculosis in a new urban township in India: A cross-sectional study. *International Journal of Medical Science and Public Health*, 1(2), 20–24
70. **Kotiranta, A., Lounatmaa, K., & Haapasalo, M. (2000).** *Epidemiology and pathogenesis of Bacillus cereus infections.* *Microbes and Infection*, 2(2), 189–198.
71. **Kuhnau, J. (1976).** *The flavonoids: A class of semi-essential food components – their role in human nutrition.* *World Review of Nutrition and Dietetics*, 24, 117–191.
72. **Lana, A., & Alaadin, M. (2012).** *Phytochemical screening of S. officinalis.* *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 4(3), 38–45. Retrieved from [ResearchGate](#)
73. **Le Loir, Y., & Gantier, M. (2009).** *Staphylococcus aureus.* Lavoisier. Retrieved from [Google Books](#)
74. **Lima, P. S. S., Lucchese, A. M., Araújo-Filho, H. G., Menezes, P. P., Araújo, A. A. S., Quintans Júnior, L. J., & Quintans, J. S. S. (2016).** *Inclusion de terpènes dans les cyclodextrines : Méthodes*

de préparation, de caractérisation et pharmacologiques. *Polymères Glucidiques*, 151, 965–987.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.040>

75. López, V., Martín, S., Gómez-Serranillos, M. P., Carretero, M. E., & Villar, A. M. (2020). Antioxidant and anti-inflammatory activities of cytocompatible *Salvia officinalis* extracts: A comparison between traditional and Soxhlet extraction. *Antioxidants*, 9(11), 1157.
76. Maatouq, L. Y., & Naqishbandi, A. M. (2012). Étude de l'activité antibactérienne et de la composition chimique des extraits de feuilles de *Salvia officinalis* d'Irak. *Revue des sciences pharmaceutiques irakiennes*, 21(1), 93–97.
77. Macheix, J.-J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). *Les composés phénoliques des végétaux: Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
78. Maksimovic, M., Vidic, D., Milos, M., Abadzic, S., & Siljak-Yakovlev, S. (2007). Effect of the environmental conditions on essential oil profile in two Dinaric *Salvia* species: *Salvia brachyodon* Vandas and *Salvia officinalis* L. *Biochemical Systematics and Ecology*, 35, 473–478.
79. Malecky, M. (2008). *Métabolisme des terpénoïdes chez les caprins*. Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech). Disponible sur [Theses.fr](https://theses.fr/07101274017).  
[.HAL](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00311111)
80. Manning, P. A. (2010). *Escherichia coli: From commensal to pathogen*. Springer.
81. Markham, K. R. (1982). *Techniques of flavonoid identification*. Academic Press. Disponible [Google Books](https://books.google.com/books?id=9v8vAAAAIAAA).  
[Springer](https://www.springer.com/9780123152230)
82. Merghem, R. (2009). *Eléments de biochimie végétale*. Édition Bahaeddine. Disponible [على](https://www.univ-bordj.dz/ressources/bibliothecaires/merghem_rachid_2009.pdf)  
[Université Constantine](https://www.univ-bordj.dz/ressources/bibliothecaires/merghem_rachid_2009.pdf) و [Université Guelma](https://www.univ-bordj.dz/ressources/bibliothecaires/merghem_rachid_2009.pdf)
83. Migdal, C., & Serres, M. (2011). Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. *Médecine/Sciences (Paris)*, 27(4), 405–412. <https://doi.org/10.1051/medsci/2011274017>
84. Miller, R. E., McConville, M. J., & Woodrow, I. E. (2006). Cyanogenic glycosides from the rare Australian endemic rainforest tree *Clerodendrum grayi* (Lamiaceae). *Phytochemistry*, 67(1), 43–51.
85. Murry, R. D. H., Mendez, J., & Brown, S. A. (1982). *The natural coumarins: Occurrence, chemistry and biochemistry*. John Wiley & Sons.

86. Naghibi, F., Mosadegh, M., Mohammadi, M. S., & Ghorbani, A. B. (2005). Labiatae family in folk medicine in Iran: From ethnobotany to pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, (2), 63–79.
87. Narayana, K. R., Reddy, M. S., Chaluvadi, M. R., & Krishna, D. R. (2001). Bioflavonoids: Classification, pharmacological, biochemical effects and therapeutic potential. *Indian Journal of Pharmacology*, 33(1), 2–16
88. Neagu, E., Mocan, A., Pop, R. M., Bocsan, I. C., & Crişan, G. (2022). Current state of the art on the antioxidant activity of sage (*Salvia* spp.) and its bioactive components. *Planta Medica*, 88(1), 1–14
89. Okorie, N. H., Jude, A. I., Walter, U. G., Treasure, U. N., Peace, O. C., & Valantine, A. C. (2023). Study of anti-ulcerogenic effect of methanol extract and fractions of the leaves of *Ocimum gratissimum* (Lamiaceae), on ethanol-induced ulcer in rats. *Journal of Basic and Applied Pharmaceutical Science*, 1(1), Article 101.
90. Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2013). *La recherche pour la couverture sanitaire universelle : Rapport sur la santé dans le monde 2013*. <https://iris.who.int/handle/10665/85764>
91. Ouis, N. (2015). *Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil* (Thèse de doctorat). Université d'Oran, Oran.
92. Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reactions: Antioxidative activities of product of browning reaction prepared from glucosamine. *Japan Journal*
93. Padrini, F., & Lucheroni, M. T. (1997). *Les huiles essentielles*. De Vecchi S.A.
94. Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, e47.
95. Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). *Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease*. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270–278. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>
96. Pengelly, A. (2003). *The constituents of medicinal plants: An introduction to the chemistry and therapeutics of herbal medicine* (2nd ed.). Routledge.

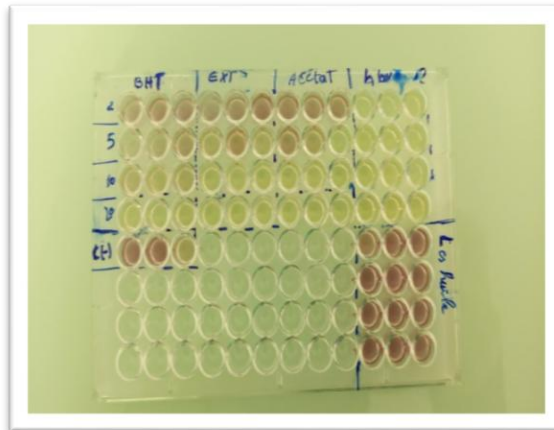
97. **Privas, E. (2013).** *Matériaux ligno-cellulosiques: Élaboration et caractérisation*. Thèse de doctorat en science et génie des matériaux, L'École Nationale Supérieure des Mines, Paris, France, 166 p.
98. **Quézel, P., & Santa, S. (1963).** *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome II. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, pp. 603, 781–793.
99. **Radulescu, V., Chiliment, S., & Oprea, E. (2004).** *Capillary gas chromatography-mass spectrometry of volatile and semi-volatile compounds of Salvia officinalis*. *Journal of Chromatography A*, 1027(1–2), 121–126. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2003.11.046>
100. **Rahmani-Zanou, A. (2020).** *Étude méthodologique de certaines espèces du genre Salvia et facteurs influençant le rendement en huile essentielle*. Université d'Ouargla.
101. **Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999).** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
102. **Reichling, J., Schnitzler, P., Suschke, U., & Saller, R. (2009).** *Essential oils of aromatic plants with antibacterial, antifungal, antiviral, and cytotoxic properties – an overview*. *Forschende Komplementärmedizin*, 16(2), 79–90. [Karger Publishers](https://www.karger.com/Article/Fulltext/237073)
103. **Roberts, M. F. (2013).** *Alkaloids: Biochemistry, Ecology, and Medicinal Applications*. Springer Science & Business Media.
104. **Schauenberg, P., & Paris, F. (2006).** *Guide des plantes médicinales: Analyse, description et utilisation de 400 plantes*. Éditions Delachaux et Niestlé, Paris, pp. 33–34.
105. **Scully, R. (2008).** *Key to Lamiaceae of Colorado (Mint Family)*. University of Colorado Press, Colorado, USA.
106. **Singh, B., & Sharma, R. A. (2014).** *Plant terpenes: Defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications*. *3 Biotech*, 5(2), 129–151. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0220-2>.
107. **Singh, R., & Singh, P. (2012).** Traditional knowledge on medicinal plants among tribal communities of India. *Journal of Ethnopharmacology*, 141(2), 282–296. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.02.035>

108. **Singh, R., & Singh, P. (2012).** Traditional knowledge on medicinal plants among tribal communities of India. *Journal of Ethnopharmacology*, 141(2), 282–296.
109. **Suseela, V. (2019).** *Potential roles of plant biochemistry in mediating ecosystem responses to warming and drought.* In J. E. Mohan (Ed.), *Ecosystem consequences of soil warming: Microbes, vegetation, fauna and soil biogeochemistry* (pp. 103–124). Elsevier.
110. **Sussman, M. (Ed.). (1997).** *Escherichia coli: Mechanisms of virulence.* Cambridge University Press.
111. **Tanada, Y., & Kaya, H. K. (2012).** *Insect pathology* (2nd ed.). Academic Press.
112. **Tzanova, M. T., Stoyanova, A. S., & Bankova, V. S. (2019).** *Antioxidant activity and total phenolic content of five Salvia species from Bulgaria.* *Bulgarian Chemical Communications*, 51(Special Issue A), 90–94.
113. **Walker, J. B., Sytsma, K. J., Treutlein, J., & Wink, M. (2004).** *Salvia (Lamiaceae) is not monophyletic: Implications for the systematics, radiation, and ecological specializations of Salvia and tribe Mentheae.* *American Journal of Botany*, 91(7), 1115–1125
114. **Yoshikawa, T., & Naito, Y. (2002).** *What is oxidative stress?* *Journal of the Japan Medical Association*, 124(11), 1549–1553.
115. **Zerrouki, K. (2017).** *L'effet antioxydant de quelques plantes médicinales sur la neurotoxicité et les maladies neurodégénératives dues aux métaux lourds (aluminium et plomb) : Étude expérimentale chez la souris.* Thèse de doctorat en biochimie, Université Abdelhamid Ibn-Badis, Mostaganem, 196 p. Available at [Université Mostaganem](#)
116. **Ziegler, J., & Facchini, P. J. (2008).** *Alkaloid biosynthesis: Metabolism and trafficking.* *Annual Review of Plant Biology*, 59, 735–769.
117. **صقور، م. (2020).** دراسة استخلاص الزيت العطري من أوراق الميرمية باستخدام التقطير البخار. جامعة تشرين، سوريا.





Les plaques dans le système de solvant.



Plaque ELISA



Ensemences

