

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de
l'Univers
Département d'Agronomie



MÉMOIRE

Présenté par
Safi Chaïmaa
Messaad Sarra

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER
En Science Alimentaire
Spécialité
Nutrition et Pathologie

Thème

Influence des procédés d'extraction sur la récupération des composés bioactifs des feuilles de *Salvia officinalis* L. : caractérisation phytochimique et évaluation du potentiel antioxydant

Soutenu le 22/06/2026, devant le jury composé de :

Présidente : Mme ADJDIR Sarra

MCB

Université de Tlemcen

Examinatrice : Mme MADJDOUB Houria

MCA

Université de Tlemcen

Encadrante : Mme BOUCHERIF Amina

MCB

Université de Tlemcen

Année universitaire 2025/2026

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail

*Nous tenons à adresse nos plus vifs Remerciements à : Madame **Boucherif A***
Pour nous avoir encadré, guidé et prodigué tout l'aide nécessaire pour la réalisation de notre travail. Nous lui exprimons notre profonde gratitude pour sa disponibilité, ses précieux conseils, sa patience, ainsi que pour la confiance qu'elle nous a accordée tout au long de cette étude. Son soutien constant et ses orientations pertinentes ont grandement contribué à l'aboutissement de ce mémoire.

Nous Remerciement vont aussi aux membres de jury de nous avoir fait honneur de bien vouloir participer au jury de se mémoire et pour tout l'attention qu'ils vont prêtre à l'évaluation de notre travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à tout le personnel du département de Biologie ainsi qu'au personnel du laboratoire pour leur aide, leur disponibilité, leur soutien et leur précieuse collaboration tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Et enfin, Nous tenons à remercier tout personne qui nous a aidé ou encouragé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, **ma mère et mon père**, en témoignage de mon profond amour, de mon respect et de ma reconnaissance pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis afin de me voir réussir. Que dieu les protège et les comble de bonheur.*

*À mes chers frères **Ahmed et Mohamed**, pour leur soutien, leurs encouragements et leur présence à mes côtés.*

*À mes chères sœurs **Fatima, Zakia, et Atika**, avec toute mon affection et ma gratitude.*

*Une dédicace toute particulière à ma chère sœur **Zahia** et à son époux **Belkacem**, pour leur soutien, leur bienveillance et leurs encouragements constants.*

*À leurs adorables filles **Djihane et Layal**, à qui je souhaite beaucoup de bonheur, de réussite et d'épanouissement.*

*À mes très chères amies **Chaïmaa et Fatima Zehra** en témoignage de notre sincère amitié, pour leur soutien, leur compréhension et tous les moments partagés durant notre parcours universitaire.*

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Avec toute mon affection, ma reconnaissance et mon respect.

Avec tout mon et ma gratitude, Sarra

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*À mes très **chers parents**, pour leur amour, leurs sacrifices, leurs encouragements et leur soutien inconditionnel tout au long de mes études.*

*À mon cher frère, **Mohammad**, ainsi qu'à mes chères sœurs, **Sara, Hadjer, Amira**, et **Soumia**, qui m'ont toujours soutenue et encouragée.*

*À mes meilleures amies, **Wissam, Fatima, Houaria, Fatima, Houda, Aïcha** et pour leur amitié et leur présence à mes côtés.*

À toute ma grande famille.

*À mes collègues de la promotion **Nutrition et Pathologie**.*

*À mon binôme d'étude, **Sarra**.*

*Avec tout mon et ma gratitude, **Chaïmaa***

الملخص

تُعد الميرامية (*Salvia officinalis* L.) نباتاً طبيّاً ينتمي إلى عائلة النعناعيات (Lamiaceae)، وتتميز بغناها بالمركبات النشطة بيولوجياً، خاصة المركبات الفينولية التي تمنحها خصائص مضادة للأكسدة ذات أهمية علاجية. يهدف هذا العمل إلى دراسة التوصيف الكيميائي النباتي والكيفي والكمي لمختلف مستخلصات الميرامية المحضرة باستعمال عدة طرق للاستخلاص تشمل (النقع، الغليان، التسخين، الموجات فوق الصوتية، والميكروويف، وباستخدام مذيبات مختلفة (الماء، الميثانول، الإيثانول، الهيدروإيثانول، الكلوروفورم، والإيثيل أسيتات)، وذلك من أجل تحديد أفضل الظروف لاستخلاص المركبات الفعالة وتحسين مردودية الاستخلاص. تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات في المختبر باستعمال اختبار DPPH واختبار القدرة الكلية لمضادات الأكسدة (CAT)، كما أُجري فحص كيميائي نباتي نوعي للكشف عن أهم المجموعات الكيميائية الثانوية، بما في ذلك التانينات، والفلافونويدات، والكينونات، والفلويدات، والصابونينات.

أظهرت النتائج أن طريقة الاستخلاص بالموجات فوق الصوتية حققت أفضل مردود استخلاص بلغ 20% باستعمال المستخلص الهيدروإيثانولي 70%. كما سجلت طريقة الغليان أعلى محتوى من البوليفينولات الكلية في المستخلص الهيدروإيثانولي، حيث بلغت 253.56 ± 7.27 ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك لكل ملغ من المستخلص الجاف، في حين أعطت طريقة الموجات فوق الصوتية أعلى محتوى من الفلافونويدات الكلية في المستخلص نفسه والذي بلغ 5.07 ± 172.90 ميكروغرام مكافئ الكاتيشين لكل ملغ من المستخلص الجاف. فيما يتعلق بالنشاط المضاد للأكسدة، أظهرت طريقة الاستخلاص بالميكروويف أفضل فعالية مضادة للجذور الحرة في اختبار DPPH باستعمال المستخلص الميثانولي، بقيمة IC_{50} بلغ 0,27 ميلليغرام/مل. كما أظهر اختبار القدرة الكلية لمضادات الأكسدة (CAT) أن أعلى قيمة سُجلت باستعمال تقنية الميكروويف مع المستخلص الهيدروإيثانولي 70%، حيث بلغت 13.292 ± 2.81 ملغ مكافئ حمض الأسكوربيك/غ من المستخلص الجاف.

الكلمات المفتاحية: الميرامية، طرق الاستخلاص، المركبات الفينولية، مضادات الأكسدة، DPPH، CAT.

Résumé

Salvia officinalis L. est une plante médicinale appartenant à la famille des Lamiacées (Lamiaceae), reconnue pour sa richesse en composés bioactifs, notamment les composés phénoliques qui lui confèrent d'importantes propriétés antioxydantes. Ce travail vise à étudier la caractérisation phytochimique qualitative et quantitative de différents extraits de *Salvia officinalis* obtenus par plusieurs méthodes d'extraction, à savoir la macération, la décoction, l'infusion, les ultrasons et les micro-ondes, en utilisant différents solvants (eau, méthanol, éthanol, hydroéthanol, chloroforme et acétate d'éthyle), afin de déterminer les meilleures conditions d'extraction des composés bioactifs et d'optimiser le rendement d'extraction. L'activité antioxydante des extraits a été évaluée in vitro par le test DPPH et la capacité antioxydante totale (CAT). Une étude phytochimique qualitative a également été réalisée afin d'identifier les principaux métabolites secondaires, notamment les tanins, les flavonoïdes, les quinones, les alcaloïdes et les saponines.

Les résultats ont montré que l'extraction assistée par ultrasons a permis d'obtenir le meilleur rendement d'extraction (20 %) avec l'extrait hydroéthanolique 70 %. Par ailleurs, la décoction a révélé la teneur la plus élevée en polyphénols totaux dans l'extrait hydroéthanolique, avec une valeur de $253,56 \pm 7,27 \mu\text{g EAG/mg d'extrait sec}$, tandis que l'extraction par ultrasons a donné la teneur la plus élevée en flavonoïdes, atteignant $172,90 \pm 5,07 \mu\text{g EC/mg d'extrait sec}$.

Concernant l'activité antioxydante, l'extraction assistée par micro-ondes a présenté la meilleure activité de piégeage du radical libre DPPH avec l'extrait méthanolique, avec une valeur d'IC₅₀ de 0,27 mg/ml. Pour la capacité antioxydante totale (CAT), la valeur la plus élevée a été enregistrée avec l'extraction par micro-ondes utilisant l'extrait hydroéthanolique 70 %, atteignant $13,29 \pm 2,81 \text{ mg EAA/g d'extrait sec}$.

Mots-clés : *Salvia officinalis* L., méthodes d'extraction, composés phénoliques, activité antioxydante, DPPH, CAT.

Abstract

Salvia officinalis L. is a medicinal plant belonging to the Lamiaceae family, known for its richness in bioactive compounds, particularly phenolic compounds that are responsible for its strong antioxidant properties. This study aims to investigate the qualitative and quantitative phytochemical characterization of different *Salvia officinalis* extracts obtained using several extraction methods, including maceration, decoction, infusion, ultrasound- assisted extraction, and microwave-assisted extraction, using different solvents (water, methanol, ethanol, hydroethanolic, chloroform, and ethyl acetate), in order to determine the optimal extraction conditions for bioactive compounds and improve extraction yield. The antioxidant activity of the extracts was evaluated in vitro using the DPPH assay and the total antioxidant capacity (TAC) qualitative phytochemical screening was also carried out to identify the main secondary metabolites, including tannins, flavonoids, quinones, alkaloids, and saponins.

The results showed that ultrasound-assisted extraction provided the highest extraction yield (20%) using the 70% hydroethanolic extract. In addition, decoction yielded the highest total phenolic content in the hydroethanolic extract, with a value of 253.56 ± 7.27 $\mu\text{g GAE/mg dry extract}$, while ultrasound-assisted extraction gave the highest flavonoid content, reaching 172.90 ± 5.07 $\mu\text{g CE/mg dry extract}$.

Regarding antioxidant activity, microwave-assisted extraction exhibited the strongest DPPH radical scavenging activity using the 70% hydroethanolic extract, with an IC_{50} value of 0,27 mg/ml. For total antioxidant capacity (TAC), the highest value was recorded using microwave-assisted extraction with the 70% hydroethanolic extract, reaching 13.29 ± 2.81 mg AAE/g dry extract.

Keywords: *Salvia officinalis* L., extraction methods, phenolic compounds, antioxidant activity, DPPH, TAC.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 16

Partie I : Synthèse Bibliographique

Chapitre 1 : Présentation de la plante étudiée :*Salvia officinalis*.

1. Nom	6
2. Classification botanique	6
3. Description botanique	6
4. Répartition géographique	7
5. Composition phytochimique (métabolites secondaires)	8
5.1. Les composés phénoliques	8
5.2. Les terpènes	9
5.3. Les alcaloïdes	9
5.4. Les huiles essentielles	9
6. Utilisation traditionnelle	10
7. Les activités biologiques	10
7.1. Activité antioxydante	10
7.2. Activité anticancéreuse et antimutagènes	11
7.3. Activités antibactériennes	11
7.4. Activité anti-inflammatoire	11
7.5. Activité positive sur les fonctions cognitives et la mémoire	12
7.6. Activité métabolique	12

Chapitre 2 : le stress oxydative

1. Stress oxydatif	14
1.1. Les radicaux libres	14
2. Antioxydants	15
2.1. Les antioxydants enzymatiques	16
2.2. Les antioxydants non enzymatiques	16
3. Méthodes de recherche de l'activité antioxydants	16
3.1. Test du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)	17

3.2. Test CAT (Capacité antioxydante totale)	17
3.3. Test ABTS (2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)	17
3.4. Test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)	17
3.5. Test CUPRAC (Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity):	18

Chapitre 3 : Les méthodes d'extraction

1. Méthodes d'extraction traditionnelles	20
1.1. Macération	20
1.2. Infusion	20
1.3. Décoction	21
1.4. Digestion	21
1.5. Extraction de Soxhlet	21
2. Méthodes d'extraction vertes	22
2.1 Extraction assistée par ultrasons (EAU)	22
2.2. Extraction assistée par micro-ondes (MAE)	23
2.3. Extraction par fluide supercritique (SFE)	23
2.4. Extraction enzymatique	24

Partie expérimental

Matériels et Méthodes

1. Matériel végétal	27
1.1 Récolte, séchage et broyage	27
1.2 Préparation des extraits	28
2.3. Calcule des rendements	29
1. Tests phytochimiques	29
2.1. Les composés phénoliques	29
1.2. Les Composés terpéniques :	30
3. Dosage des composés phénolique	30
3.1. Dosage de polyphénols totaux	30
3.2. Dosage de flavonoïdes	31
4. Evaluation de l'activité antioxydante	32
4.1. Test de piégeage du radical DPPH	32
4.2. Test de CAT (capacité antioxydante totale)	33

Résultats et interprétations

1. Rendements d'extraction	36
2. Tests phytochimiques	37
3. Dosage des composés phénoliques	37

3.1. Dosage des polyphénols totaux	37
3.2. Dosage des flavonoïdes	38
4. l'activité antioxydante	41
4 .1. Capacité de piégeage du radical libre DPPH	41
4 .2. Capacité antioxydante totale (CAT).....	44
Discussion	47
Conclusion	51
Références Bibliographique	54

Liste des figures

Figure 01: *Salvia officinalis* L.

Figure 02: Distribution géographique du genre *Salvia* à l'échelle mondiale.

Figure 03: Principaux composés phénoliques présents dans l'extrait de sauge: (a) acides phénoliques. (b) flavonoïdes.

Figure 04: Principaux terpènes présent dans l'extrait de sauge : (a) monoterpènes. (b) diterpènes. (c) triterpènes. (d) sesquiterpènes.

Figure 05: Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliqué en biologie.

Figure 06: Les sources cellulaires de ROS

Figure 07 : La réaction impliquant le test DPPH.

Figure 08: Méthode d'extraction par macération.

Figure 09: Méthode d'extraction par décoction.

Figure 10 : Méthode d'extraction par soxhlet.

Figure 11: Schéma représentatif d'extraction assistée par ultrasons.

Figure 12: Schéma représentatif d'extraction assistée par micro-onde.

Figure 13: Séchage de *salvia officinalis*. L.

Figure 14: Protocole expérimental de la préparation des extraits et fractions de la partie aérienne de *salvia officinalis*.

Figure 15: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.

Figure 16 : Teneur en polyphénols totaux ($\mu\text{g EAG/mg E}$) des différents extraits de *Salvia officinalis*.

Figure 17 : Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes.

Figure 18 : Teneur en flavonoïdes ($\mu\text{g EC/mg E}$) des différents extraits de *Salvia officinalis*

Figure 19 : Pourcentages d'inhibition du DPPH en fonction des différentes concentrations d'acide ascorbique

Figure 20 : Pourcentages d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait aqueux de *S. officinalis* obtenu par différentes méthodes d'extraction.

Figure 21 : Pourcentages d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait hydroéthanolique de *S. officinalis* obtenu par différentes méthodes d'extraction.

Figure 22 : *Pourcentages d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait méthanolique de S. officinalis obtenu par différentes méthodes d'extraction*

Figure 23 : Valeurs d'CI₅₀ des différents extraits de *Salvia officinalis* obtenus par différentes méthodes d'extraction.

Figure 24 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique utilisée pour le dosage de la capacité antioxydante totale.

Figure 25 : Les valeurs de la capacité antioxydante totale (mg EAA/g E) des différents extraits de *Salvia officinalis*

Liste de tableaux

Tableau 1 : Rendements d'extraction (%) de *Salvia officinalis* obtenus par différentes méthodes d'extraction et différents solvants

Tableau 2 : Résultats des tests phytochimiques d'extrait aqueux préparé par décoction de *Salvia officinalis*.

Tableau 3 : Taux de polyphénols totaux et flavonoïdes dans les différentes préparations de la *Salvia officinalis*.

Tableau 4 : Valeurs d'CI₅₀ dans les différentes préparations de la *Salvia officinalis*.

Tableau 5 : Les valeurs de la capacité antioxydante totale dans les différentes préparations de la *Salvia officinalis*

Liste des abréviations

ERO: Espèce réactives en oxygène.

ERA: Espèce réactives d'azote.

SOD: Superoxyde dismutases.

DPPH: 2,2-diphenyle-1-picrylhydrazyle.

FRAP: Ferric Reducing Antioxydant Power

CUPRAC: Cupricion Reducing Antioxydant capacity.

CI₅₀ : Concentration inhibitrice à 50 %

UV: Ultra-Violet

ug Eq AG/ mg ES: Microgramme équivalent acide gallique par milligramme d'extrait sec.

ug Eq C/ mg ES: Microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait sec.

EME : Extrait brut aqueux prépare par macération.

EMM : Extrait brut méthanolique prépare par macération.

EMHE : Extrait brut hydroéthanolique prépare par macération.

EMCH : Extrait brut chloroformique prépare par macération.

EMAE : Extrait brut à l'acétate d'éthyle prépare par macération.

EIE : Extrait brut aqueux prépare par infusion.

EDE : Extrait brut aqueux prépare par décoction.

EDM : Extrait brut méthanolique prépare par décoction.

EDHE : Extrait brut hydroéthanolique prépare par décoction.

EDCH : Extrait brut chloroformique prépare par décoction.

EDAE : Extrait brut à l'acétate d'éthyle prépare par décoction.

ECE : Extrait brut aqueux prépare par micro-onde.

ECM : Extrait brut méthanolique prépare par micro-onde.

ECHE : Extrait brut hydroéthanolique prépare par micro-onde.

ECCH : Extrait brut chloroformique prépare par micro-onde.

ECAE : Extrait brut à l'acétate d'éthyle prépare par micro-onde.

EUE : Extrait brut aqueux prépare par ultrason.

EUM : Extrait brut méthanolique prépare par ultrasons.

EUHE : Extrait brut hydroéthanolique prépare par ultrasons.

EUCH : Extrait brut chloroformique prépare par ultrasons.

EUAE : Extrait brut à l'acétate d'éthyle prépare par ultrasons.

EAU : Extraction par ultrasons.

MAE : Extraction par micro-ondes.

SFE : Extraction par fluide supercritique.

Introduction

Depuis les temps anciens, les végétaux ont été essentiels à la fois pour l'aspect naturel et culturel de l'humanité, et ont occupé une place centrale dans la médecine à travers des civilisations anciennes comme celles de la Grèce, de Rome, de l'Inde, de la Chine et du monde arabe islamique. Ces dernières ont été mises à profit pour soigner diverses affections, grâce à leurs vertus naturelles en termes de médecine **(Bousta et Enabili, 2011)**.

Pendant une longue période, les traitements naturels, notamment les plantes médicinales, ont constitué la solution principale du patrimoine culturel pour le traitement des maladies, tout en servant de base pour la médecine moderne. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), approximativement 65 à 80 % de la population mondiale dans les pays en développement se repose principalement sur les remèdes à base de plantes pour leurs soins **(Haddouchi et al., 2016)**.

Grâce à l'évolution des sciences actuelles, comme la chimie et la physiologie, nous sommes maintenant en mesure de déterminer les composés actifs dans ces végétaux, et de prouver qu'ils ont des propriétés biologiques exceptionnelles capables de traiter une multitude de maladies et dysfonctionnements **(Abdeli, 2017)**.

En Algérie, et particulièrement dans le Sahara, l'état de la flore naturelle dans cette région ainsi que les interactions entre l'homme et les espèces végétales nécessitent une attention spéciale. Certaines espèces détiennent des vertus pharmacologiques qui leur attribuent une valeur dans le domaine médical. Ces plantes ont la capacité de produire une multitude de composés connus sous le nom de métabolites secondaires et représentent donc une vaste source de composés présentant une grande diversité chimique, avec un large spectre d'activités biologiques **(Haddouchi et al., 2016)**.

Elle regorge de plantes médicinales comme les astéracées et les lamiacées. La sauge officinale (*Salvia officinalis* L.) est une des plantes médicinales et aromatiques spontanées appartenant à la famille des Lamiacées **(Bektas et al., 2005)**. Il s'agit d'une plante arbustive herbacée pérenne qui appartient à la famille des Lamiacées. Elle tire ses origines de la zone méditerranéenne, mais on la cultive abondamment dans encore plus de diverses régions du monde **(Mekhaldi et al., 2014)**.

Le terme *Salvia* sauge tire son nom du mot latin qui signifie soigner et reflète la croyance populaire en ses pouvoirs curatifs mystiques pour une multitude de maladies et son utilisation répandue en médecine traditionnelle (Bors et al., 2003). Son intérêt est illustré par un ancien

adage médiéval : « Pourquoi l'homme doit-il mourir alors que la sauge pousse dans son jardin ? » (Iserin et al., 2001).

La sauge (*Salvia officinalis* L.) est utilisée comme ingrédient de base dans plusieurs secteurs, tels que la pharmacie, l'alimentation et la cosmétique. En médecine traditionnelle, ses infusions sont employées pour traiter différents troubles, notamment la transpiration excessive, les troubles nerveux et la gingivite, ainsi que pour favoriser la cicatrisation des plaies et améliorer les fonctions cognitives (Yashaswini et al., 2019).

Actuellement, *S. officinalis* suscite beaucoup d'attention en tant que source abondante de divers composés phénoliques de haute qualité (Martins et al., 2015). Elle est examinée pour ses diverses actions biologiques, en particulier antioxydantes (Yashaswini et al., 2019).

Dans ce contexte, cette étude vise à comparer différentes méthodes d'extraction et différents solvants des feuilles de *Salvia officinalis* L. afin de déterminer les conditions d'extraction les plus efficaces, ainsi qu'à étudier leur composition phytochimique et leur activité antioxydante.

Les objectifs de cette étude sont :

- ❖ Déterminer le rendement des différentes méthodes d'extraction et des différents solvants.
- ❖ Réaliser un criblage phytochimique des extraits.
- ❖ Effectuer le dosage des composés phénoliques.
- ❖ Évaluer l'activité antioxydante des extraits de feuilles de *Salvia officinalis* par le piégeage du radical libre DPPH et par la méthode de la capacité antioxydante totale (CAT).

Ce manuscrit est développé en deux parties :

La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique et se compose de trois chapitres.

Chapitre 1 : Représente les généralités sur la plante étudiée, *Salvia officinalis*.

Chapitre 2 : Englobe le stress oxydant et la méthode d'évaluation de l'activité antioxydante.

Chapitre 3 : Décrit les principales méthodes d'extraction, traditionnelles et modernes.

La deuxième partie est une partie expérimentale basée principalement sur l'extraction des différents extraits de feuilles séchées de sauge (*Salvia officinalis*), les tests phytochimiques, le dosage des composés phénoliques, l'évaluation de l'activité antioxydante de ces extraits.

Enfin, une conclusion générale qui résume notre travail.

Partie I : Synthèse Bibliographique

**Chapitre 1 : Présentation de
la plante étudiée :**
Salvia officinalis

1. Nom

Salvia est un mot d'origine latine dérivé de « Salavre », qui veut dire « guérir » (Afzal et al., 2025).

- **Noms Communs** : Herbe sacrée, thé de Grèce, herbe sage (Fulbert et al., 1992).
- **Nom scientifique** : *Salvia officinalis*.
- **Nom Arabe** : Salma (Beloued, 2014).
- **Nom Français** : Grande sauge, thé d'Europe, herbe sacrée (Zerrouki, 2017) .
- **Nom Anglais** : Sage, Great sage, Garden sage (Zerrouki, 2017).
- **Nom Berbère** : Agrourimimeksouen (Beloued, 2014).
- **Nom Algérien** : Miramia, siwak ennabi (Hamidpour et al., 2014).

2. Classification botanique

Conformément à Quezel et Santa (1963), la classification de la sauge est la suivante :

- **Règne** : Plantae
- **Embranchement** : Spermaphyte
- **Sous – Embranchement** : Angiospermes
- **Classe** : Dicotylédone
- **Sous-classe** : Asteridae
- **Ordre** : lamiales
- **Famille** : lamiacée
- **Genre** : *Salvia*
- **Espèce** : *Salvia officinalis* L.

3. Description botanique

La sauge est un arbuste aromatique qui peut être annuel ou vivace. Sa hauteur varie entre 40 et 100 cm, et elle se distingue par son parfum agréable et caractéristique. Ses feuilles sont de forme ovale, mesurant de 4 à 10 cm de longueur et de 1 à 4 cm de largeur, avec des bords légèrement dressés (Fig. 01). Elles sont de couleur vert grisâtre, au goût amer et prononcé, et recouvertes de fins poils sur les bords. La face inférieure des feuilles contient des glandes sécrétrices de substances aromatiques à odeur intense. Quant aux fleurs, elles sont de couleur violette, regroupées en grappes, chaque groupe comportant de 2 à 10 fleurs, pouvant parfois atteindre jusqu'à 40 fleurs (Anjali et al., 2024).



Figure 01: *Salvia officinalis* L. (photo personnelles).

4. Répartition géographique

Le genre **Salvia** constitue l'un des groupes les plus importants au sein de la famille des Lamiacées. Ce méga-genre regroupe environ 1 000 espèces. Son évolution est marquée par trois principales radiations adaptatives, correspondant à trois centres majeurs de diversité : l'Amérique centrale et du Sud (environ 500 espèces), l'Asie de l'Est (près de 90 espèces), ainsi que l'Asie du Sud-Ouest associée à la région méditerranéenne (environ 250 espèces) (Tziakas et al., 2025).

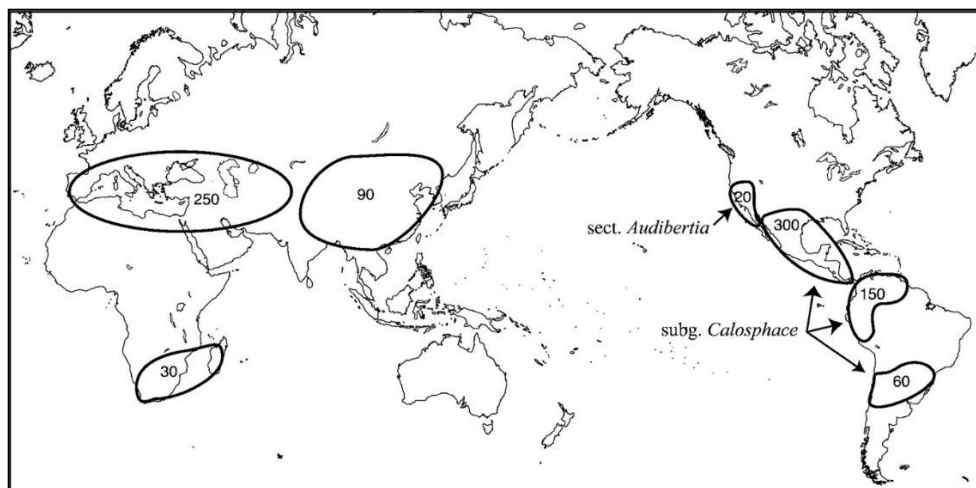


Figure 02 : Distribution géographique du genre *Salvia* à l'échelle mondiale (Walker et al., 2004).

Salvia officinalis est une espèce cosmopolite, largement distribuée à travers le monde. Elle est principalement présente dans les pays suivants : Croatie, Serbie, Monténégro, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, France, Italie, Espagne, Royaume-Uni, Turquie, Maroc, Algérie,

Grèce, Afrique du Sud, États-Unis, Amérique centrale et du Sud, Inde et Asie du Sud-Est (Fig. 02) (Ben Akacha et al., 2024).

5.Composition phytochimique (métabolites secondaires)

5.1. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des substances bioactives d'origine naturelle, largement réparties dans les tissus végétaux, qui ont prouvé avoir des propriétés bioactives significatives. Ils sont à l'origine de la pigmentation et de l'astringence, et jouent aussi le rôle d'agents de protection contre les rayonnements UV (Albuquerque et al., 2021).

5.1.1. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques représentent la catégorie la plus élémentaire des composés phénoliques. dont la structure intrinsèque inclut un cycle phénolique et un groupe carboxyle (Albuquerque et al., 2021). La plante de *Salvia officinalis* contient acides phénoliques, tels que : acides caféique, vanillique, férulique et rosmarinique.(Fig. 03a) (Jakovljević et al., 2019).

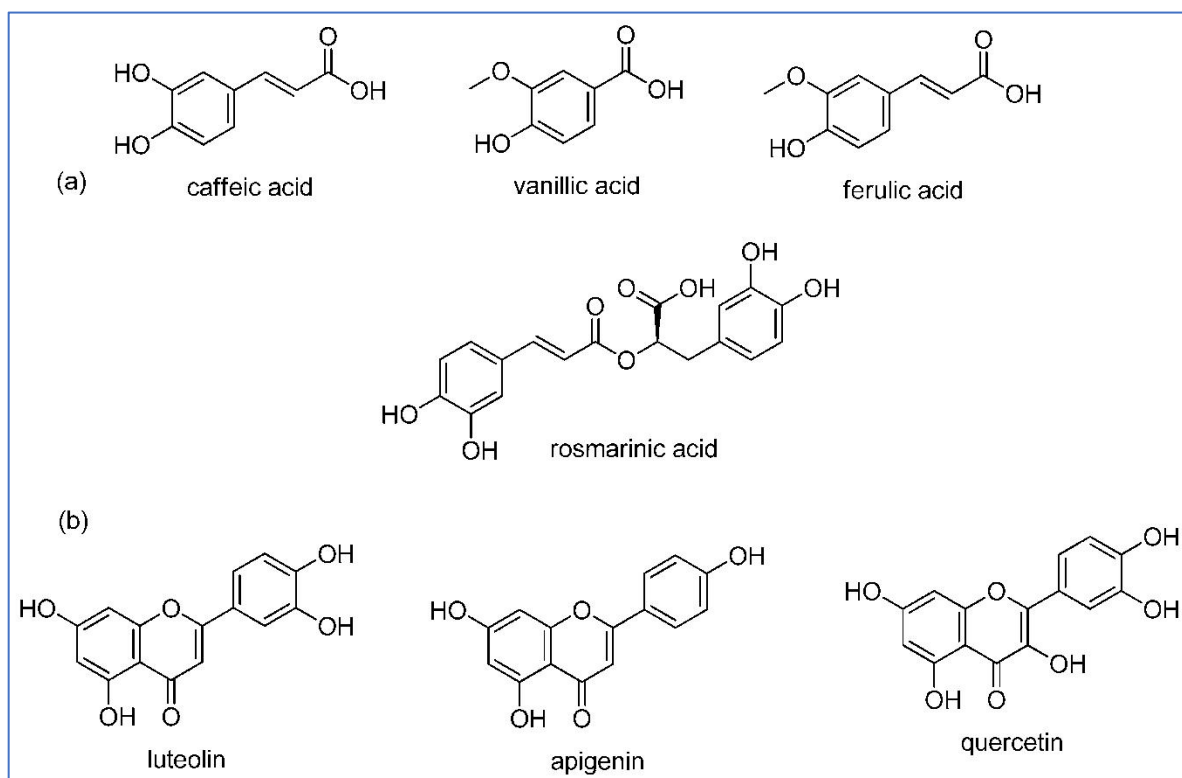


Figure 03 : Principaux composés phénoliques présents dans l'extrait de sauge: (a) acides phénoliques; (b) flavonoïdes.

5.1.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes représentent la classe de composés phytochimiques la plus répandue et la plus diversifiée, regroupant plus de 8 000 composés identifiés. La composition de leur structure fondamentale est constituée de quinze atomes de carbone (C6-C3-C6) (Albuquerque et al., 2021). La plante de *Salvia officinalis* contient des flavonoïdes, tels que : la lutéoline, l'apigénine et la quercétine (Fig. 03b) (Jakovljević et al., 2019).

5.1.3. Les tanins

Les tanins constituent les principaux polymères phénoliques présents dans les tissus végétaux. Ce sont des composés phénoliques complexes répartis en deux grandes catégories : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Albuquerque et al., 2021). la sauge contient entre 3 et 7 % de tanins, dont des tanins catéchiques (Merghem, 2009).

5.2. Les terpènes

Il s'agit de la catégorie la plus vaste de métabolites secondaires (Charik, 2020). Parmi les terpènes les plus couramment présents dans la plante de *Salvia officinalis* figurant : les monoterpènes, on trouve : l' α - et le β -thujone, le 1,8-cinéole et le camphre. les diterpènes, on trouve : l'acide carnosique, le carnosol, le rosmadial et le manool. Les triterpènes comprennent les acides oléanolique et ursolique. Ainsi, les sesquiterpènes : α -humulène et viridiflorol (Fig. 04) (Jakovljević et al., 2019).

5.3. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des métabolites naturels spécialisés qui possèdent une structure chimique incluant de l'azote. L'importante activité biologique qu'ils manifestent découle de la disposition spécifique des atomes dans leur composition chimique (Bhambhani et al., 2021). La plante de *Salvia officinalis* contient également des alcaloïdes (Ghorbani & Esmaeilizadeh, 2017).

5.4. Les huiles essentielles

La sauge (*Salvia officinalis*) contient une huile essentielle dont la teneur varie entre 0,1 % et 2,8 %, sa composition est dominée par des monoterpénoïdes, notamment le 1,8-cinéole (1 % – 15 %), le camphre (5 % – 20 %), l' α -thujone (10 % – 60 %) et le β -thujone (4 % – 36 %). Elle contient également des sesquiterpènes tels que le β -caryophyllène, l' α -humulène et le viridiflorol (Raal et al., 2024).

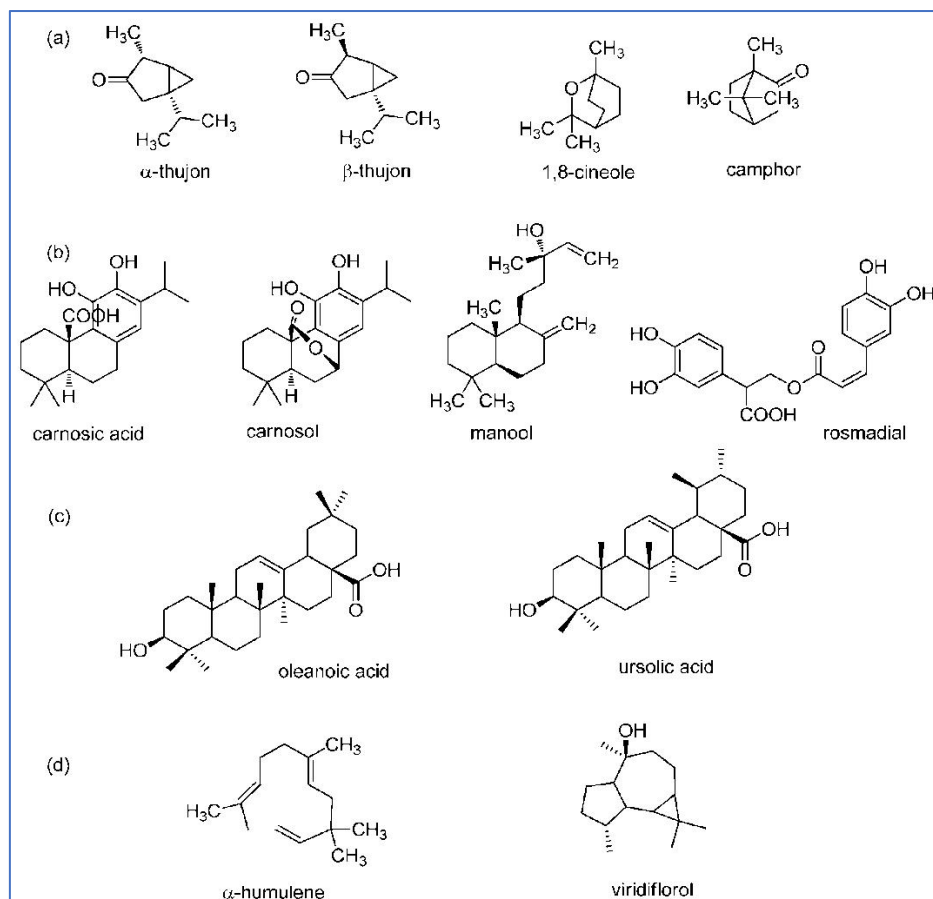


Figure 04 : Principaux terpènes présents dans l'extrait de sauge: (a) monoterpènes; (b) diterpènes; (c) triterpènes; et (d) sesquiterpènes.

6. Utilisation traditionnelle

Salvia officinalis est couramment employée en médecine traditionnelle pour le traitement d'un large éventail d'affections, allant des convulsions, des ulcères et de la goutte, jusqu'au rhumatisme et aux inflammations, ainsi qu'aux troubles gastro-intestinaux tels que la diarrhée et l'hyperglycémie. De plus, reconnue pour son efficacité dans le soulagement des troubles digestifs légers, de la transpiration excessive, du déclin cognitif lié à l'âge, ainsi que des inflammations de la gorge et de la peau (Bendaas et al., 2025).

7. Les activités biologiques

7.1. Activité antioxydante

Le stress oxydatif et ses actions biologiques ont une importance cruciale dans diverses affections telles que le cancer et les maladies cardiovasculaires. Ce stress survient quand la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) excède la capacité des systèmes antioxydants à se défendre. *Salvia officinalis* possède des effets antioxydants notables, renforçant la résistance des hépatocytes face au stress oxydatif en activant la glutathion

peroxydase (Anjali et al., 2024). Parmi les composés antioxydants majeurs de *S. officinalis*, on retrouve le carnosol, l'acide rosmarinique et l'acide carnosique, qui présentent une capacité neutralisante semblable à celle de l' α -tocophérol (Chavan et al., 2025).

7.2. Activité anticancéreuse et antimutagènes

Le potentiel anticancéreux de *Salvia officinalis* a été étudié sur des modèles animaux et de multiples lignées cellulaires cancéreuses. La consommation de tisane de sauge s'est révélée capable de prévenir les premiers stades de la carcinogenèse du côlon. Les extraits de la plante exercent des effets pro-apoptotiques et antiprolifératifs sur les cellules de cancer du sein (MCF-7), du col utérin (HeLa), colorectal (HCT-116, HCT-15, CO115, HT-29), insulinome (RINm5F), laryngé (Hep-2), pulmonaire (A549), mélanome (A375, M14, A2058, B16) et carcinome épidermoïde buccal. Ils présentent également des propriétés antimigratoires et antiangiogéniques (Anjali et al., 2024).

7.3. Activités antibactériennes

Salvia officinalis présente des capacités antibactériennes marquées. L'huile essentielle et l'extrait éthanolique qu'il possède démontrent une action bactéricide et bactériostatique contre les bactéries Gram positives et Gram négatives. Des bactéries pathogènes Gram positives, telles que *Bacillus cereus* et *Staphylococcus epidermidis*, sont spécialement réceptives. De plus, l'huile essentielle freine la prolifération de diverses bactéries Gram négatives, comme *l'Escherichia coli* et *la Salmonella typhi* (Chavan et al., 2025).

7.4. Activité anti-inflammatoire

Selon les données pharmacologiques, *Salvia officinalis* présente des effets anti-inflammatoires ainsi que des propriétés antinociceptives. Il a notamment été montré que cette plante peut contribuer à la gestion des douleurs neuropathiques associées à la neuropathie périphérique induite par la chimiothérapie. Parmi les différents types d'extraits étudiés, l'extrait chloroformique de *S. officinalis* se distingue par l'activité anti-inflammatoire la plus marquée, tandis que l'extrait méthanolique et l'huile essentielle présentent des effets plus faibles. Ces activités biologiques sont principalement attribuées à la présence de flavonoïdes et de terpènes. Parmi les composés terpéniques ou terpénoïdes impliqués dans cet effet figurent le manool, le carnosol et l'acide ursolique. Ce dernier possède une activité anti-inflammatoire environ deux fois supérieure à celle de l'indométhacine (Chavan et al., 2025).

7.5. Activité positive sur les fonctions cognitives et la mémoire

Salvia officinalis a des effets positifs sur la mémoire et les fonctions cognitives. Des études montrent que son extrait éthanolique améliore la rétention mnésique chez les rats. Chez des animaux sains, l'extrait hydroalcoolique et l'acide rosmarinique améliorent les performances cognitives et protègent contre les altérations dues au diabète. Ce même extrait réduit également les troubles mnésiques causés par la morphine. Des recherches cliniques confirment une amélioration des fonctions cognitives chez des sujets sains et des patients atteints de démence, soutenant les résultats animaux (Chavan et al., 2025).

7.6. Activité métabolique

Les travaux cliniques et expérimentaux montrent que *Salvia officinalis* a des effets positifs sur le métabolisme, en particulier dans la régulation de la glycémie et du profil lipidique. Des extraits de cette plante améliorent la sensibilité à l'insuline et inhibent la néoglucogenèse hépatique. Chez des modèles diabétiques, *S. officinalis* a réduit significativement les taux de triglycérides et de cholestérol, tant dans des études animales qu'humaines. De plus, des essais cliniques indiquent une baisse de la glycémie postprandiale chez les patients diabétiques. Grâce à ses propriétés, *S. officinalis* pourrait être un complément utile pour gérer les désordres métaboliques chez les patients à risque, notamment ceux souffrant de diabète et d'hypercholestérolémie (Chavan et al., 2025).

Chapitre 2 : le stress oxydative

1. Stress oxydatif

On désigne par stress oxydatif l'état de déséquilibre entre les pro-oxydants et les antioxydants. Ceci est dû à une carence en antioxydants ou à l'accumulation de radicaux libres, principalement les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les espèces réactives de l'azote (ERN) (Chouikh et al., 2025).

1.1. Les radicaux libres

Les radicaux libres se définissent comme des atomes, des molécules ou des fragments moléculaires qui possèdent un ou plusieurs électrons non appariés. Cette caractéristique leur confère une forte réactivité et une stabilité temporaire (Chouikh et al., 2025).

1.1.1. Types de radicaux libres

On les classe généralement en deux principales catégories de radicaux : les espèces réactives de l'oxygène (ROS) et les espèces réactives de l'azote (RNS). Ces deux groupes incluent les radicaux libres et les non-radicaux libres. Les premiers (Fig. 05), qui possèdent au moins un électron célibataire (non apparié) dans les couches autour du noyau atomique, sont plus réactifs et moins stables que ces derniers (Chouikh et al., 2025).

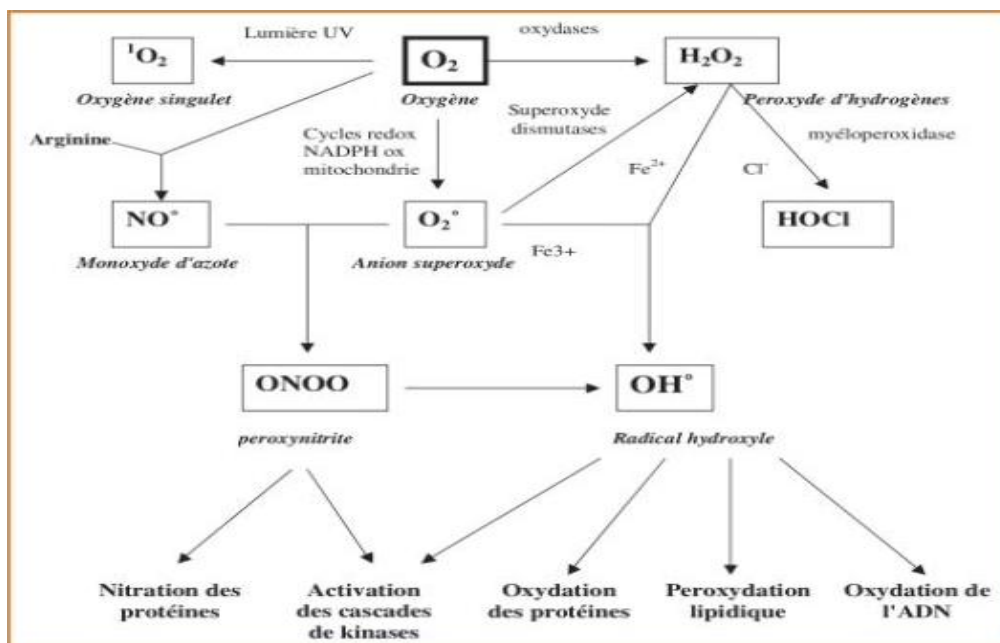


Figure 05 : Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliqués en biologie (Favier, 2003).

1.1.2. Sources d'espèces réactives de l'oxygène (ROS)

✓ Sources endogènes

De façon intrinsèque, les radicaux libres sont produits de manière naturelle par des processus métaboliques comme le transfert d'électrons mitochondrial, les réactions enzymatiques et les réponses immunitaires (Chandimali et al., 2025).

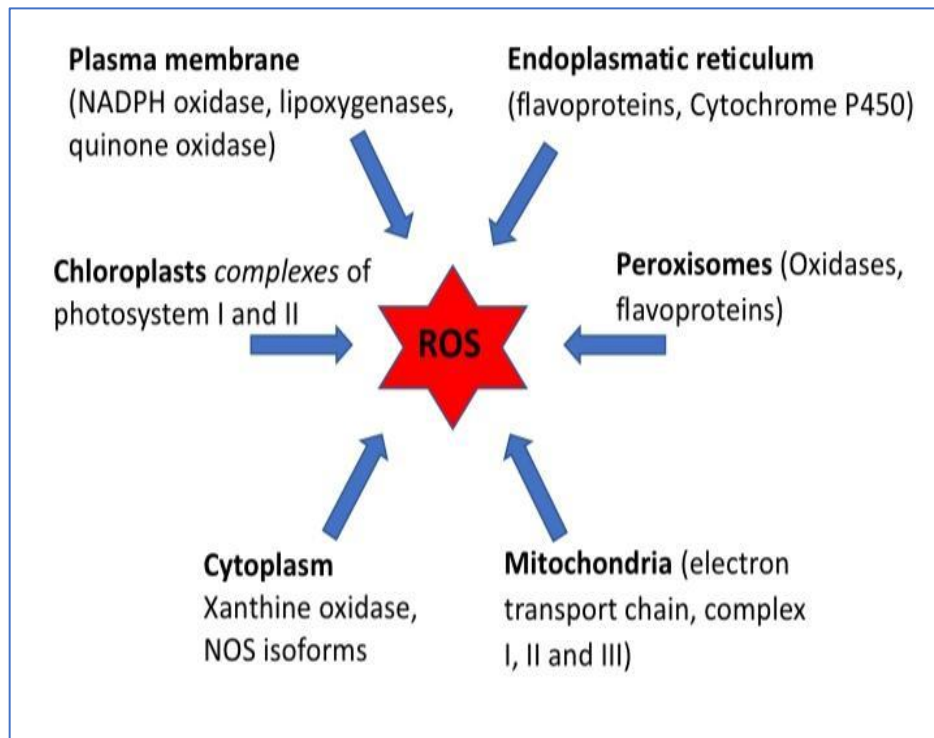


Figure 06 : Les sources cellulaires de ROS (jomova et al., 2023).

✓ Sources exogènes de ROS :

De manière externe, ils résultent de l'exposition à des éléments environnementaux tels que les rayons ultraviolets (UV), la pollution, la fumée de cigarette et les substances chimiques industrielles (Chandimali et al., 2025).

2. Antioxydants

Les antioxydants sont des composés qui peuvent donner un électron afin de neutraliser les radicaux libres et ainsi diminuer leur potentiel nuisible. En raison de leur aptitude à capturer les radicaux libres, les dommages aux cellules sont généralement retardés ou même évités. Grâce à leur faible masse moléculaire, ces antioxydants établissent aisément une interaction avec divers radicaux libres, ce qui permet d'interrompre une chaîne de réactions (Tumilaar et al., 2024).

2.1. Les antioxydants enzymatiques

Les enzymes antioxydants incluent la superoxydase dismutase (SOD), la catalase et la glutathion peroxydase (GPx) (Chouikh et al., 2025).

✓ Les superoxydes dismutase (SOD)

La superoxyde dismutase est une enzyme antioxydante contenant des métaux, présente dans presque tous les organismes aérobies, incluant les plantes. La SOD joue un rôle proactif de conversion des radicaux superoxyde (O_2^-) en H_2O et O_2 , empêchant ainsi la génération d' OH (Gulcin, 2025).

✓ La catalase (CAT)

La CAT se retrouve dans l'ensemble des tissus et organes (les reins et le foie) à des concentrations élevées, elle favorise la dissociation du H_2O_2 en H_2O et O_2 (Gulcin, 2025).

✓ Glutathion peroxydase

C'est une catégorie d'enzymes favorise la réduction du H_2O_2 ainsi que des peroxydes organiques, y compris les peroxydes de phospholipides. Ils se situent dans le foie et les reins, ainsi que dans presque tous les tissus (Chouikh et al., 2025).

2.2. Les antioxydants non enzymatiques

Ils sont aussi appelés antioxydants synthétiques ou suppléments nutritionnels tels que la vitamine C (acide ascorbique), la vitamine E (α -tocophérol), les caroténoïdes (β -carotène, lycopène, lutéoline), les polyphénols et les flavonoïdes présents dans les fruits et légumes. Il s'agit généralement de molécules antioxydantes de faible poids moléculaire (LMWA), qui peuvent prévenir les dommages oxydants soit en interagissant directement avec les espèces réactives à l'oxygène (ROS), soit de manière indirecte en chélatant les métaux (Chouikh et al., 2025).

3. Méthodes de recherche de l'activité antioxydants

Les techniques pour évaluer l'activité antioxydante ont connu une évolution importante. Ces méthodes ont été élaborées pour examiner et étudier les propriétés et les potentiels antioxydants de produits commerciaux, d'aliments, de médicaments, de produits pharmaceutiques et d'échantillons biologiques. Le concept de pouvoir antioxydant, initialement né dans le domaine de la chimie, a ensuite été adapté à divers domaines tels que la biologie, la médecine, l'épidémiologie et la nutrition (Gulcin, 2025).

3.1. Test du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)

Le test de capture du radical DPPH est l'une des méthodes couramment utilisées pour évaluer l'activité antioxydante. Le DPPH est un radical azoté stable et résistant, doté d'une couleur bleu foncé (Fig. 07). Cette méthode, fréquemment employée pour évaluer le pouvoir antioxydant, est à la fois simple, rapide et peu coûteuse. La méthode de détection du DPPH dépend des paramètres expérimentaux tels que la durée de réaction et la concentration (Gulcin, 2025).

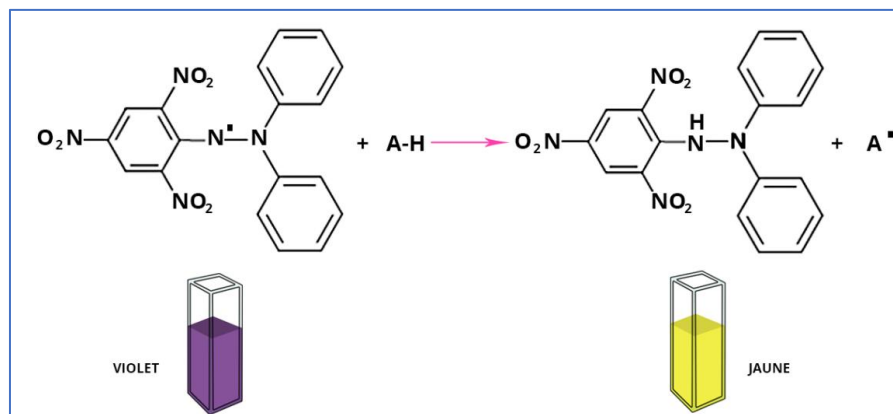


Figure 07 : La réaction impliquant le test DPPH.

3.2. Test CAT (Capacité antioxydante totale)

L'évaluation de la capacité antioxydante totale (CAT) se fait généralement par spectroscopie, grâce à l'établissement d'un complexe phosphomolybdique. Cette méthode repose sur la conversion du Mo(VI) en Mo(V) par l'échantillon, suivi de la formation d'un complexe de phosphate de Mo(V) verdâtre en milieu acide (Alam et al., 2013).

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

Cette méthode, compte tenu de ses avantages, est appropriée pour l'analyse d'une vaste variété de composés, y compris les substances pures, les mélanges et les liquides biologiques. Un autre avantage permet d'évaluer le potentiel antioxydant dans différentes situations et fournit des informations sur l'activité antioxydante de composés dans des environnements hydrophiles et lipophiles (Gulcin, 2025).

3.4. Test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

Le test FRAP s'effectue à un pH acide de 3,6 afin de garantir la solubilité du fer. La mise en œuvre de la réaction dans un environnement acide diminue le potentiel d'ionisation, facilitant ainsi le passage d'électrons et amplifiant le potentiel redox, ce qui entraîne une modification du mécanisme réactionnel prédominant (Gulcin, 2025).

3.5. Test CUPRAC (Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity) :

La technique CUPRAC, qui détermine la transformation du Cu^{2+} en Cu^+ par des antioxydants, est à la fois économique, rapide, stable et sélective. Cela concerne l'évaluation d'un large éventail d'antioxydants, sans tenir compte de leur composition chimique ou de leur hydrophobicité. La méthode CUPRAC, à l'inverse du test FRAP couramment utilisé et qui n'est pas influencé par les antioxydants contenant des groupes -SH, peut mesurer les antioxydants de type thiol tels que le glutathion et les thiols non protéiques (**Gulcin, 202**

Chapitre 3 : Les méthodes d'extraction

Il est essentiel d'extraire les composés bioactifs des plantes médicinales afin de tirer profit de leurs vertus curatives. Au cours des années, diverses techniques d'extraction classiques et modernes ont été développées pour isoler et recueillir ces composés de manière efficace. La sélection d'une méthode d'extraction peut avoir un impact significatif sur le rendement, la qualité et l'activité biologique des extraits de plantes **(Dhanaraj Bhandare et Kardile, 2025)**.

1. Méthodes d'extraction traditionnelles

1.1. Macération

La macération est une technique d'extraction élémentaire qui implique de plonger la matière végétale préparée, soit en fragments ou de poudre, dans un solvant adéquat à température ambiante, pendant une durée minimale de trois jours, avec agitation occasionnelle **(Bitwell et al., 2023)**. Cette méthode consiste à maintenir le matériel végétal en contact prolongé avec le solvant, favorisant ainsi la libération des composés bioactifs. Bien que la macération soit une technique simple qui ne requiert qu'un équipement minimal, elle présente souvent des rendements relativement faibles et nécessite généralement des temps d'extraction plus longs **(Dhanaraj Bhandare et Kardile, 2025)**.



Figure 08 : Méthode d'extraction par macération.

1.2. Infusion

Le terme « infusion » désigne une solution diluée de composants solubles provenant de la matière végétale. C'est une méthode d'extraction qui implique l'immersion de la matière végétale dans un solvant chaud, notamment de l'eau, puis son dépôt dans un contenant fermé hermétiquement pour une durée approximative de 15 minutes. Suite à cela, l'extrait est versé et séparé du résidu grâce à un filtre **(Bitwell et al., 2023)**.

1.3. Décoction

Cette méthode d'extraction est bénéfique pour les composés phytochimiques qui restent intacts et ne subissent pas de modifications lors d'une élévation de la température. Durant une décoction, la matière végétale est bouillie dans de l'eau pendant une durée variant de 15 à 60 minutes. Le temps d'ébullition est déterminé par le type de matières végétales et des composés phytochimiques à obtenir (Bitwell et al., 2023).



Figure 09 : Méthode d'extraction par décoction.

1.4. Digestion

La digestion est une technique d'extraction comparable à la macération qui utilise un échauffement modéré durant le processus d'extraction. On s'assure néanmoins que la température ne modifie pas les composés phytochimiques bioactifs de la matière végétale en question. Donc, le réchauffement améliore l'efficacité de l'utilisation du solvant d'extraction. Généralement, on maintient les températures entre 35 et 40 °C, mais il est possible de les élever jusqu'à 50 °C pour traiter des matériaux végétaux plus robustes, comme les écorces et les substances contenant des composés phytochimiques très peu solubles. Au cours du processus d'extraction, les sections désirées de la plante sont insérées dans un conteneur contenant le solvant adéquat, préchauffé aux températures spécifiées (Bitwell et al., 2023).

1.5. Extraction de Soxhlet

La méthode d'extraction de Soxhlet est un processus continu d'extraction de composés phytochimiques en utilisant un solvant chauffé. Le matériau végétal pulvérisé est inséré dans un godet (sac à pores) conçu à partir de papier filtrant solide ou de cellulose. Le tube rempli de substance végétale pulvérisée est positionné dans le compartiment de l'instrument Soxhlet.

On verse un solvant d'extraction, comme l'éthanol ou le méthanol, dans le récipient inférieur. Par la suite, le solvant est porté à ébullition et transformé en vapeur à l'intérieur du manchon qui contient l'échantillon. Cette vapeur est ensuite condensée dans le condenseur positionné au sommet de l'appareil pour retomber sous forme de gouttelettes, ce qui favorise l'extraction des composés phytochimiques. Cela conduit donc à un rendement plus élevé comparé aux méthodes d'extraction par macération (Bitwell et al., 2023).



Figure 10 : Méthode d'extraction par soxhlet.

2. Méthodes d'extraction vertes

2.1 Extraction assistée par ultrasons (EAU)

L'extraction par ultrasons (EAU) fait appel à des ondes ultrasonores pour créer de la mousse dans le solvant, engendrant immédiatement des vagues de choc qui provoquent la destruction des cellules végétales et modifient le transfert de masse. Cette méthode a prouvé son efficacité et sa fiabilité, surtout en ce qui concerne le temps d'extraction, et offre un rendement remarquable (Njewa et al., 2025). La plage des fréquences ultrasoniques employées varie de 20 kHz à 2 000 kHz. Les résultats démontrent que l'extraction assistée par ultrasons (EAU) constitue une alternative écologique et économiquement avantageuse aux procédés conventionnels de récupération des composés phytochimiques. Cette technique se distingue par une optimisation cinétique significative, une consommation énergétique réduite et une diminution notable de l'usage de solvant (Bitwell et al., 2023).

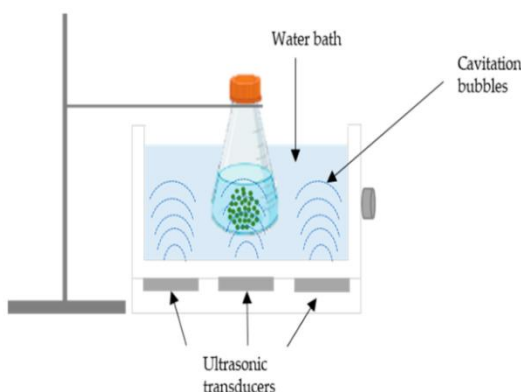


Figure 11 : Schéma représentatif d'extraction assistée par ultrasons (**Martins et al., 2023**).

2.2. Extraction assistée par micro-ondes (MAE)

La méthode d'extraction assistée par micro-ondes (MAE), également connue sous le nom d'extraction par micro-ondes, est une technique innovante de récupération de substances naturelles qui utilise des micro-ondes et des solvants pendant le processus d'extraction. Les micro-ondes oscillent généralement entre 300 MHz et 300 GHz. Durant le processus d'extraction, l'application des micro-ondes sur le solvant et les tissus végétaux intensifie la vitesse de l'extraction. Les micro-ondes produisent de la chaleur dans l'échantillon en interagissant directement avec les molécules polaires. La transformation de l'énergie des micro-ondes en chaleur fait appel à des rotations dipolaires. Elle offre plusieurs avantages comparativement aux méthodes classiques d'extraction par solvant. Elle se distingue par sa rapidité, sa faible consommation en solvant, son coût réduit, ainsi que par un rendement d'extraction généralement plus élevé (**Bitwell et al., 2023**).

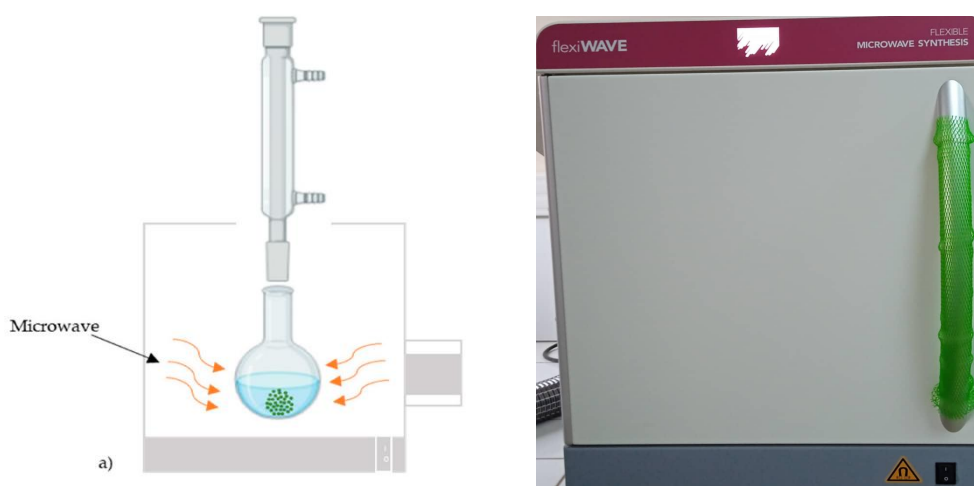


Figure 12 : Schéma représentatif d'extraction assistée par micro-ondes.

2.3. Extraction par fluide supercritique (SFE)

La méthode d'extraction par fluide supercritique (SFE) fait appel à des fluides supercritiques, comme le dioxyde de carbone sous haute pression et à haute température. Le dioxyde de carbone possède des qualités distinctives, comme une viscosité faible, un taux de diffusion élevé et des propriétés spécifiques aux solvants (**Njewa et al., 2025**). Comparée aux techniques d'extraction conventionnelles, l'extraction par fluide supercritique (SFE) présente des avantages significatifs. Elle permet notamment d'obtenir des rendements d'extraction

élevés tout en préservant l'intégrité et l'activité biologique des composés extraits, contrairement à certaines méthodes classiques, telles que l'extraction de Soxhlet (**Bitwell et al., 2023**).

2.4. Extraction enzymatique

L'utilisation d'enzymes dans le processus d'extraction constitue une méthode en pleine émergence appelée extraction enzymatique. Ces enzymes ciblent les parois cellulaires, ce qui entraîne la libération de composés bioactifs. Selon des recherches, le recours à des enzymes telles que les cellulases, les protéases et les pectinases facilite l'extraction et permet d'obtenir de très bons rendements en composés bioactifs tels que les acides phénoliques et les flavonoïdes. L'extraction enzymatique, qui peut être réalisée dans des conditions délicates, permet de préserver les composés bioactifs sensibles à la chaleur. Des recherches ont prouvé que ce protocole augmente l'extraction des composés antioxydants. (**Njewa et al., 2025**) .

Partie expérimental

Matériels et Méthodes

Notre partie expérimentale a été réalisée au sein de laboratoire de recherche « Catalyse & Synthèse en Chimie Organique », département de chimie, faculté des sciences, université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen.

Ce travail vise à :

- ✓ Comparer l'effet des méthodes d'extraction et des solvants sur la productivité des composés bioactifs à partir des feuilles de *Salvia officinalis*,
- ✓ La détermination de la teneur de composés phénoliques et des flavonoïdes,
- ✓ L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits préparés par différentes méthodes.

1. Matériel végétal

1.1 Récolte, séchage et broyage

L'espèce que nous avons étudiée est la *Salvia officinalis*, en raison de son importance et de ses propriétés thérapeutiques.

Les feuilles de sauge ont été récoltées en février et mars 2026 dans le jardin du Grand Bassin, dans la province de Tlemcen, en Algérie. Les feuilles de sauge ont été lavées et séchées naturellement pendant 15 jours.



Figure 12 : Séchage de *Salvia officinalis* L. (Photo originale)

Après le séchage, nous avons broyé la plante dans un mixeur, ce qui la transforme en une fine poudre, facilitant ainsi son utilisation.

1.2 Préparation des extraits

Salvia officinale est l'une des plantes aromatiques et médicinales les plus importantes, ce qui en a fait un produit entrant dans la composition de nombreux produits industriels, surtout ces dernières années.

Les progrès technologiques ont contribué à une meilleure connaissance de ses propriétés et de sa composition, ce qui a permis de développer de multiples techniques d'extraction de ses composés actifs.

Lors de la préparation des extraits, nous avons appliqué cinq méthodes d'extraction différentes (la macération, l'infusion, la décoction, les ultrasons et les micro-ondes) ainsi que cinq solvants différents, afin d'étudier l'influence de la méthode et du solvant sur le rendement et la qualité des composés d'extraits.

Les protocoles expérimentaux sont résumés dans le schéma ci-dessous :

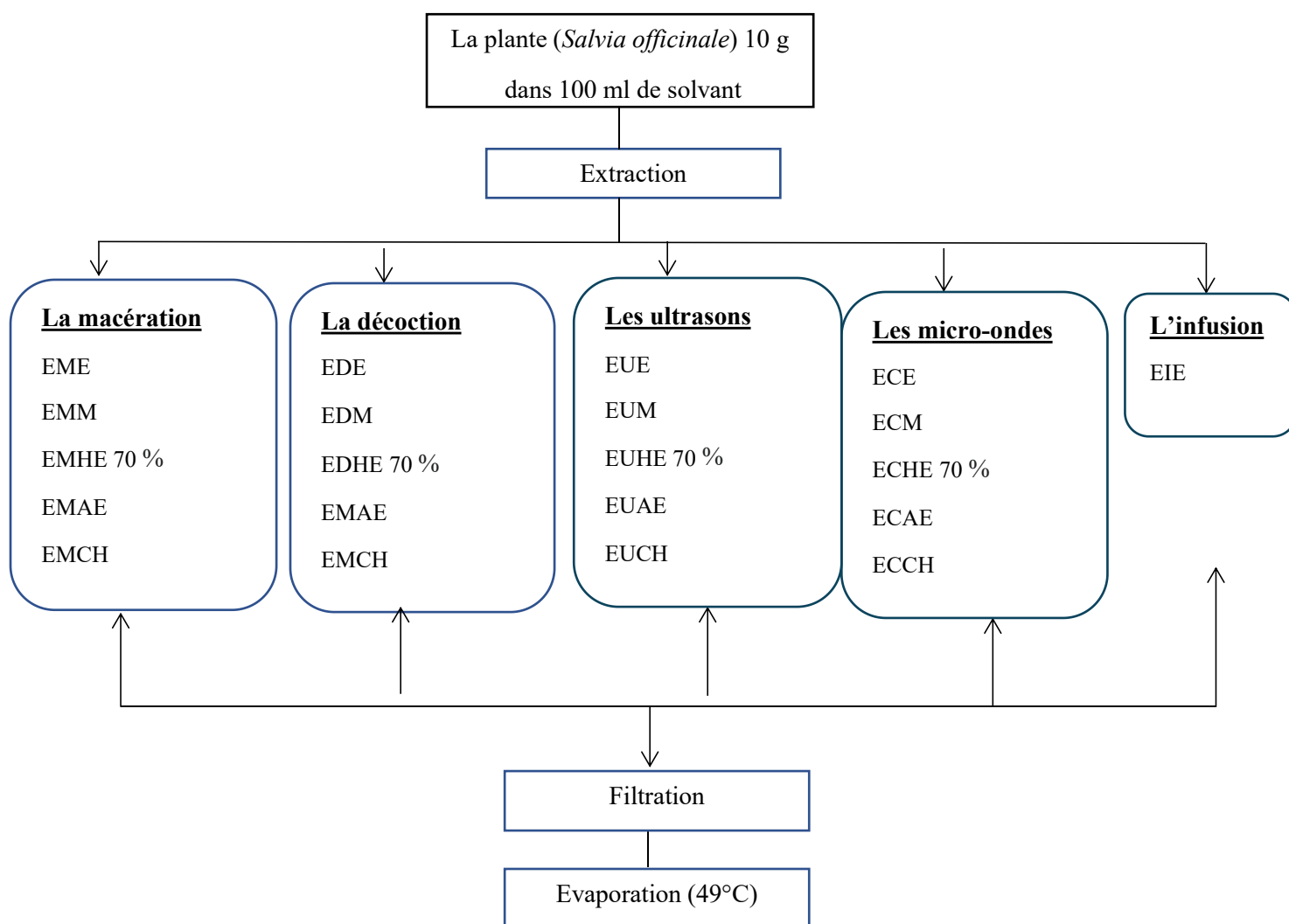


Figure 13 : Protocol expérimental de la préparation des extraits de *Salvia officinale*.



Conditions opératoires des méthodes d'extraction

- ❖ **Macération** : réalisée à la température ambiante pendant 24 heures, avec une agitation continue à l'aide d'un agitateur afin d'améliorer le contact solvant/matière végétale.
- ❖ **Décoction** : effectuée à une température de 100 °C (ébullition) pendant 1 heure.
- ❖ **Infusion** : réalisée à une température comprise entre 80 et 100 °C pendant 15 minutes.
- ❖ **Ultrasons** : effectuée à basse température 30 °C avec une fréquence de 35 Hz pendant 30 minutes.
- ❖ **Micro-ondes** : réalisée à une température comprise entre 25 et 75 °C avec une puissance de 400 W, pendant 5 minutes.

2.3. Calcul des rendements

Les rendements obtenus des extraits préparés par différentes méthodes et différents solvants, sont calculés à partir de l'équation suivante :

$$R (\%) = (M_1 / M_0) \times 100$$

R (%) : rendement exprimé en pourcentage.

M₁ : masse en gramme « g » de l'extrait sec obtenu.

M₀ : masse en gramme « g » du matériel végétal.

2. Tests phytochimiques

Les extraits récupérés ont été soumis à un criblage phytochimique décrit par **Harborne (1998)**, afin de révéler la présence ou l'absence de certains métabolites secondaires.

2.1. Les composés phénoliques

➤ Tanins :

0,5 ml de chlorure ferrique FeCl₃ (1 %) est ajouté à 2 ml de l'extrait, après incubation pendant 15 min à température ambiante le développement d'une coloration verte caractérise les tanins catéchiques, tandis que la couleur bleu-noirâtre indique la présence des tanins galliques.

➤ Flavonoïdes :

1 ml de l'extrait est mélangé avec 1 ml d'acide chlorhydrique (37 %) et quelques copeaux de tournures de Magnésium. L'apparition d'une coloration rouge, orange ou rose indique la présence de flavonoïdes.

➤ **Quinones libres :**

Une couleur qui vire au jaune, rouge ou violet après l'addition de 0,5 ml d'hydroxyde de sodium NaOH (1 %) à 5 ml de l'extrait révèle la présence des quinones libres.

1.2. Les Composés terpéniques :

➤ **Saponosides (Test de mousse) :**

Dans un tube à essai 10 ml de l'extrait est agité pendant 15 secondes. Après 15min, une mousse persistante supérieur à 1 cm indique la présence de saponosides.

➤ **Terpénoïdes :**

Test de chloroforme 5 ml d'extrait est mélangé avec 2 ml de Chloroforme et 3 ml d'acide sulfurique concentré. La formation de deux phases et une couleur marron à l'interphase indique la présence de terpénoïdes.

3. Dosage des composés phénolique

3.1. Dosage de polyphénols totaux

➤ **Principe**

Cette méthode repose sur l'oxydation des composés phénoliques en milieu alcalin par le réactif de Folin-Ciocalteu, entraînant un virage de la couleur de la solution du jaune au bleu. L'intensité de cette coloration stable est mesurée à une longueur d'onde de 725 nm, reflétant ainsi la quantité de polyphénols présents dans l'échantillon, exprimée en équivalent d'acide gallique.

➤ **Mode opératoire**

Selon le protocole décrit par (Vermerris et al., 2006), Un aliquot de 100 µl de chaque extrait ou fraction est mélangé avec 2 ml d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 2 % fraîchement préparée. Après 5 min, 100 µl du réactif du Folin-Ciocalteu (0,2 N) est ajouté au mélange. Ce dernier, après agitation, est incubé pendant 30 minutes à l'obscurité et à température ambiante. La densité optique est mesurée contre le tube blanc (méthanol) au spectrophotomètre à une longueur d'onde (λ) de 725 nm.

Une courbe étalon a été réalisée, en parallèle, dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique comme étalon dissout dans le méthanol à différentes concentrations finales de 2,27 à 45,45 µg/ml.

La concentration des polyphénols totaux présents dans les échantillons, exprimée en microgramme équivalent acide gallique par milligramme extrait sec ($\mu\text{g eq AG/mg Es}$) est calculée selon la formule suivante :

$$[\text{Polyphénols}] = \frac{a*f}{c}$$

a : concentration des polyphénols ($\mu\text{g /ml}$) déterminée à partir de la courbe étalon

f : facteur de dilution.

C : concentration initiale de l'extrait.

3.2. Dosage de flavonoïdes

➤ Principe

Cette méthode repose sur la réaction des flavonoïdes avec le nitrite de sodium (NaNO_2) et le chlorure d'aluminium (AlCl_3) en milieu alcalin, entraînant la formation d'un complexe rose dont l'absorbance est mesurée à 510 nm.

➤ Mode opératoire

La teneur en flavonoïdes dans chaque extrait a été déterminée selon le protocole décrit par (Zhishen et al. 1999). Un volume de 0,25 ml de chaque échantillon, est mélangé avec 1 ml d'eau distillée et 0,075 ml une solution de nitrite de sodium (NaNO_2) à 15 %.

Après 6 minutes à température ambiante, 0,075 ml d'une solution de trichlorure aluminium (AlCl_3) à 10 % et 1 ml de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH à 4 %) sont ajoutés ; le volume total est ajusté à 2.5 ml avec l'eau distillée. Après agitation au vortex, le mélange est incubé pendant 15 minutes à température ambiante.

L'absorbance est mesurée contre le tube blanc (méthanol) au spectrophotomètre à une longueur d'onde (λ) de 510 nm.

Une gamme étalon a été réalisée dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la catéchine à différentes concentrations (50 à 1000 $\mu\text{g/ml}$) permettra la détermination du taux des flavonoïdes.

Le taux de flavonoïdes présents dans les échantillons, exprimés en microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait ($\mu\text{g eq Cat/mg E}$) est calculée selon la formule suivante :

$$[\text{Flavonoïdes}] = \frac{a*f}{c}$$

a: concentration des flavonoïdes (µg/ml) déterminée à partir de courbe étalon.

f: facteur de dilution.

C : concentration initial de l'extrait.

4. Evaluation de l'activité antioxydante

4.1. Test de piégeage du radical DPPH

➤ Principe

La méthode du 2,2-diphényl-1-picryldrazyle (DPPH) repose sur la capacité des composés antioxydants à réduire le radical libre stable DPPH par donation d'un électron ou d'un atome d'hydrogène. Cette réaction entraîne un changement de couleur du violet au jaune, accompagné d'une diminution de l'absorbance à 517 nm.

➤ Mode opératoire :

Le test de DPPH a été réalisé selon la méthode décrite par (Bektas et al., 2005).

Une série de concentrations des extraits de feuilles de *Salvia officinalis* a été préparée dans l'éthanol. Ensuite, 25 µl de chaque concentration d'extrait ont été ajoutés à 975 µl de la solution de DPPH.

Pour chaque concentration d'extrait, un blanc a été préparé en mélangeant 25 µl d'extrait avec 975 µl d'éthanol.

Un témoin négatif a également été préparé en ajoutant 25 µl d'éthanol à 975 µl de solution de DPPH.

Dans les mêmes conditions, un témoin positif a été préparé en utilisant l'acide ascorbique à différentes concentrations.

Le mélange réactionnel a été agité vigoureusement puis incubé à température ambiante pendant 30 min à l'obscurité. Après incubation, l'absorbance a été mesurée à 510 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible. Chaque essai a été réalisé en triplicata.

La valeur IC₅₀, correspondant à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % du radical libre DPPH, a été déterminée à partir de la courbe dose-réponse logarithmique. Une faible absorbance du mélange réactionnel indique une activité antioxydante plus élevée.

Le pourcentage d'inhibition du DPPH a été calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Inhibition (\%)} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

A_0 : représente l'absorbance du témoin.

A_1 : représente l'absorbance de l'échantillon testé ou du standard.

4.2. Test de CAT (capacité antioxydante totale)

➤ Principe

Le test de capacité antioxydante totale repose sur la réduction du molybdène hexavalent (Mo^{6+}) en molybdène pentavalent (Mo^{5+}) par les composés antioxydants présents dans l'échantillon, en milieu acide. Cette réaction conduit à la formation d'un complexe vert phosphate-molybdène. L'absorbance de ce complexe est mesurée par spectrophotométrie à 695 nm.

➤ Mode opératoire

Le test de la capacité antioxydante totale (CAT) a été réalisé selon la méthode décrite par **(Phatak et Handre, 2013)**.

- . Le réactif de phosphomolybdate est préparé par mélange approprié des solutions afin d'obtenir les concentrations finales suivantes : acide sulfurique (0,6 M), phosphate de sodium (28 mM) et molybdate d'ammonium (4 mM).

- . Pour chaque essai, 0.2 ml de chaque extrait sont mélangé à 2 ml de réactif de phosphomolybdate.

- . Un blanc est également préparé dans les mêmes conditions, en remplaçant l'extrait par 0.2 ml d'eau distillée mélangée à 2ml de réactif.

- . Dans les mêmes conditions, un témoin positif a été réalisé en utilisant l'acide ascorbique à différentes concentrations.

Ces tubes sont ensuite incubés pendant 90 minutes à 95 °C dans une étuve. Après incubation, les tubes ont été normalisés à température ambiante pendant 20 à 30 min et l'absorbance du mélange réactionnel a été mesurée à 695 nm.

Chaque essai est effectué en triplicata.

La capacité antioxydante totale est exprimé en milligrammes équivalents d'acide ascorbique par gramme d'extrait (mg EAA/g), sur la base de courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique.

Les valeurs moyennes de trois échantillons indépendants ont été calculées pour

Chaque extrait.

Résultats et interprétations

1. Rendements d'extraction

Les rendements obtenus sont présentés dans le tableau suivant (Tab. 1) et exprimés en pourcentage (%) de matière extraite par rapport à la masse initiale de la matière végétale.

Tableau 1 : Rendements d'extraction (%) de *Salvia officinalis* obtenus par différentes méthodes d'extraction et différents solvants

Méthode solvant	Macération (%)	Décoction (%)	Infusion (%)	Ultrason (%)	Micro-onde (%)
Eau	14,4	17,6	17,1	15,2	11,2
Hydroéthanol (70%)	19,7	15,4	/	20	16,1
Méthanol	17,1	19,7	/	15	9,9
Chloroforme	13,9	15,1	/	18	6
Acétate d'éthyle	10,3	15,4	/	16,2	7

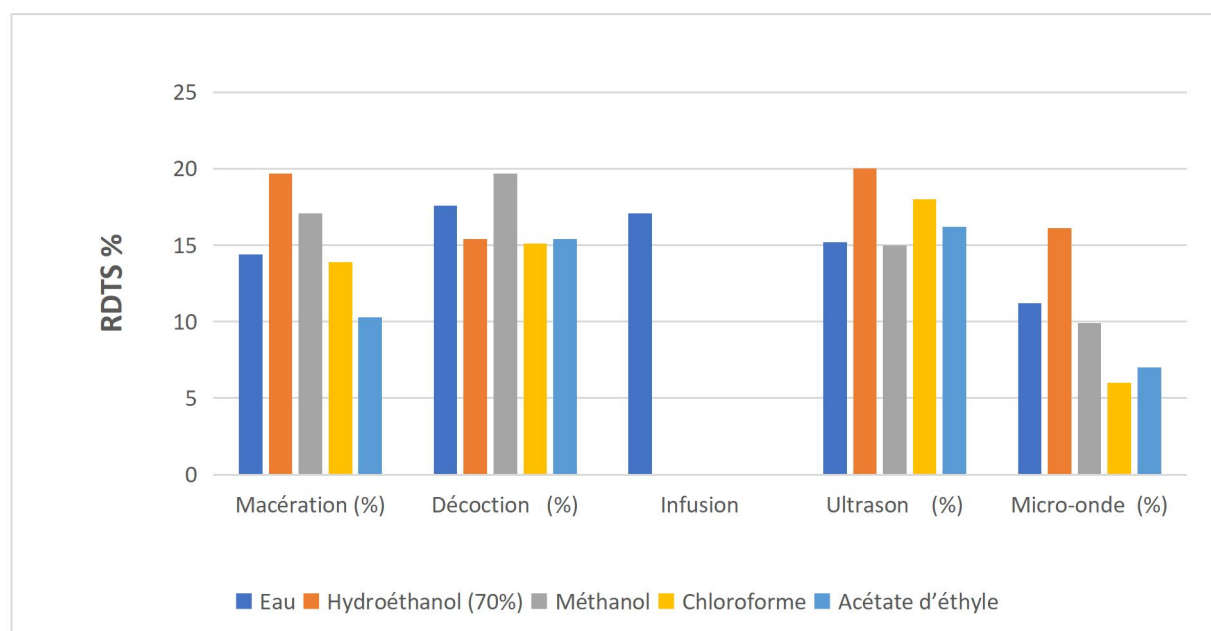


Figure 14 : Rendements des extraits de *Salvia officinalis*.

Les extraits préparés présentent des rendements variables entre 6 et 20 %, cette variation étant liée tant à la technique d'extraction employée qu'au solvant utilisé.

L'extraction assistée par ultrasons utilisant l'hydroéthanol en tant que solvant produit le rendement le plus important par rapport aux autres types d'extraits (Tab. 1, Fig. 14).

2. Tests phytochimiques

L'analyse initiale de la composition phytochimique de la plante examinée a permis d'observer la présence de certains composés chimiques. Tab. 2 présente les résultats du criblage phytochimique effectués sur l'extrait de décoction dans l'eau sélectionné.

Tableau 2 : Résultats des tests phytochimiques d'extrait aqueux préparé par décoction de *Salvia officinalis*.

Métabolites secondaires	EDE
Tanins	+
Flavonoïdes	-
Quinones libres	+
Terpénoïdes	+
Saponines	++

EDE : extrait aqueux préparé par décoction ; (+) : présence ; (-) : absence.

Le screening phytochimique a révélé la présence des tanins, des Quinones libres, des Terpénoïdes, des Saponines et l'absence des Flavonoïdes dans l'extrait aqueux préparé par décoction (EDE), (Tab. 2).

3. Dosage des composés phénoliques

3.1. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé par la méthode spectrophotométrique utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. La teneur en polyphénols totaux a été déterminée à partir de l'équation de régression linéaire obtenue à partir de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (Fig. 15). Les résultats sont exprimés en microgrammes d'équivalent acide gallique par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EAG/mg E}$).

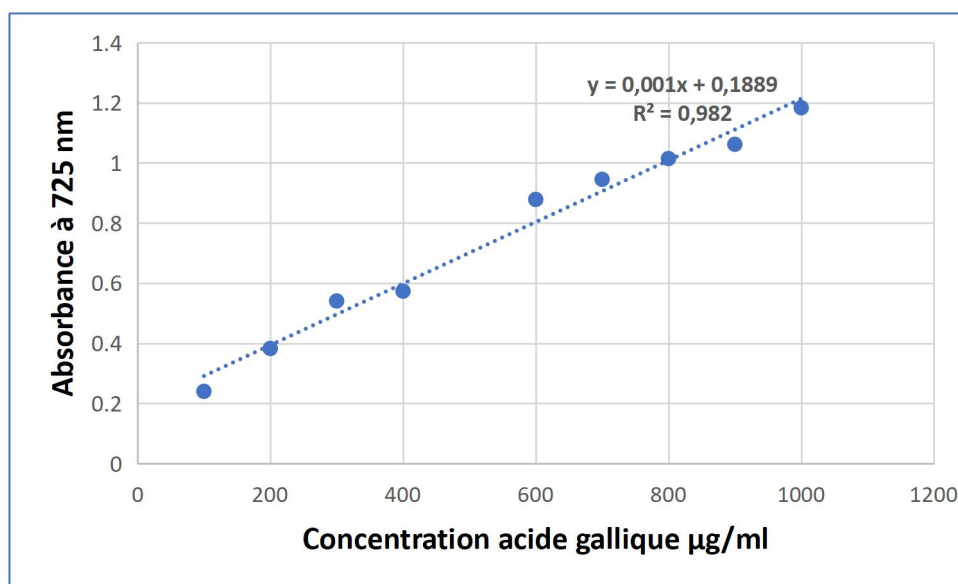


Figure 15 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée dans les différents extraits de *Salvia officinalis* préparés selon différentes méthodes d'extraction et en utilisant des différents solvants, sont présentées dans la **Figure 16**.

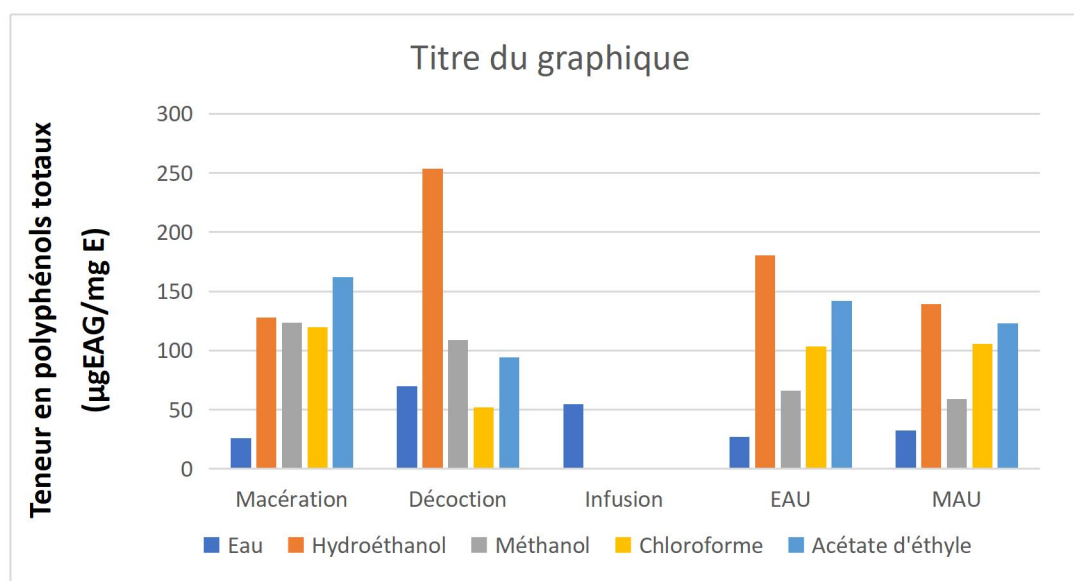


Figure 16 : Teneur en polyphénols totaux (µg EAG/mg E) des différents extraits de *Salvia officinalis*.

3.2. Dosage des flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes a été effectué par spectrophotométrie selon la méthode au chlorure d'aluminium.

Les teneurs en flavonoïdes ont été déterminées à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage de la catéchine (Fig. 17). Les résultats sont exprimés en microgrammes d'équivalent de catéchine par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EC/mg E}$).

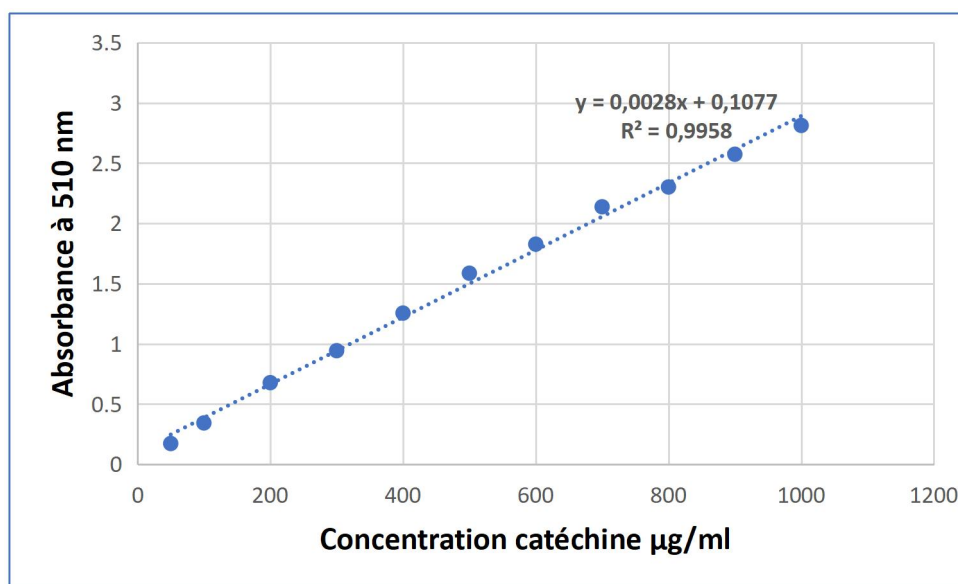


Figure 17 : Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes.

La teneur en flavonoïdes a été déterminée dans les différents extraits de *Salvia officinalis* préparés par différentes méthodes d'extraction et en utilisant des différents solvants, sont présentées dans la **Figure 18**.

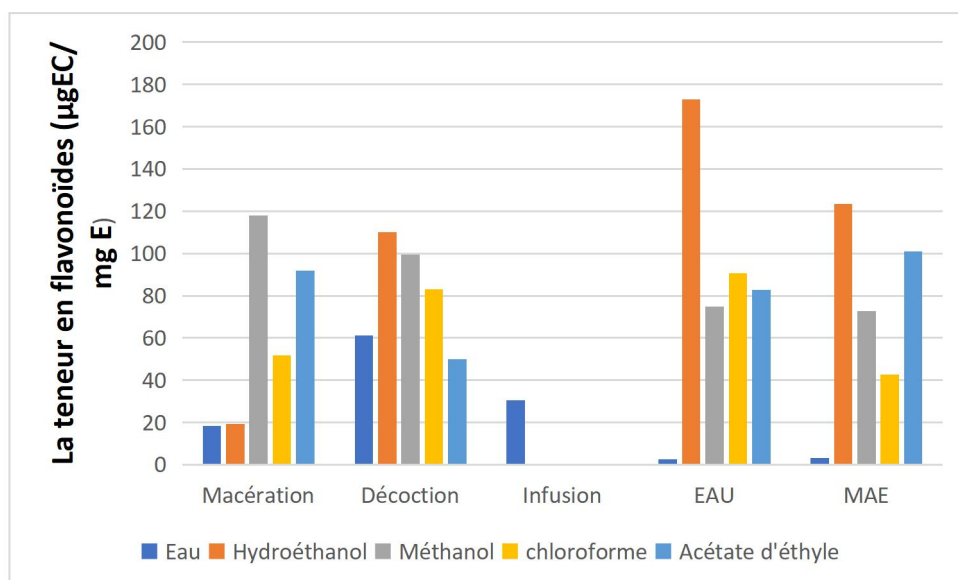


Figure 18 : Teneur en flavonoïdes ($\mu\text{g EC/mg E}$) des différents extraits de *Salvia officinalis*

Le tableau suivant présente les teneurs en polyphénols totaux (TPC) et en flavonoïdes (TFC) des différents extraits de *Salvia officinalis* obtenus par différentes méthodes d'extraction (Tab. 03).

Tableau 3 : Taux de polyphénols totaux et flavonoïdes dans les différentes préparations de la *Salvia officinalis*.

Les extraits	Les Méthodes	Polyphénols totaux µg EAG/mg E	Flavonoïdes µg EC/mg E
EAU	Macération	25,92 ± 5,23	18,39 ± 0,11
	Décoction	69,69 ± 4,81	61,27 ± 0,12
	Infusion	49,84 ± 2,92	30,40 ± 0,54
	EAU	27,21 ± 9,41	5,64 ± 3,27
	MAE	12,45 ± 7,24	3,05 ± 0,77
Hydroéthanol (70%)	Macération	127,71 ± 2,26	19,29 ± 4,88
	Décoction	253,56 ± 7,27	109,93 ± 11,90
	EAU	180,22 ± 5,65	172,90 ± 5,07
	MAE	139,14 ± 14,92	123,58 ± 0,68
Méthanol	Macération	123,72 ± 6,36	118,01 ± 0,67
	Décoction	109,02 ± 0,28	99,52 ± 7,27
	EAU	80,38 ± 4,10	74,71 ± 6 ,03
	MAE	85,22 ± 5,65	72,64 ± 3,93
Chloroforme	Macération	119,77 ± 3,53	51,80 ± 0,90
	Décoction	95,02 ± 10,46	82,92 ± 3,59
	EAU	103,62 ± 1,41	90,49 ± 6,16
	MAE	105,82 ± 4,32	42,57 ± 1,75
Acétate d'éthyle	Macération	126,22 ± 7,91	91,89 ± 0,46
	Décoction	94,12 ± 2,40	49,86 ± 4,90
	EAU	142,02 ± 12,16	82,73 ± 6,36
	MAE	123,22 ± 1,41	101,08 ± 8,72

Valeurs exprimées en moyenne ± Ecart-types.

Les résultats obtenus ont mis en évidence des concentrations importantes de polyphénols totaux et de flavonoïdes dans l'ensemble des extraits de *S. officinalis* préparés. On a enregistré

des concentrations de $12,45 \pm 7,24$ à $253,56 \pm 7,27$ pour les polyphénols totaux, et de $5,64 \pm 3,27$ à $172,90 \pm 5,07$ pour les flavonoïdes, respectivement.

Les extraits d'hydroéthanol (70 %) ont présenté les teneurs les plus élevées en polyphénols totaux et en flavonoïdes, par contre les extraits d'eau ont présenté les teneurs les plus faibles de ces constituants.

Nous avons noté que les extraits obtenus par la méthode ultrasons ont présenté les concentrations les plus notables en polyphénols totaux et en flavonoïdes.

4. l'activité antioxydante

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits de *S. officinalis* a été déterminée in vitro par les méthodes de DPPH et CAT.

4.1. Capacité de piégeage du radical libre DPPH

L'activité antiradicalaire des extraits a été évaluée à travers leur capacité à neutraliser le radical libre DPPH.

Les résultats obtenus ont été exprimés en pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des différentes concentrations des extraits, (Figures 20, 21 et 22) ainsi que de l'acide ascorbique utilisé comme contrôle positif (Fig. 19).

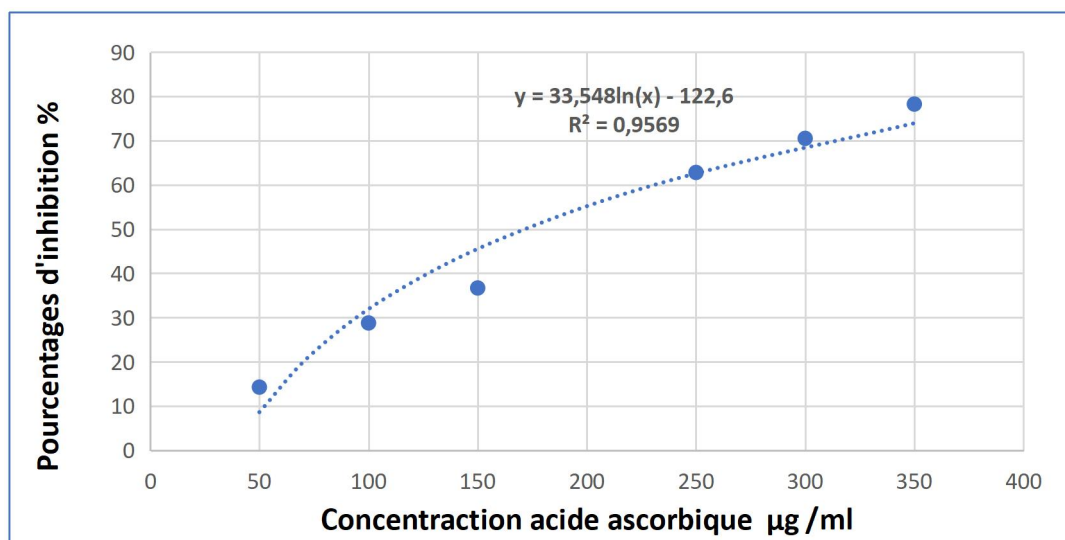


Figure 19 : Pourcentages d'inhibition du DPPH en fonction des différentes concentrations d'acide ascorbique

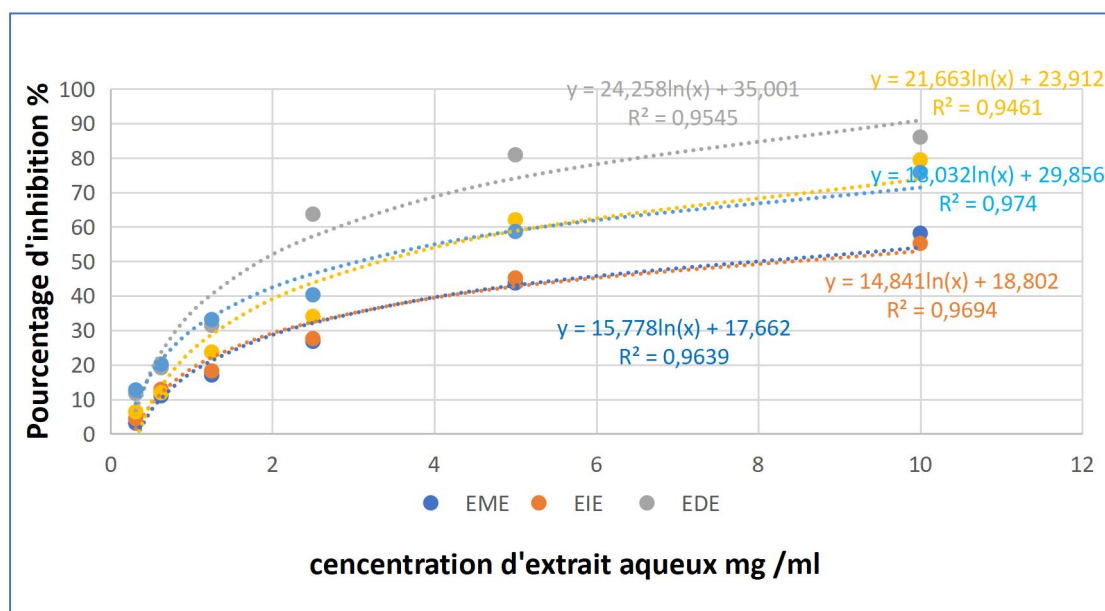


Figure 20 : Pourcentages d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait aqueux de *S. officinalis* obtenu par différentes méthodes d'extraction.

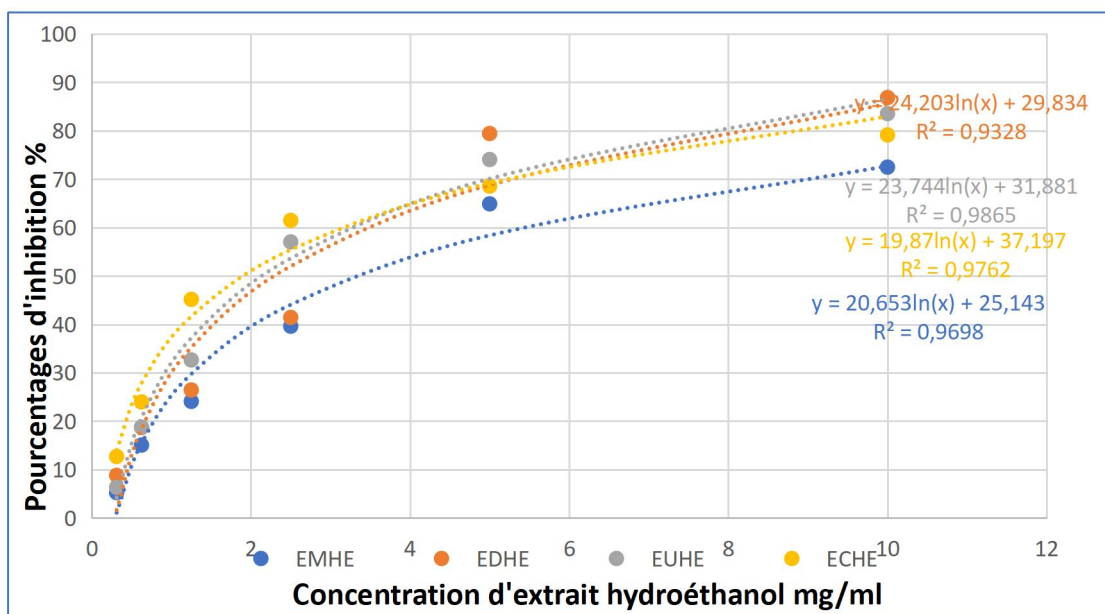


Figure 21 : Pourcentages d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait hydroéthanolique de *S. officinalis* obtenu par différentes méthodes d'extraction.

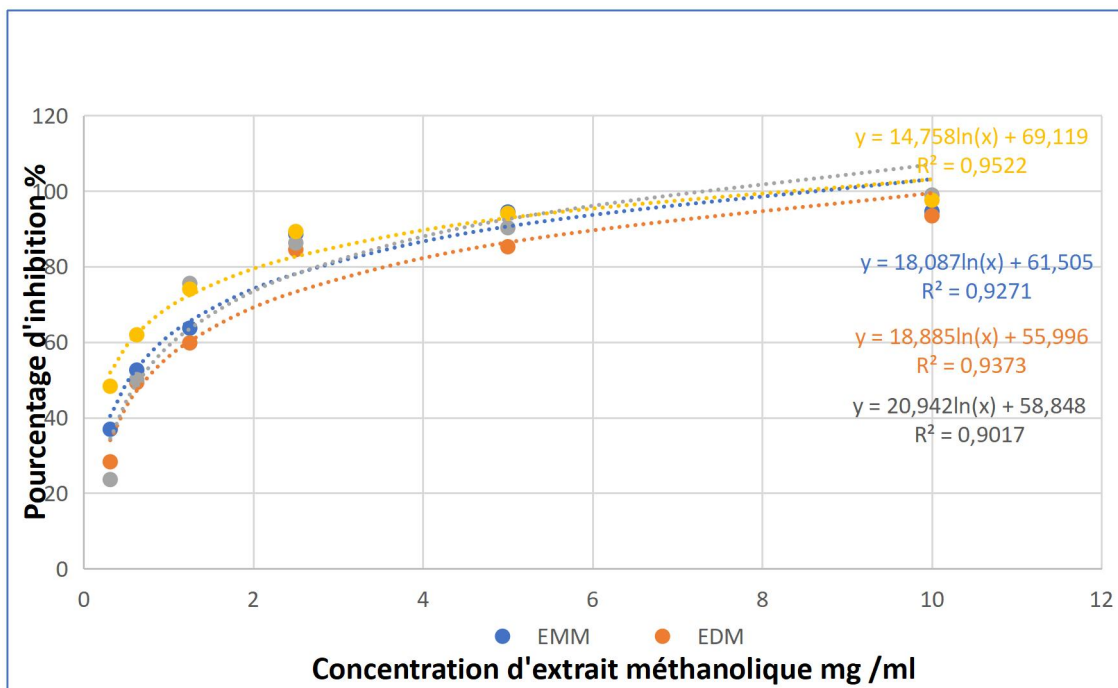


Figure 22 : Pourcentages d'inhibition du radical DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait méthanolique de *S. officinalis* obtenu par différentes méthodes d'extraction.

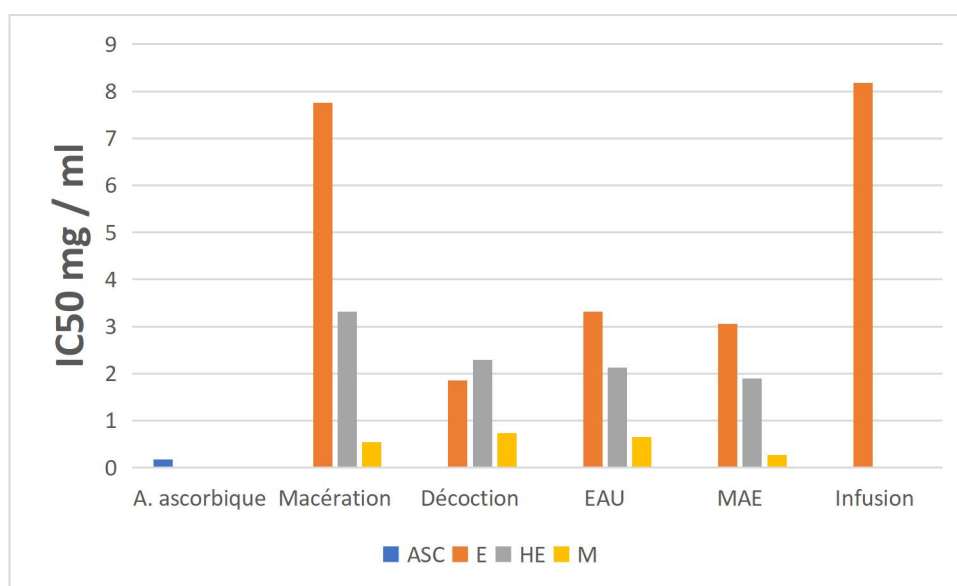


Figure 23 : Valeurs d' CI_{50} de l'acide ascorbique des différents extraits de *Salvia officinalis* obtenus par différentes méthodes d'extraction.

La figure suivante (**Fig. 23**) présente les valeurs d'CI₅₀ des extraits aqueux (**E**), hydroéthanoliques (**HE**) et méthanoliques (**M**) de *Salvia officinalis* obtenus par différentes méthodes d'extraction, ainsi que celle de l'acide ascorbique utilisé comme référence.

La valeur d'CI₅₀ de l'acide ascorbique et des différents extraits ont été déterminées à partir d'une régression logarithmique.

Tableau 4 : Valeurs d'CI₅₀ dans les différentes préparations de la *Salvia officinalis*.

Méthode	Eau	Hydroéthanol	Méthanol
Macération	7,75 mg/ml	3,32 mg/ml	0,54 mg/ml
Décoction	1,85 mg/ml	2,29 mg/ml	0,73 mg/ml
Infusion	8,18 mg/ml	/	/
EAU	3,32 mg/ml	2,13 mg/ml	0,65 mg/ml
MAE	3,06 mg/ml	1,89 mg/ml	0,27 mg/ml

Valeurs exprimées en moyenne.

Les extraits examinés ont montré une capacité à piéger le radical DPPH, avec des valeurs variables de CI₅₀ (**Tab. 4**). L'acide ascorbique a présenté la plus faible valeur d'IC₅₀ (0,171 mg/mL), indiquant ainsi une activité antioxydante très élevée par rapport à tous les extraits de *Salvia officinalis*.

D'après les résultats représentés dans le tableau 4, l'activité antioxydante la plus forte a été constatée chez les extraits méthanoliques en comparaison avec les autres solvants. En revanche, l'extrait préparé par micro-ondes a démontré l'activité la plus puissante, presque comparable à celle de l'acide ascorbique dans les mêmes conditions.

4.2. Capacité antioxydante totale (CAT)

Capacité antioxydante totale a été déterminée à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage d'acide ascorbique (**Fig. 24**). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent d'acide ascorbique par gramme d'extrait (mg EAA/g E).

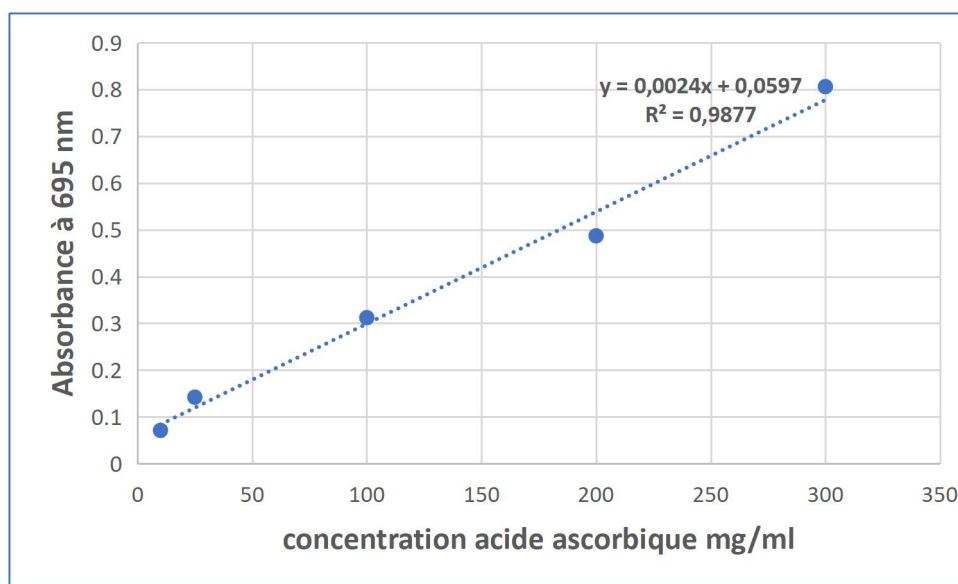


Figure 24 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique utilisée pour le dosage de la capacité antioxydante totale.

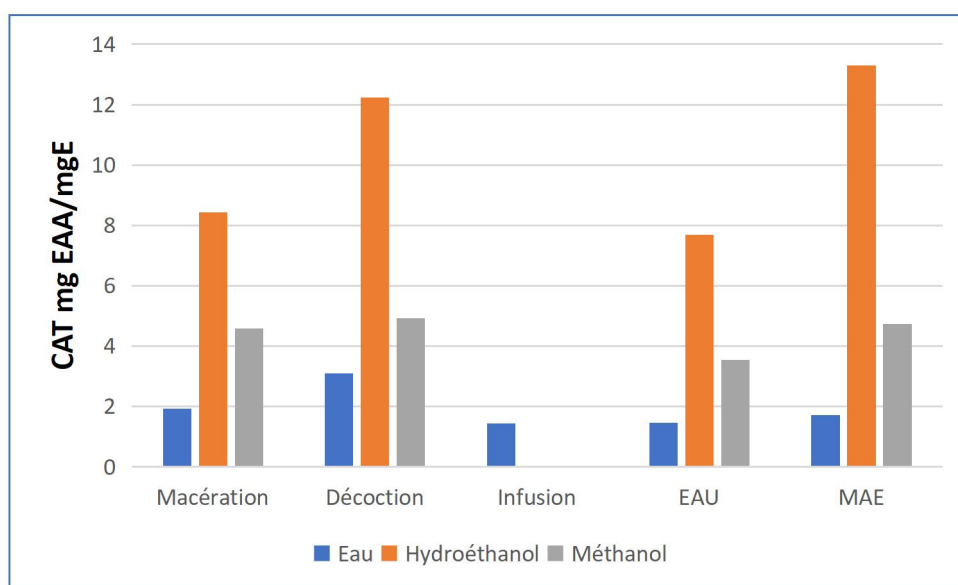


Figure 25 : Les valeurs de la capacité antioxydante totale (mg EAA/g E) des différents extraits de *Salvia officinalis*

Les valeurs de la capacité antioxydante totale des différents extraits, préparés selon diverses méthodes d'extraction et différents solvants (eau, hydroéthanol, méthanol), sont présentées dans **tableau 5**.

Tableau 5 : Les valeurs de la capacité antioxydante totale dans les différentes préparations de la *Salvia officinalis*

Méthode	Eau	Hydroéthanol	Méthanol
Macération	1,92 ± 0,43 mg EAA/g E	8,43 ± 1,73 mg EAA/g E	4,58 ± 0,10 mg EAA/g E
Décoction	3,08 ± 0,01 mg EAA/g E	12,23 ± 0,15 mg EAA/gE	4,91 ± 0,28 mg EAA/g E
Infusion	1,44 ± 0,07 mg EAA/g E	/	/
EAU	1,47 ± 0,64 mg EAA/g E	7,69 ± 0,69 mg EAA/g E	3,53 ± 0,65 mg EAA/g E
MAE	1,71 ± 0,88 mg EAA/g E	13,29 ± 2,81 mg EAA/gE	4,72 ± 0,59 mg EAA/g E

Valeurs exprimées en moyenne ± Ecart-types.

La figure **25** montre que tous les extraits de *S. officinalis* affichent une capacité antioxydante totale relativement importante. De plus, l'extrait hydroéthanolique a mis en évidence les activités les plus performantes. Nous avons constaté que les plus hautes valeurs étaient observées dans les extraits hydroéthanoliques obtenues par micro-ondes (13,29 ± 2,81 mg EAA/mg E) et ensuite par décoction (12,23 ± 0,15 mg EAA/gE) (Tab. 5)

Discussion

Au cours des dernières années, des recherches approfondies ont été menées sur les plantes médicinales pour témoigner leur usage traditionnel et identifier leurs composés bioactifs afin d'examiner leurs impacts biologiques, ou encore les utiliser comme modèle pour la synthèse de nouvelles substances. Des recherches approfondies sur la *Salvia officinalis* (Sauge) ont démontré une diversité d'activités biologiques. Elle est couramment employée pour traiter diverses affections, y compris les crises, les ulcères, la goutte, les rhumatismes, l'inflammation, les tremors, la paralysie, la diarrhée et l'hyperglycémie.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à améliorer le rendement d'extraction des constituants bioactifs de la *Salvia officinalis* et à évaluer l'activité antioxydante de ces extraits.

Les résultats du rendement d'extraction obtenus montrent que le meilleur rendement obtenu par la méthode de macération est de 19,7 % avec le solvant hydroéthanolique à 70 % pendant 24 h. De même, les méthodes d'extraction assistée par ultrasons 20 % et par micro-ondes 16,1 % ont également présenté leurs rendements les plus élevés avec ce même solvant. En revanche, pour la décoction, le rendement le plus élevé a été obtenu avec le méthanol 19,7 %. Quant à l'infusion, le rendement d'extraction obtenu avec l'eau était de 17,1 %.

Kaya et al. (2017) ont rapporté qu'une extraction par macération à l'aide d'éthanol à 70 % et la durée (3, 6, 8, 10 heures) a permis d'obtenir un rendement d'extraction d'environ 25 %. Le rendement d'extraction obtenu par infusion aqueuse 17,1 % est le même que celui que nous avons obtenu et est proche de celui rapporté par **Vieira et al. (2020)**, qui ont obtenu un rendement de 15,3 % pour l'extrait aqueux de *Salvia officinalis*.

De même, **Gonçalves et al. (2020)** ont rapporté que les extraits hydroéthanoliques présentaient les meilleurs rendements d'extraction. Par ailleurs, les techniques assistées par ultrasons et par micro-ondes améliorent l'efficacité de l'extraction chez *Salvia officinalis* (**Moussa et al., 2023**). Cette variation est probablement due au choix du solvant, à la méthode et le temps d'extraction, à la température, à la région et à la période de récolte.

Le screening phytochimique a révélé la présence des polyphénols, des tanins, des Quinones libres, des Terpénoïdes, des Saponines et absence des Flavonoïdes dans l'extrait aqueux préparé par décoction (EDE). Plusieurs études ont mis en évidence la présence de composés chimiques actifs dans cette plante, ce qui pourrait expliquer son utilisation en médecine traditionnelle. **Maliki et al. (2021)** ont montré que l'extrait aqueux de *Salvia officinalis* renfermait des tanins, stérols, alcaloïdes, saponosides et mucilages. **Belkacem et al. (2022)**,

qui ont mis en évidence la présence des tanins, des quinones, des saponines et des composés terpénoïdiques dans les extraits de *Salvia officinalis*.

Les résultats montrent que l'extrait hydroéthanolique (70 %) a présenté les teneurs en polyphénols totaux les plus élevées quelle que soit la méthode d'extraction utilisée. Les valeurs obtenues étaient de $127,71 \pm 2,26$ µg EAG/mg E pour la macération, $253,56 \pm 7,27$ µg EAG/mg E pour la décoction, $180,11 \pm 4,38$ µg EAG/mg E pour l'extraction assistée par ultrasons et $140,14 \pm 0,78$ µg EAG/mg E pour l'extraction assistée par micro-ondes. Quant à l'infusion, la teneur en polyphénols obtenu avec l'eau $49,84 \pm 2,92$ µg EAG/mg E.

D'autre part, les teneurs en flavonoïdes ont été déterminées selon la méthode d'extraction utilisée. La macération a révélé une teneur en flavonoïdes la plus élevée, $118,01 \pm 0,67$ µg EC/mg E pour l'extrait méthanolique. La décoction a présenté une teneur de $109,93 \pm 11,90$ µg EC/mg E pour l'extrait hydroéthanolique (70 %), tandis que l'extraction assistée par ultrasons a donné la teneur $172,90 \pm 5,07$ µg EC/mg E pour l'extrait hydroéthanolique et l'extraction assistée par micro-ondes donne la teneur $123,58 \pm 0,68$ µg EC/mg E pour l'extrait hydroéthanolique (70 %). Quant à l'infusion, la teneur en flavonoïdes obtenue avec l'eau est de $30,40 \pm 0,54$ µg EC/mg E.

Mahdi et al. (2021), qui ont obtenu une teneur en polyphénols totaux de $271,11 \pm 0,02$ µg GAE/mg DE et la teneur en flavonoïdes totaux de $230,36 \pm 0,06$ µg CE/mg DE à partir d'un extrait hydro-méthanolique (70 %) obtenu par macération pendant 72 h. **Jalilpour et al. (2022)** ont rapporté que la macération avec un solvant hydroéthanolique a permis d'obtenir une teneur en polyphénols totaux $271,67$ mg EAG/g pour 930 g du matériel végétal sec. **Bouzabata et al. (2026)** ont montré que l'extrait hydrométhanolique préparé par décoction a présenté une teneur en composés phénoliques totaux (TPC) de $179,00 \pm 0,47$ mg GAE/g DW et une teneur en flavonoïdes totaux (TFC) de $56,59 \pm 0,10$ mg QE/g DW.

Teofilović et al. (2025) qui ont obtenu une teneur en polyphénols totaux de $64,46 (0,05)$ mg eq GA/g DE pour extrait aqueux préparé par microonde.

Selon **Zeković et al. (2017)**, les méthodes d'extraction assistées par ultrasons et par micro-ondes améliorent la récupération des composés antioxydants.

Les études antérieures portant sur les extraits de *Salvia officinalis* ont démontré que le type de solvant utilisé ainsi que l'origine géographique de la plante peuvent influencer de manière significative les teneurs totales en composés phénoliques et en flavonoïdes (**Duletić-Laušević**

et al., 2019). Ces valeurs varient en fonction du type de solvant utilisé et de la méthode d'extraction employée.

Les valeurs d'IC₅₀ montrent que le solvant méthanol présente une bonne efficacité, avec des valeurs de 0,54 mg/ml pour la macération, 0,73 mg/ml pour la décoction, 0,65 mg/ml pour les ultrasons et 0,27 mg/ml pour les micro-ondes. Pour l'infusion donne à valeur 8,18 mg /ml pour l'extrait aqueux. Et acide ascorbique valeur d'IC₅₀ (0,171 mg/ml).

Vieira et al. 2020 ont montré que les extraits aqueux par infusion à la valeur d'IC₅₀ de $157 \pm 1,9$ µg/ml et l'extrait hydroéthanol (50%) par macération IC₅₀ de $131 \pm 4,1$ µg/ml.

L'étude **Teofilović et al. 2025** a montré que l'extrait aqueux par microonde à la valeur IC₅₀ de 4.53(0.21) µg/ml. **Bouzabata et al. (2026)** ont montré que l'extrait aqueux de *Salvia officinalis* présente une meilleure activité antioxydante que l'extrait hydrométhanolique, avec des IC₅₀ de 81,10 µg/ml et 114,86 µg/ml respectivement.

Les résultats de la capacité antioxydante totale montrent que l'extrait hydroéthanol présente une activité antioxydante importante, avec des valeurs de $8,43 \pm 1,73$ mg EAA/g E pour la macération, $12,23 \pm 0,15$ mg EAA/g E d'extrait pour la décoction, $7,69 \pm 0,69$ mg EAA/g E pour l'extraction par ultrasons et $13,29 \pm 2,81$ mg EAA/g E pour l'extraction par micro-ondes. Pour l'infusion donne à valeur $1,44 \pm 0,07$ mg EAA/g E pour l'extrait aqueux.

L'étude **Mahdi et al. (2021)** a montré que la valeur de CAT $238,1 \pm 0,01$ µg EAA / mg DE pour l'extrait hydrométhanol (70 %) préparé par macération (72h).

Conclusion

En conclusion, cette étude confirme que *Salvia officinalis* L. est une plante médicinale d'un grand intérêt dans le domaine de la phytochimie et de la recherche de composés naturels à activité biologique, en raison de sa richesse en métabolites secondaires, notamment les composés phénoliques (les polyphénols et les flavonoïdes) qui jouent un rôle majeur dans l'activité antioxydante et la protection contre le stress oxydatif.

Cette recherche a permis d'évaluer l'effet combiné du type de solvant et de la méthode d'extraction sur le rendement, la composition chimique et l'activité antioxydante des extraits de sauge, en utilisant différentes techniques d'extraction (macération, décoction, ultrasons et micro-ondes) et plusieurs solvants (eau, méthanol, éthanol, hydroéthanol, chloroforme et acétate d'éthyle). Les résultats ont montré des variations importantes entre les extraits, mettant en évidence l'influence déterminante des conditions d'extraction sur la qualité et la quantité des composés obtenus.

Concernant le rendement d'extraction, l'extraction assistée par ultrasons s'est révélée la plus efficace, avec un rendement maximal de 20 % obtenu avec l'extrait hydroéthanolique à 70 %, confirmant l'efficacité de cette technique moderne dans l'amélioration de la libération des composés actifs à partir de la matrice végétale.

En ce qui concerne la composition phytochimique, la décoction a permis d'obtenir la teneur la plus élevée en polyphénols totaux ($253,56 \pm 7.27$ μg EAG/mg), tandis que l'extraction par ultrasons a donné la teneur la plus élevée en flavonoïdes ($172,90 \pm 5.07$ μg EC/mg), ce qui démontre la spécificité de chaque méthode d'extraction selon les familles de composés ciblées.

Pour l'activité antioxydante, le test DPPH a montré la meilleure activité avec l'extraction assistée par micro-ondes utilisant l'extrait méthanolique avec une valeur d'IC₅₀ de 270 $\mu\text{g}/\text{ml}$. De même, la capacité antioxydante totale (CAT) a atteint sa valeur la plus élevée ($13,29 \pm 2,81$ mg AAE/g) avec la même méthode et le même extrait, indiquant une forte capacité antioxydante.

Ainsi, il apparaît qu'il n'existe pas une seule méthode d'extraction optimale pour tous les paramètres étudiés, mais que chaque technique présente des avantages spécifiques selon l'objectif recherché. Le choix du solvant et de la méthode d'extraction constitue donc un facteur déterminant pour optimiser la qualité des extraits végétaux.

Enfin, cette étude met en évidence que *Salvia officinalis* représente une source naturelle prometteuse de composés antioxydants, ouvrant des perspectives intéressantes pour des

applications pharmaceutiques et agroalimentaires, notamment dans la prévention des maladies liées au stress oxydatif. Elle souligne également l'intérêt de poursuivre les recherches afin d'optimiser les techniques d'extraction et d'approfondir l'identification des composés bioactifs responsables de ces activités.

Références

Bibliographique

Abdeli, A. (2017). *Étude phytochimique et évaluation de l'activité biologique de Thymelaea hirsuta* [Master's thesis, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem]. <http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle/123456789/2892>

Afzal, T., Proćków, J., & Łyczko, J. (2025). Bioactive chemical composition and pharmacological insights into *Salvia* species. *Frontiers in Molecular Biosciences*. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2025.1678109>

Alam, M. N., Bristi, N. J., & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on *in vivo* and *in vitro* methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21(2), 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2012.05.002>

Albuquerque, B. R., Heleno, S. A., Ortiz, M., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2021). Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. *Food & Function*, 12(1), 14–29. <https://doi.org/10.1039/D0FO02324H>

Anjali, Garg, D., Pragi, Kumar, V., Dimple, & Monika. (2024). A review of therapeutic properties and uses of *Salvia officinalis*. *Journal of Pharma Insight and Research*, 2(3), 146–154. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11612253>

Bektas, T., Dimitra, D., Atalay, S., Munevver, S., & Moschos, P. (2005). Antimicrobial and antioxidant activities of essential oil and various extracts of *Salvia tomentosa* Miller. *Food Chemistry*, 90, 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.013>

Belhacem, N., Azzi, R., & Djaziri, R. (2022). Phytochemical screening, total phenolic content, and *in vitro* antioxidant activity of *Salvia officinalis*, *Satureja calamintha*, *Mentha*

pulegium, and *Marrubium vulgare*. *Phytothérapie*, 20, 23–28. <https://doi.org/10.3166/phyto-2021-0255>

Beloued, A. (2014). *Plantes médicinales d'Algérie*. Office des Publications Universitaires (OPU).

Ben Akacha, B., Kačániová, M., Generalić Mekinić, I., Kukula-Koch, W., Koch, W., Erdogan Orhan, I., Čmíková, N., Taglieri, I., Venturi, F., Samartin, C., Bouteraa, M. T., Ben Saad, R., Garzoli, S., & Ben Hsouna, A. (2024). Sage (*Salvia officinalis* L.): A botanical marvel with versatile pharmacological properties and sustainable applications in functional foods. *South African Journal of Botany*, 169, 361–382. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.044>

Bendaas, R., Messaadia, L., Bekkar, Y., Bourouga, L., & Messaoudi, A. (2025). Comprehensive *in vitro* and molecular docking analysis of antioxidant and antimicrobial properties of *Salvia officinalis* L. extracts and essential oils. *Journal of Molecular Structure*, 1331, 141621. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2025.141621>

Bhambhani, S., Kondhare, K. R., & Giri, A. P. (2021). Diversity in chemical structures and biological properties of plant alkaloids. *Molecules*, 26, 3374. <https://doi.org/10.3390/molecules26113374>

Bitwell, C., Indra, S. S., Luke, C., & Kakoma, M. K. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*, 19, e01585. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01585>

Bors, W., Michel, C., Stettmaier, K., Lu, Y., & Foo, L. Y. (2003). Pulse radiolysis, electron paramagnetic resonance spectroscopy and theoretical calculations of caffeic acid oligomer radicals. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 1620(1–3), 97–107. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(02\)00512-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(02)00512-3)

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>

Bouzabata, A., Rouabah, I., & Hade, Y. (2026). Polyphenol content, antioxidant and antibacterial activity of *Salvia officinalis* L. leaves from the Ouled Tebben Highlands, Algeria: A preliminary assessment. *Notulae Scientia Biologicae*, 18(1), 12797. <https://doi.org/10.55779/nsb18112797>

Chandimali, N., Bak, S. G., Park, E. H., Lim, H.-J., Won, Y.-S., Kim, E.-K., Park, S.-I., & Lee, S. J. (2025). Free radicals and their impact on health and antioxidant defenses: A review. *Cell Death Discovery*, 11, 19. <https://doi.org/10.1038/s41420-024-02278-8>

Charik, S., & Kadri, Y. (2020). *Cribl microbiologique, étude phytochimique et extraction des huiles essentielles de l'espèce Lavandula officinalis* [Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf de M'sila].

Chavan, S. A., Killedar, S. G., & Mane, A. S. (2025). *Salvia officinalis* L.: A review of its bioactive compounds, pharmacological activities, and potential health benefits. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 7(4).

Chouikh, A., Chenguel, A., & Ben Ali, A. (2025). Comprendre le rôle des radicaux libres, du stress oxydatif et des antioxydants : Une revue exhaustive. *Letters in Applied Nanobioscience*, 14(2), 66. <https://doi.org/10.33263/LIANBS142.006>

Dhanaraj Bhandare, V., & Kardile, D. P. (2025). A review on extraction techniques and phytochemical analysis of medicinal plants. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 9(2), 185–195. <https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd76275.pdf>

Duletić-Laušević, S., Aradski, A. A., Živković, J., Gligorijević, N., Šavikin, K., Radulović, S., Čočić, D., & Marin, P. D. (2019). Evaluation of bioactivities and phenolic composition of extracts of *Salvia officinalis* L. (Lamiaceae) collected in Montenegro. *Botanica Serbica*, 43(1), 47–58.

Favier, A. (2003). Le stress oxydatif : Concept et intérêt expérimental pour la compréhension des mécanismes des maladies et des approches thérapeutiques. *L'Actualité Chimique*, 108–115.

Fulbert, J. C., & Cals, M. J. (1992). Les radicaux libres en biologie clinique. *Pathologie Biologie*, 49, 1.

- Ghorbani, A., & Esmailizadeh, M.** (2017). Pharmacological properties of *Salvia officinalis* and its components. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(4), 433–440. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.12.014>
- Gonçalves, S., Gomes, D., Costa, P., Romano, A., & Rodrigues, M. J.** (2020). Antioxidant and anti-inflammatory activities of cytocompatible *Salvia officinalis* extracts: A comparison between traditional and Soxhlet extraction. *Antioxidants*, 9(11), 1157. <https://doi.org/10.3390/antiox9111157>
- Gülçin, İ.** (2025). Antioxidants: A comprehensive review. *Archives of Toxicology*, 99, 1893–1997. <https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2>
- Haddouchi, F., Chaouche, T. M., & Halla, N.** (2016). Screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d’Algérie. *Phytothérapie*, 14, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10298-016-1086-8>
- Iserin, P., Masson, M., Restellini, J. P., Ybert, E., De Laage de Meux, A., Moulard, F., Zha, E., De la Roque, R., De la Roque, O., Vican, P., Delesalle-Féat, T., Biaujeaud, M., Ringuet, J., Bloth, J., & Botrel, A.** (2001). *Larousse des plantes médicinales: Identification, préparation, soins*. Larousse.
- Jakovljević, M., Jokić, S., Molnar, M., Jašić, M., Babić, J., Jukić, H., & Banjari, I.** (2019). Bioactive profile of various *Salvia officinalis* L. preparations. *Plants*, 8(3), 55. <https://doi.org/10.3390/plants8030055>
- Jalilpour, M., Yeganeh, A., Talebi, A., & Naini, H. S.** (2022). *Salvia officinalis* leaf extracts protect against acute colitis in rats. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 17(4), 350–359. <https://doi.org/10.4103/1735-5362.350236>
- Jomova, K., Raptova, R., Alomar, S. Y., Alwasel, S. H., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M.** (2023). Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: Chronic diseases and aging. *Archives of Toxicology*, 97, 2499–2574. <https://doi.org/10.1007/s00204-023-03562-9>

Kaya, F. E., Aydin, A., & Caglar, K. (2017). Extraction and HPLC analysis of sage (*Salvia officinalis*) plant. *Natural Products Chemistry & Research*, 5(8), 1–3. <https://doi.org/10.4172/2329-6836.1000298>

Mahdi, S., Azzi, R., & Lahfa, F. B. (2021). Antioxidant activity and hemolytic effect of hydro-methanolic extract and its phenolic enriched fractions from leaves and stems of *Salvia officinalis* L. from Algeria. *Journal of Natural Product Research and Applications*, 1(2). <https://doi.org/10.46325/jnpra.v1i02.12>

Maliki, I., El Moussaoui, A., Ramdani, M., & ElBadaoui, K. (2021). *Phytochemical screening and the antioxidant, antibacterial and antifungal activities of aqueous extracts from the leaves of Salvia officinalis planted in Morocco*. *Moroccan Journal of Chemistry*, 9(2), 354–368. <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v9i2.24840>

Martins, N., Barros, L., Santos-Buelga, C., Henriques, M., Silva, S., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). Evaluation of bioactive properties and phenolic compounds in different extracts prepared from *Salvia officinalis* L. *Food Chemistry*, 170, 378–385. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.096>

Martins, R., Barbosa, A., Advinha, B., Sales, H., Pontes, R., & Nunes, J. (2023). Green extraction techniques of bioactive compounds: A state-of-the-art review. *Processes*, 11(8), 2255. <https://doi.org/10.3390/pr11082255>

Mekhaldi, A., Bouznad, A., Djibaoui, R., & Hamoum, H. (2014). Phytochemical study and biological activity of sage (*Salvia officinalis* L.). *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 8, 1231–1235.

Merghem, R. (2009). *Éléments de biochimie végétale*. Babaeddine.

Moussa, H., Dahmoune, F., Mroz, M., Remini, H., Kadri, N., Hamid, S., & Kusznierevicz, B. (2023). Efficient optimization approaches for microwave assisted extraction of high-quality antioxidant compounds from *Salvia officinalis* L.: UHPLC-HRMS differential analysis of phenolic profiles obtained by ultrasound and microwave extraction. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 35, 101194. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101194>

Njewa, J. B., Monjerezi, M., Kabanga, L., Kumwenda, F., & Sumani, J. (2025). A review on extraction, isolation, characterization of bioactive compounds obtained from agri-food waste and their potential for industrial application. *Frontiers in Chemistry*, 13, 1669737. <https://doi.org/10.3389/fchem.2025.1669737>

Phatak, R. S., & Hendre, A. S. (2013). Total antioxidant capacity (TAC) of fresh leaves of *Kalanchoe pinnata*. *J Pharmacogn Phytochem*, 2(5), 32-35.

Quezel, P., & Santa, S. (1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* (Vol. 2). Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

Raal, A., Orav, A., Ilina, T., Kovalyova, A., Koliadzhyn, T., Avidzba, Y., & Koshovyi, O. (2024). Variation in the composition of the essential oils of commercial *Salvia officinalis* L. leaf samples from different countries. *Phyton: International Journal of Experimental Botany*, 93(8), 2051–2062. <https://doi.org/10.32604/phyton.2024.052790>

Teofilović, B., Gligorić, E., Ninić, M., Vukmirović, S., Gagić, Ž., Mandić-Kovačević, N., Tubić, B., Đukanović, Đ., & Grujić-Letić, N. (2025). Green extraction combined with chemometric approach: Profiling phytochemicals and antioxidant properties of ten species of the Lamiaceae family. *Separations*, 12(6), 155. <https://doi.org/10.3390/separations12060155>

Tumilaar, S. G., Hardianto, A., Dohi, H., & Kurnia, D. (2024). A comprehensive review of free radicals, oxidative stress, and antioxidants: Overview, clinical applications, global perspectives, future directions, and mechanisms of antioxidant activity of flavonoid compounds. *Journal of Chemistry*, 2024, Article 3594386, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2024/3594386>

Tziakas, S., Tomou, E.-M., Fraskou, P., Goula, K., Dimakopoulou, K., & Skaltsa, H. (2025). Characterization of essential oils from seven *Salvia* taxa from Greece with chemometric analysis. *Agronomy*, 15(1), 227. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010227>

Vermeris, W., & Nicholson, R. (2006). Phenolic compounds and their effects on human health. In *Phenolic compound biochemistry*, 235-255. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5164-77>

Vieira, S. F., Ferreira, H., & Neves, N. M. (2020). Antioxidant and anti-inflammatory activities of cytocompatible *Salvia officinalis* extracts: A comparison between traditional and Soxhlet extraction. *Antioxidants*, 9(11), 1157. <https://doi.org/10.3390/antiox9111157>

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.

Yashaswini, S., Fagan, J., & Schaefer, J. (2019). Ethnobotany, phytochemistry, cultivation and medicinal properties of garden sage (*Salvia officinalis* L.). *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 8, 3139–3148.

Zeković, Z., Pintać, D., Majkić, T., Vidović, S., Mimica-Dukić, N., Teslić, N., Versari, A., & Pavlić, B. (2017). Utilization of sage by-products as raw material for antioxidants recovery—Ultrasound versus microwave-assisted extraction. *Industrial Crops and Products*, 99, 49–59. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.01.038>

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* [Doctoral dissertation, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem] <http://e-biblio.unimosta.dz/bitstream/handle/123456789/525/Th%C3%A8se.pdf>

Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)