République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 20 Août 1955
Skikda
Faculté des Sciences
Département des Sciences
de la Nature et de la Vie

Skikda le 01/01/2026

-Autorisation de dépôt du mémoire de Master-

Je soussigné Dr Leila Ailane

Grade : .....

Encadrant(e) du travail de Master intitulé :

« Contribution à l'étude de la composition phytochimique et de l'activité cicatrisante de la menthe à feuilles rondes "Mentha suaveolens" »

Présenté et soutenu publiquement par les étudiants :

1- BELKAHLA CHAIMA
2- BOUCHEMA HABIL
3- KHETTABI RAFA OUMAIMA
4- /

Spécialité : Biochimie appliquée

Certifie par la présente que les étudiants ont pris en considération l'ensemble des remarques, modifications et corrections formulées par les membres du jury lors de la soutenance qui s'est déroulée le 22/06/2026

En conséquence, le manuscrit final étant désormais conforme aux exigences scientifiques et académiques requises, j'autorise les étudiants suscités à procéder au dépôt officiel du mémoire auprès de la bibliothèque.

Dr. Ailane

Emargement de l'encadrant

الجمهوريـــة الجزائريـــة الديمقراطيـــة الشعبيـــة
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليـــم العالـــي والبحـــث العلمـــي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعـــة 20 أوت 1955 - سكيكدة
UNIVERSITE 20 AOUT 1955 - SKIKDA

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

MÉMOIRE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Filière: Sciences Biologiques

Spécialité: Biochimie Appliquée

THÈME

Contribution à l'étude de la composition phytochimique et de l'activité cicatrisante de la menthe à feuilles rondes "*Mentha suaveolens*"

Présenté Par:

BELKAHLA Chaima
BOUCHEMA Hadil
KHETTABI Rafa Oumaima

Membre de Jury

Dr. DJERROU Z.	Prof	Président	Université 20 Août 1955 – Skikda
Dr. AILANE L.	MCB	Promotrice	Université 20 Août 1955 – Skikda
Dr. BEKHAKHECHE M.	MCB	Examinatrice	Université 20 Août 1955 – Skikda

Année Universitaire: 2025 - 2026

Remerciements

Avant tout, nous remercions ***Allah le Tout-Puissant*** de nous avoir donné la force, la santé et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **notre encadrante**, « **Madame le Docteur AILANE Leila »**, pour avoir accepté de diriger ce mémoire. Nous la remercions pour sa disponibilité, ses conseils précieux et son soutien constant. Ses orientations éclairées nous ont permis d'avancer avec confiance tout au long de ce projet.

Nous adressons également nos vifs remerciements à **Monsieur le président du jury** « **Pr. DJERROU Zouhir** » et à **Madame l'examinatrice** « **Dr. BEKHAKHECHE Manel** » qui nous font l'honneur d'évaluer notre travail. Leurs remarques et leurs critiques constructives seront pour nous d'une grande valeur.

Nos remerciements vont aussi au personnel du laboratoire de contrôle de qualité de la Wilaya de Skikda et le laboratoire d'anatomopathologie de l'hôpital de Skikda pour leur accueil et leur soutien technique. Nous tenons à remercier tout particulièrement « **Madame Hayat »** et « **Madame Samira »** pour leur aide précieuse et le temps qu'elles nous ont consacré.

Par ailleurs, nous exprimons notre gratitude envers les laboratoires de la Faculté des sciences et de la Faculté de médecine de l'Université d'Annaba pour leur précieux soutien technique.

Enfin, nous remercions chaleureusement tous nos amis, nos proches et toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce projet de fin d'études.

Dédicaces

Je dédie ce travail à:

Mes chers parents,

Merci de m'avoir transmis l'amour du savoir et de m'avoir donné tous les moyens de réussir. Si je suis devenue cette jeune femme passionnée et persévérante, c'est grâce à vous. Ce diplôme est le fruit de vos sacrifices, de votre soutien moral et de vos encouragements quotidiens. Je suis tellement fière d'être votre fille.

À ma grand-mère, mes sœurs et mes frères,

Pour votre présence et votre affection.

À mes amies de toujours, Rania, Hadjer et Amani, ainsi qu'à mes camarades Hadil et Oumaima,

Merci pour votre aide, votre écoute et votre soutien, même dans l'ombre. Je vous en suis profondément reconnaissante.

Chaima

Je dédie ce travail à:

Mes chers parents,

Mes chers **parents**, mon modèle de de gentillesse, de droiture et de persévérance. Merci pour vos sacrifices, votre amour infini et votre soutien durant toutes ces années d'études. Ce succès est aussi le vôtre.

Ma chère sœur Raounek,

Qui m'a encouragée à chaque étape de mon parcours.

Mes sœurs Raounak et Rania ainsi que mes frères Chouaib, Ishak, Haroun et Rafik,

Recevez toute mon affection et ma tendresse.

Ma grand-mère Lahoual Masaouda et à mon grand-père Bouchema Salah,

Que je porte dans mon cœur.

Mon amie et sœur Rayane Khalkhal,

Pour ses encouragements constants et sa présence à mes côtés.

Toute ma grande famille,

Sans exception.

Mes camarades Chaima et Oumaima,

Avec qui j'ai partagé les efforts et les joies de ce projet de fin d'études. Merci pour cette belle collaboration.

Hadil

Je dédie ce travail à:

Mes chers parents,

La source de ma force et de ma persévérance. Chaque étape que j'ai franchie, je vous la dois. Ce mémoire est le fruit de vos sacrifices, de votre patience et de vos prières quotidiennes. Merci d'avoir toujours cru en moi.

Mes frères Badro et Hatem, à ma sœur Raghda et à ma belle-sœur Ikram,

Vous êtes mes piliers. Merci pour votre affection et pour votre soutien, tant moral que matériel, qui m'a été indispensable.

Mes amis fidèles: Rahma, Rania, Rayan, Ghada et Abir,

Merci d'être mes compagnons de route et d'avoir transformé les moments difficiles en de précieux souvenirs. Merci pour votre présence constante.

Mes camarades Chaima et Hadil,

Avec qui j'ai partagé la réalisation de ce projet. Merci pour votre collaboration et votre sérieux. Je vous souhaite énormément de succès dans vos vies futures.

Oumaima

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
ABTS	2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique acid)
AJR	Apports Journaliers Recommandés
ANOVA	Analysis of Variance (Analyse de variance)
ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
Ca^{2+}	Ion calcium
CYP450	Cytochrome P450
DHPL	Acide 3,4-dihydroxyphényllactique
DIN	Deutsches Institut für Normung (norme allemande)
DMAPP	Diméthylallyl pyrophosphate
DPPH	2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl
EAG	Équivalent Acide Gallique
EDTA	Acide éthylène-diamine-tétra-acétique
Fe^{3+}	Fer ferrique
$FeCl_3$	Chlorure ferrique
FPP	Farnésyl pyrophosphate
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier)
GC-MS	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse
HCl	Acide chlorhydrique
HE (histologie)	Hématoxyline-Éosine
HE (phytochimie)	Huile Essentielle
HLA	Human Leukocyte Antigen
HPLC	High Performance Liquid Chromatography (Chromatographie liquide haute performance)
HPLC-DAD	HPLC avec détecteur à barrette de diodes
H_2SO_4	Acide sulfurique
IgE	Immunoglobulines E
IL-6	Interleukine-6
IPP	Isopentényl pyrophosphate

Abréviation	Signification
ISO	International Organization for Standardization
J0 / J2 / J20	Jour 0 / Jour 2 / Jour 20
KOH	Hydroxyde de potassium
LC-MS/MS	Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem
M	Température maximale du mois le plus chaud (formule d'Emberger)
m	Température minimale du mois le plus froid (formule d'Emberger)
Mg^{2+}	Ion magnésium
M.S.	Matière Sèche
NaCl	Chlorure de sodium
Na_2CO_3	Carbonate de sodium
NaOH	Hydroxyde de sodium
NF	Norme Française
NF-κB	Nuclear Factor kappa B
NFS	Numération Formule Sanguine
NH_4OH	Hydroxyde d'ammonium
P	Pluviosité annuelle (formule d'Emberger)
PI3K/Akt	Phosphoinositide 3-kinase / Protéine kinase B
PM	Poids Moléculaire
Q2	Quotient pluviothermique d'Emberger
Rdt	Rendement
S^{2-}	Ion sulfure / Soufre
SCI	Syndrome du Côlon Irritable
SEM	Standard Error of the Mean (Erreur Standard de la Moyenne)
SOD	Superoxyde dismutase
Tcb	Taux de cendres brutes
TGF-β	Transforming Growth Factor beta
TNF-α	Tumor Necrosis Factor alpha
UV	Ultraviolet
UV-B	Ultraviolet B

TABLE DES MATIERES

Remerciements 3
Dédicaces 4
Introduction générale 2
Chapitre I - Aperçu bibliographique sur *Mentha suaveolens* 1
I.1. Introduction et contexte historique 1
I.1.1. Analyse historique et évolution taxonomique 1
I.1.2. Distribution géographique et Habitat 2
I.2. Systématique et nomenclature 2
I.2.1. Classification botanique 2
I.2.1. Diversité des appellations vernaculaires 2
I.3. Description morphologique 3
1.3.1. Appareil reproducteur (inflorescence) 3
1.3.2. Morphologie foliaire 3
1.3.3. Structure de la Tige 4
1.3.4. Système Racinaire 5
I.4. Analyse des composés phytochimiques 5
I.4.1. Fraction Volatile (L'Huile Essentielle) 5
I.4.2. Constituants non-volatils des extraits 6
I.5. Propriétés Pharmacologiques et usages traditionnels 7
I.5.1. Activités Thérapeutiques Majeures 7
I.5.2. Activités Thérapeutiques Majeures 7
Chapitre II – Les métabolites secondaires 8
II.1. Définition et concept général 8
II.2. Fonctions écologiques et applicatives 8
II.2.1. Fonctions écologiques 8
II.2.2. Fonctions applicatives au domaines médical, alimentaire et cosmétique 9
II.3. Classification des métabolites secondaires végétaux 10
II.3.1. Les composés phénoliques (Polyphénols) 10
II.3.2. Les alcaloïdes 12
II.3.3. Les terpénoïdes 13
I. Matériel et méthodes 15
I.1. Caractérisation de la zone de récolte 15
I.1.1. Matériel végétal et site récolte 15
I.1.2. Climat de la ville de Skikda 16
I.2. Etude de la composition phytochimique de *M. suaveolens* 16

I.2.1. Criblage phytochimique 16
I.2.2. Dosage des polyphénols totaux 21
I.3. Évaluation de l'activité cicatrisante de l'huile essentielle de *M. suaveolens* sur un modèle de brûlure thermique induite chez le rat Wistar 23
1.3.1. Animaux d'expérience 23
1.3.2. Organisation des groupes expérimentaux 24
1.3.3. Traitements utilisés 24
1.3.4. Induction des brûlures 25
1.3.5. Sacrifice des animaux et prélèvement des échantillons biologiques 26
1.3.6. Étude statistique 28
II. Résultats et discussion 29
II.1. Climat de la ville de Skikda 29
II.2. Etude de la composition phytochimique de *M. suaveolens* 31
I1.2.1. Criblage phytochimique 31
II.2.2. Dosage des polyphénols totaux 35
II. 3. Évaluation de l'activité cicatrisante de l'huile essentielle de *M. suaveolens* sur un modèle de brûlure thermique induite chez le rat Wistar ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.3.1. Évaluation macroscopique de la cicatrisation ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.3.2. Évaluation des dosages sanguins ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.3.2. Évaluation anatomopathologique ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Conclusion 38
Perspectives 39
Bibliographie 41

Liste des figures

Figure 1. Aspect des fleurs de M. suaveolens organisées en épis (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go).....4
Figure 2. Détail d'une feuille de M. suaveolens montrant l'aspect gaufré (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go). 4
Figure 3. Section et aspect de la tige de M. suaveolens (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go).....5
Figure 4. Système racinaire de M. suaveolens (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go). 5
Figure 5. Schéma des principaux groupes de polyphénols végétaux (image originale). 10
Figure 6. Classes d'alcaloïdes (image originale).....12
Figure 7. Zone de récolte de M. suaveolens (Google maps Juin 2026).....15
Figure 8. Étapes de préparation de l'infusé (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go). 17
Figure 9. Préparation du NaOH à 30% (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go). 17
Figure 10. Préparation du décocté de M. suaveolens (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).....19
Figure 11. Etapes de préparation de la réaction (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).....20
Figure 13. Processus d'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation (photos originales prises par l'appareil Smasung Galaxy S20FE). 22
Figure 14. Quelques étapes de réalisation du dosage des polyphénols totaux (photos originales prises par l'appareil Smasung Galaxy S20FE). 23
Figure 15. Rats Wistar utilisés dans l'expérimentation de cette étude (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go).....24
Figure 16. Alimentation fournie aux rats (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go). 24
Figure 17. Préparation et application de l'onguent de M. suaveolens (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).....25
Figure 18. Anesthésie et préparation cutanée des rats (photo originale prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).....25

Figure 19. Administration de la lidocaïne par injection sous-cutanée (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go).....26
Figure 20. Induction des brûlures (photos originales prises par l'appareil Samsung Galaxy S20FE). 26
Figure 21. Prélèvement sanguin par ponction cardiaque chez les rats (photo originale prise par l'appareil Samsung Galaxy S20FE).....27
Figure 22. Préparation des tubes pour les analyses du sang prévues (photo originale prise par l'appareil Samsung Galaxy S20FE).....27
Figure 23. Quelques étapes de préparation des coupes histologiques (photos originale prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).....28
Figure 24. Diagramme ombrothermique de la wilaya de Skikda de l'année 2025.....29
Figure 25. Quelques résultats des tests de criblage phytochimique.....31
Figure 27. Évolution de la surface de la zone brûlée aux jours J2 et J20 chez les rats des différents groupes expérimentaux.....**Erreur ! Signet non défini.**
Figure 28. Variation des taux sanguins des globules blancs chez les rats des quatre groupes expérimentaux.....**Erreur ! Signet non défini.**
Figure 29. Observation microscopique des coupes histologiques des couches de la peau des Groupes I et III (x10). .....**Erreur ! Signet non défini.**

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification botanique de M. suaveolens (El-Kashoury et al., 2013). 3
Tableau 2. Diversité des appellations vernaculaires de M. suaveolens (Beloued, 1998; Hassani, 2020; Ahmadi et al., 2023; Magdy et al., 2025b). 3
Tableau 3. Principaux constituants de l'huile essentielle de M. suaveolens selon les données bibliographiques (Afrokh et al., 2024; Ainane et al., 2018; Dar et al., 2025b, 2025a; Magdy et al., 2025b; Singh & Pandey, 2018a; Tadić et al., 2023; Zekri et al., 2023).....6
Tableau 4. Profil phytochimique des extraits non-volatils de M. suaveolens selon les données bibliographiques (Ćavar Zeljković et al., 2021b; Tavaszi-Sárosi et al., 2026).....6
Tableau 5. Classification des terpènes selon le nombre d'unités isoprène (Croteau et al., 2000; Tetali, 2019; Bergman et al., 2024; Câmara et al., 2024). 13
Tableau 6. Échelle qualitative d'évaluation de la richesse en métabolites secondaires des extraits végétaux. 17
Tableau 8. Paramètres climatiques de la wilaya de Skikda utilisés pour le calcul du quotient pluviothermique d'Emberger (Q2) — Année 2025.....30
Tableau 9. Résultats du criblage phytochimique. 32

Résumé

Ce travail porte sur l'étude de la composition phytochimique et de l'activité cicatrisante de *Mentha suaveolens*, récoltée à El-Harouche, wilaya de Skikda (nord-est Algérie). Sur le plan bioclimatique, la région se positionne dans l'étage subhumide à hiver doux, avec un quotient pluviothermique d'Emberger de 1101.1 et une pluviométrie annuelle de 860.6 mm, conditions favorables à l'accumulation des métabolites secondaires.

Le criblage phytochimique qualitatif révèle un profil riche: polyphénols en quantité importante (+++), flavonoïdes de type flavone (++), coumarines (++), mucilages (++) et composés réducteurs (++), avec des traces de caroténoïdes et d'iridoïdes. Le rendement en huile essentielle par hydrodistillation atteint 1,26 ± 0,25 % M.S., et la teneur en polyphénols totaux s'établit à 7,18 mg EAG/g HE.

L'activité cicatrisante est évaluée sur un modèle de brûlure thermique du second degré chez le rat Wistar, réparti en quatre groupes : témoin négatif (sérum physiologique), témoin positif (sulfadiazine d'argent 1 %), excipient seul (graisse de chameau) et groupe traité (HE de *Mentha suaveolens* 1,5 % dans la graisse de chameau). À J21, la surface résiduelle du groupe traité est quasi nulle, contre ≈ 18 mm² pour la sulfadiazine. La leucocytose la plus basse et un taux d'IgE inférieur à 1 UI/mL confirment la résolution inflammatoire et l'absence de sensibilisation allergique. Histologiquement, l'épiderme est pleinement différencié, la kératinisation accomplie et le derme bien collagénisé.

Ces résultats valident le potentiel thérapeutique de *Mentha suaveolens* dans la cicatrisation des brûlures et soutiennent son intégration dans des formulations dermatologiques naturelles.

Mots-clés: *Mentha suaveolens*; phytochimie; huile essentielle; polyphénols; cicatrisation; Skikda.

Abstract

This work This study investigates the phytochemical characterization and burn wound-healing potential of *Mentha suaveolens*, harvested in El-Harouche, Skikda Province (north-eastern Algeria). Bioclimatic analysis places the collection site within the sub-humid stage with mild winters, an Emberger pluviometric quotient of 1101.1, and annual rainfall of 860.6 mm — conditions that promote secondary metabolite accumulation in aromatic plants.

Qualitative phytochemical screening disclosed a diverse metabolite profile: abundant polyphenols (+++), flavone-type flavonoids (++), coumarins (++), mucilages (++), and reducing compounds (++), with traces of carotenoids and iridoids. Hydrodistillation yielded 1.26 ± 0.25% D.W. of essential oil, with a total polyphenol content of 7.18 mg GAE/g EO.

Burn wound-healing activity was evaluated on a second-degree thermal burn model in Wistar rats divided into four groups: negative control (saline), positive control (silver sulfadiazine 1%), vehicle alone (camel fat), and treated group (*Mentha suaveolens* essential oil 1.5% in camel fat). At day 21, residual wound area in the treated group was near zero, versus ≈ 18 mm² for silver sulfadiazine. The lowest leukocyte count and serum IgE below 1 IU/mL across all groups confirmed complete inflammatory resolution and the absence of type-I allergic sensitization. Histology showed a fully differentiated epidermis with complete keratinization and dense, well-oriented dermal collagen bundles.

Taken together, these findings establish the significant therapeutic value of *Mentha suaveolens* in burn care and support its use in plant-based dermatological formulations.

Keywords: *Mentha suaveolens*; phytochemistry; essential oil; polyphenols; burn wound healing; Skikda.

الملخص

يتناول هذا العمل دراسة التركيب الكيميائي النباتي وتقييم ا الفعالية الالتئامية لجروح الحروق لنبات النعناع الصوفي *Mentha suaveolens*، الذي جُمع من منطقة الحروش بولاية سكيكدة (شمال شرق الجزائر). من الناحية البيوميناخية، تنتمي المنطقة إلى الطابق شبه الرطب بشتاء معتدل، بمؤشر أمبرجيه يبلغ 1101.1 وتساقطات سنوية تتجاوز 860.6 ملم، وهي ظروف مواتية لتراكم المستقلبات الثانوية في النباتات العطرية.

كشف الفحص الكيميائي النوعي عن تنوع واسع في المستقلبات: بوليفينولات بكميات وافرة (+++)، وفلافونويدات من نوع الفلافون (++)، وكومارينات (++)، وميوسيلاجات (++)، ومركبات مختزِلة (++)، إلى جانب آثار من الكاروتينويدات والإيريدويدات. بلغ مردود الزيت الأساسي المستخرج بالتقطير المائي 1,26 ± 0,25% م.ج.، فيما قُدِّرت البوليفينولات الكلية بـ 7,18 ملغ م.ح.غ/غ من الزيت.

قُيِّم النشاط إلتئام جروح الحروق على نموذج حروق حرارية من الدرجة الثانية لدى جرذان ويستار، مقسَّمة إلى أربع مجموعات: شاهد سلبي (محلول ملحي)، وشاهد إيجابي (سلفاديازين الفضة 1%)، ومجموعة الحامل وحده (دهن الجمل)، ومجموعة معالجة (زيت أساسي 1,5% في دهن الجمل). في اليوم الحادي والعشرين، كانت مساحة الجرح المتبقية في المجموعة المعالجة شبه معدومة مقابل ≈ 18 مم² في مجموعة سلفاديازين الفضة. سجّلت هذه المجموعة أدنى عدد لكريات الدم البيضاء، ولم تتجاوز مستويات IgE في جميع المجموعات 1 وحدة/مل، مما يُثبت تراجع الالتهاب وانعدام التحسس المناعي. وأظهر الفحص النسيجي بشرةً متمايزة تمامًا مع تقرّن مكتمل وحزم كولاجينية منظمة في الأدمة.

تُؤكد هذه النتائج القيمة العلاجية الكبيرة لنبات النعناع الصوفي في معالجة الحروق، وتُرسّخ أُسس إدراجه في تركيبات جلدية نباتية متخصصة.

الكلمات المفتاحية: *Mentha suaveolens*، الكيمياء النباتية، الزيت الأساسي، البوليفينولات، إلتئام جروح الحروق، سكيكدة.

Introduction générale

Introduction générale

L’utilisation des plantes médicinales remonte à l’Antiquité. Depuis toujours, l'Homme a su exploiter la richesse de la nature pour se soigner (**Aldogman et al., 2022**). Aujourd'hui, ces plantes ne sont plus seulement des remèdes traditionnels, mais constituent une source précieuse de molécules actives pour la pharmacologie moderne. Parmi cette flore thérapeutique, la famille des Lamiacées, et plus particulièrement le genre *Mentha*, occupe une place centrale grâce à ses nombreuses espèces aromatiques et ses propriétés biologiques variées.

En Algérie, *Mentha suaveolens* (*M. suaveolens*), communément appelée « menthe à feuilles rondes » ou localement « A-Doumrane », « Timarssat » et « Megneessif », est une plante emblématique (**Afrokh et al., 2024**). Originaire du bassin méditerranéen, elle est capable de s’adapter à différents climats, poussant aussi bien dans les plaines que dans les montagnes (**Afrokh et al., 2023**).

L'importance de cette plante en Algérie dépasse le simple cadre botanique. Traditionnellement, dans des régions comme Skikda, elle est un pilier de la pharmacopée familiale. Elle est utilisée en infusion ou en application locale pour calmer les douleurs digestives, les cycles menstruels difficiles, ainsi que pour traiter les affections de la peau et les hémorroïdes (**Jamila et al., 2020**). Dans la vision moderne, *Mentha suaveolens* suscite un intérêt croissant dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique algérienne. Elle est perçue comme une alternative naturelle aux produits chimiques, notamment pour ses vertus apaisantes et protectrices.

Cette richesse thérapeutique s'explique par son profil phytochimique complexe. La plante est riche en huiles essentielles (notamment en oxyde de pipériténone et en pulégone) ainsi qu'en métabolites secondaires puissants comme les polyphénols (acides phénoliques, flavonoïdes et tanins) (Jain et al., 2025). Ces composés offrent à la plante des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et cicatrisantes majeures (**Omer et al., 2022**).

C’est dans cette optique de valorisation des ressources naturelles nationales que s’inscrit notre projet de fin d’études. Notre travail vise à confirmer scientifiquement les usages traditionnels de la *M. suaveolens* récoltée dans la région de Skikda à travers trois objectifs principaux :

1. **L'analyse phytochimique**: Réaliser un criblage phytochimique qualitatif du pulvérisât

de la plante afin d'en identifier les principaux métabolites secondaires et de déterminer la contenance de l'huile essentielles de *M. suaveolens* en polyphénols totaux.

2. **L'évaluation de l'effet cicatrisant**: Elle vise à déterminer dans quelle mesure l'huile essentielle extraite de *M. suaveolens* est capable d'accélérer la guérison des brûlures du second degré. Pour ce faire, une expérimentation *in vivo* a été conduite sur des rats de la souche Wistar, modèle animal de référence en dermatologie expérimentale. Le suivi de la cicatrisation a reposé sur une approche multiparamétrique combinant la mesure de la surface des plaies, le dosage des leucocytes et des immunoglobulines E (IgE) sériques afin de rendre compte de la réponse inflammatoire et immunitaire induite par la brûlure, ainsi que l'analyse histopathologique de coupes cutanées colorées à l'hématoxyline-éosine, permettant d'apprécier à l'échelle tissulaire les différentes phases de la réparation cutanée.

Première partie

Recension des écrits

Chapitre I

Aperçu bibliographique sur *Mentha suaveolens*



Chapitre I - Aperçu bibliographique sur *Mentha suaveolens*

Ce chapitre propose état des lieux bibliographique sur *M. suaveolens*, retraçant son parcours taxonomique complexe et son écologie spécifique. Il expose les caractéristiques botaniques de la plante tout en explorant la diversité de sa composition phytochimique, tant volatile que phénolique. Enfin, une analyse détaillée de ses propriétés pharmacologiques illustre son importance thérapeutique et la richesse de ses applications médicinales traditionnelles.

I.1. Introduction et contexte historique

I.1.1. Analyse historique et évolution taxonomique

La nomenclature de la menthe à feuilles rondes a fait l'objet de nombreux débats au fil des siècles.

- ***Période Linnéenne (1753-1762):*** Carl von Linné l'identifie d'abord sous la dénomination *Mentha spicata var. rotundifolia*, avant de l'élever au rang d'espèce (*Mentha rotundifolia*). Cependant, des révisions ultérieures ont démontré que le spécimen de référence était en réalité un hybride (*Mentha longifolia* × *Mentha suaveolens*), invalidant cette appellation pour l'espèce pure (**Salehi et al., 2018**; **Heylen et al., 2021**).
- ***Description de Ehrhart (1792):*** Le naturaliste Jakob Friedrich Ehrhart fournit la première description scientifique valide sous le nom de *Mentha suaveolens* dans ses écrits « Beiträge zur Naturkunde ». Ce nom, évoquant son parfum « suave », est devenu la référence officielle (**Yang et al., 2024**; **Magdy et al., 2025**).
- ***Confusion des XIXe et XXe siècles:*** Une instabilité persiste, particulièrement chez les botanistes francophones (comme l'Abbé Coste), qui emploient fréquemment le terme *M. rotundifolia* de manière erronée (**Singh & Pandey, 2018**; **Salehi et al., 2018**; **Heylen et al., 2021**; **Saqib et al., 2022**).
- ***Époque Contemporaine:*** Grâce aux avancées de la biosystématique, la distinction est désormais claire : *Mentha suaveolens* désigne l'espèce mère, tandis que *Mentha* × *rotundifolia* identifie l'hybride stérile (**Salehi et al., 2018**; **Ayaz et al., 2020**; **Heylen et al., 2021**; **Yang et al., 2024**; **Magdy et al., 2025**). Aujourd'hui, cette plante est prisée mondialement pour ses vertus horticoles, culinaires (notamment la menthe pomme ou menthe ananas) et thérapeutiques **(Anwar et al., 2019; Tafrihi et al., 2021; Ćavar**

Zeljković et al., 2021; Aldogman et al., 2022; Bouymajane et al., 2022; Tang et al., 2024; Magdy et al., 2025).

I.1.2. Distribution géographique et Habitat

L'aire naturelle de M. suaveolens s'étend du bassin méditerranéen et de l'Afrique du Nord jusqu'aux zones tempérées d'Europe occidentale et méridionale. Son caractère cosmopolite lui permet de s'établir dans des habitats variés, avec une prédilection marquée pour les milieux hygrophiles : rives de cours d'eau, prairies nitrophiles périodiquement inondées et zones à nappe phréatique haute (**Llorens-Molina et al., 2017**; **Magdy et al., 2025b**). Au Maroc, elle est traditionnellement nommée «Merssita» ou «Timijja», tandis qu'en Algérie, le terme «timarssat» prédomine, ce qui reflète sa forte intégration dans les pharmacopées et usages populaires nord-africains (**El Hassani, 2020**; **El Hachlafi et al., 2023**). Sur le plan écologique, il s'agit d'une espèce herbacée vivace héliophile qui affectionne les zones humides, colonisant les rives des cours d'eau, les prairies nitrophiles périodiquement inondées et les milieux à nappe phréatique élevée, dans des bioclimats méditerranéens allant du thermo- au supraméditerranéen (**Llorens-Molina et al., 2017**; **Magdy et al., 2025b**). Elle est également signalée dans des conditions subhumides à semi-arides, notamment dans les régions du Moyen et du Haut Atlas ainsi que dans le nord-ouest marocain, où elle est spontanée dans les habitats humides au sein d'agroécosystèmes traditionnels **(El Hassani, 2020; Bouymajane et al., 2022; El Hachlafi et al., 2023**; **Puig et al., 2023**).

I.2. Systématique et nomenclature

I.2.1. Classification botanique

La position systématique de *M. suaveolens* au sein du règne végétal est définie dans le **Tableau 1**, en accord avec les classifications actuelles de la famille des Lamiaceae et du genre *Mentha* (**Anwar et al., 2019**; **Vining et al., 2020**; **Ćavar Zeljković et al., 2021**).

I.2.1. Diversité des appellations vernaculaires

La plante est identifiée par une multitude de noms selon les régions et les langues, soulignant son importance culturelle (**Tableau 2**). Les dénominations «pineapple mint», «apple mint», «round leaf mint», ainsi que «Merssita / Timijja» au Maroc, sont régulièrement mentionnées dans la littérature récente (**Aldogman et al., 2022**; **El Hachlafi et al., 2023**; **Afrokh et al., 2023, 2024**; **Magdy et al., 2025b**).

Tableau 1. Classification botanique de *M. suaveolens* (**El-Kashoury et al., 2013**).

Règne:	*Plantae*	**Ordre:**	*Lamiales*
Division:	*Spermatophyta (Plantes à graines)*	**Famille:**	*Lamiaceae (anciennement Labiées)*
Sous-division:	*Angiospermae (Plantes à fleurs)*	**Genre:**	*Mentha*
Classe:	*Magnoliopsida (Dicotylédones)*	**Espèce:**	*suaveolens Ehrh*

Tableau 2. Diversité des appellations vernaculaires de *M.* suaveolens (**Beloued, 1998; Hassani, 2020; Ahmadi et al., 2023; Magdy et al., 2025b**).

Langue / Région	Appellation
Arabe	النعناع ذو الأوراق المستديرة، النعناع الصوفي
Algérien	• **Local:** Megneessif, Timarssat • **Berbère:** Timjad
Anglais	Pineapple Mint, Apple Mint
Français	Menthe à feuilles rondes, Menthe odorante, Menthe pomme
Espagnol / Italien	Menta de manzana, Menta a foglie rotonde

I.3. Description morphologique

M. suaveolens se distingue par son port herbacé et sa nature vivace. Elle dégage un arôme puissant et singulier, souvent comparé à la pomme, ce qui la différencie des autres menthes (**Aldogman et al., 2022**; **Afrokh et al., 2023**; **El Hachlafi et al., 2023**).

1.3.1. Appareil reproducteur (inflorescence)

La floraison se manifeste généralement entre juillet et septembre. Les fleurs (**Figure 1**) sont de petite dimension et se structurent en épis terminaux, fins et allongés. Leur coloration varie du blanc pur au rosé très pâle (**Ayaz et al., 2020**; **Afrokh et al., 2023**).

1.3.2. Morphologie foliaire

Les feuilles *M. suaveolens* (**Figure 2**) constituent l'un des critères d'identification les plus fiables: opposées-décussées, ovales à suborbiculaires, gaufrées et densément pubescentes, caractéristiques largement confirmées par les études de micromorphologie et d'anatomie foliaire (**Ayaz et al., 2020**; **Ćavar Zeljković et al., 2021**; **Afrokh et al., 2023**).



Figure 1. Aspect des fleurs de *M. suaveolens* organisées en épis (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go).



Figure 2. Détail d'une feuille de *M. suaveolens* montrant l'aspect gaufré (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

1.3.3. Structure de la Tige

Comme la majorité des Lamiaceae, la tige (**Figure 3**) présente une section quadrangulaire et atteint généralement 25–80 cm, voire jusqu'à 90–100 cm selon les conditions écologiques (**Vining et al., 2020**; **Ayaz et al., 2020**; **El Hachlafi et al., 2023**).



Figure 3. Section et aspect de la tige de *M. suaveolens* (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

1.3.4. Système Racinaire

Le système racinaire (**Figure 4**) est de type traçant. Il se compose de rhizomes vigoureux et de stolons (superficiels et souterrains) qui assurent une propagation végétative rapide, colonisant le sol sur une profondeur de 5 à 20 cm (**Ayaz et al., 2020**; **Vining et al., 2020**; **El Hachlafi et al., 2023)**.



Figure 4. Système racinaire de *M. suaveolens* (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

I.4. Analyse des composés phytochimiques

Les molécules actives de la plante sont divisées en deux catégories: les fractions volatiles (huiles essentielles) et les extraits non-volatils.

I.4.1. Fraction Volatile (L'Huile Essentielle)

La composition de l'huile essentielle de M. suaveolens varie selon le chémotype et l'origine géographique, mais trois composés dominent de façon quasi constante dans les

populations algériennes et marocaines: l'oxyde de pipériténone (pouvant atteindre 90 % de la fraction volatile), la pulégone et la pipériténone. Des monoterpènes secondaires tels que la carvone et le limonène, ainsi que les sesquiterpènes β-caryophyllène et germacrène D, complètent le profil dans des proportions variables (**Tableau 3**) **(Afrokh et al., 2023; Aldogman et al., 2022a; Bouyahya et al., 2019; Bouymajane et al., 2022b; El Hachlafi et al., 2023; Hudz et al., 2023**).

Tableau 3. Principaux constituants de l'huile essentielle de *M. suaveolens* selon les données bibliographiques *(Afrokh et al., 2024; Ainane et al., 2018; Dar et al., 2025a, 2025b; Magdy et al., 2025b; Singh & Pandey, 2018a; Tadić et al., 2023; Zekri et al., 2023)*.

Classe	Composant	Classe	Composant
Monoterpènes	• Piperitenone oxide • Pulegone • Piperitone • Carvone • Limonene	**Sesquiterpènes**	• Caryophyllene • Germacrene D • β-trans-caryophyllene

I.4.2. Constituants non-volatils des extraits

Les extraits aqueux ou organiques sont riches en polyphénols, dominés par l'acide rosmarinique, divers acides caféoylquiniques, acide chlorogénique, acide caféique et de nombreux flavonoïdes (luteoline et dérivés, salvigénine, chrysoériol, isoquercitrine, rutine) (**Tableau 3**) (Afrokh et al., 2023; Bouymajane et al., 2022b; Ćavar Zeljković et al., 2021a; Chater et al., 2025; Tafrihi et al., 2021).

Tableau 4. Profil phytochimique des extraits non-volatils de *M. suaveolens* selon les données bibliographiques **(Ćavar Zeljković et al., 2021b; Tavaszi-Sárosi et al., 2026**).

Classe	Composant	Classe	Composant
Composés phénoliques	• Rosmarinic acid • Caffeoylquinic acid • Chlorogenic acid • Caffeic acid • Luteolin	**Flavonoïdes**	• Luteolin • Salvigenin • Chrysoeriol • Isoquercitrin • -Rutin

I.5. Propriétés Pharmacologiques et usages traditionnels

La menthe à feuilles rondes est considérée comme une véritable pharmacie naturelle. Son efficacité repose sur la synergie de ses composants.

I.5.1. Activités Thérapeutiques Majeures

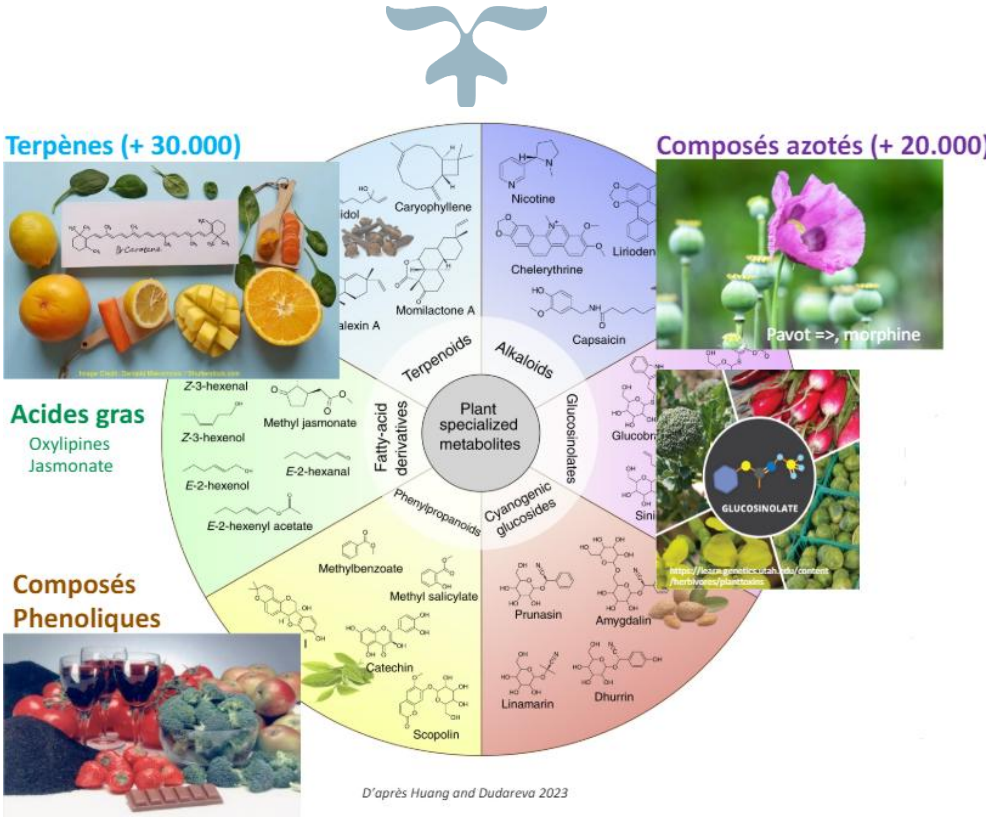
- ***Anti-inflammatoire et Analgésique:*** L'huile essentielle inhibe significativement les médiateurs inflammatoires (comme l'œdème induit par la carragénine). Elle est efficace contre les migraines, les douleurs musculaires et les rhumatismes (**Anwar et al., 2019**; **Bouyahya et al., 2019**; **Aldogman et al., 2022**; **Saqib et al., 2022**; **El Hachlafi et al., 2023**; **Afrokh et al., 2024**).
  (Omer et al., 2022).
- ***Antimicrobienne :*** Elle présente une action bactéricide contre les pathogènes à Gram positif (*S. aureus*) et Gram négatif (*E. coli*). Son activité antifongique (due à l'oxyde de pipériténone) est remarquable contre *Aspergillus* et *Penicillium* **(Bouyahya et al., 2019; Aldogman et al., 2022; Bouymajane et al., 2022b; El Hachlafi et al., 2023**; **Hudz et al., 2023**; **Afrokh et al., 2024**).
- ***Système Digestif:*** Utilisée comme antispasmodique (SCI, ballonnements) et antidiarrhéique par son action sur l'équilibre hydrique intestinal (**Singh & Pandey, 2018b**; **Tafrihi et al., 2021**; **Afrokh et al., 2023**; **El Hachlafi et al., 2023**; **Chater et al., 2025**).

I.5.2. Activités Thérapeutiques Majeures

Dans l'Est algérien et au Maghreb, la plante est employée pour le traitement des hémorroïdes, des douleurs menstruelles et dentaires, pour les soins post-partum, l'antisepsie des plaies, et l'assainissement du matériel laitier traditionnel, ce qui recoupe les enquêtes ethnobotaniques récentes sur *M. suaveolens* et *M. suaveolens* subsp. *timija* (**Bouyahya et al., 2019**; **Bouymajane et al., 2022b**; **Afrokh et al., 2023**; **Chater et al., 2025**).

Chapitre II

Les métabolites secondaires



D'après Huang and Dudareva 2023

Chapitre II – Les métabolites secondaires

Le métabolisme végétal se décline classiquement en deux voies complémentaires. D'un côté, le métabolisme primaire assure les fonctions vitales indispensables — photosynthèse, glycolyse, cycle de Krebs, synthèse des protéines — communes à l'ensemble du règne végétal. De l'autre, le métabolisme secondaire génère une diversité remarquable de molécules dont l'absence ne compromet pas immédiatement la survie de la cellule, mais dont le rôle dans les interactions écologiques et la résistance aux stress est fondamental (**Croteau et al., 2000**). Ce chapitre est consacré à la présentation et à la classification des principaux métabolites secondaires végétaux, avec un accent particulier sur ceux qui caractérisent *M. suaveolens*.

II.1. Définition et concept général

Chez les végétaux, le métabolisme secondaire engendre une gamme étendue de molécules organiques dont la structure et la voie biosynthétique varient considérablement selon l'espèce et les conditions environnementales. Biosynthétisées à partir d'intermédiaires clés tels que l'acétyl-CoA, l'acide shikimique et les dérivés de la voie du mévalonate, ces molécules n'interviennent pas directement dans les grandes fonctions physiologiques de base — croissance, photosynthèse, reproduction — mais jouent un rôle adaptatif déterminant face aux pressions biotiques et abiotiques (**Croteau et al., 2000**).

Contrairement aux métabolites primaires, qui sont universellement distribués dans l'ensemble du règne végétal, les métabolites secondaires présentent souvent une distribution taxon-spécifique, voire tissu-spécifique ou stade de développement-spécifique, reflétant leur rôle de réponse adaptative précise aux pressions sélectives exercées par l'environnement. Leur biosynthèse est régulée par des facteurs endogènes (hormones, statut hydrique, âge physiologique) et exogènes (lumière, température, agents pathogènes, stress hydrique), ce qui explique la variabilité chimiotaxonomique observée au sein d'une même espèce **(Isah, 2019; Qaderi et al., 2023**).

II.2. Fonctions écologiques et applicatives

II.2.1. Fonctions écologiques

Les métabolites secondaires de *M. suaveolens* remplissent de nombreuses fonctions écologiques fondamentales. En premier lieu, ils constituent un système de défense chimique sophistiqué contre les herbivores (insectes, mammifères), les microorganismes pathogènes (bactéries, champignons, virus) et les plantes compétitrices (allélopathie). Les terpènes volatils,

en particulier l'oxyde de pipériténone, exercent un effet répulsif puissant sur de nombreux insectes ravageurs, tandis que les polyphénols renforcent les barrières physico-chimiques des tissus végétaux (**Koliopoulos et al., 2010**; **Mnich et al., 2020**).

En second lieu, les métabolites secondaires contribuent à la protection de la plante contre les stress abiotiques. Les flavonoïdes et les acides phénoliques absorbent les rayonnements ultraviolets (UV-B) nocifs, limitant les dommages oxydatifs induits par le rayonnement solaire intense. L'acide rosmarinique, particulièrement abondant dans les tissus de M. suaveolens, joue un rôle de piégeur de radicaux libres, protégeant les membranes cellulaires contre la peroxydation lipidique lors des épisodes de stress hydrique ou thermique (Rao & Zheng, 2025; A. Sharma et al., 2019).

Enfin, certains métabolites secondaires participent à la communication inter-spécifique (attraction des pollinisateurs par les composés volatils floraux, dispersion des graines par les animaux frugivores) et aux signalisations intra-plante (induction systémique des défenses après une attaque localisée d'herbivores ou de pathogènes) (**Dudareva et al., 2013**).

II.2.2. Fonctions applicatives au domaines médical, alimentaire et cosmétique

Sur le plan médical, les métabolites secondaires de *M. suaveolens* représentent une source précieuse de molécules bioactives aux propriétés thérapeutiques diversifiées. Ils sont utilisés dans le traitement de nombreuses affections : pathologies digestives (diarrhées, spasmes intestinaux, dyspepsie), troubles respiratoires (bronchite, toux), affections cutanées (plaies, infections dermiques) et états algiques légers à modérés. Sur le plan préventif, leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires contribuent potentiellement à réduire les risques de développement des maladies cardiovasculaires, neurodégénératives et de certains cancers, en agissant sur les voies de signalisation cellulaires impliquées dans ces pathologies (**Moreno et al., 2002**).

Dans l'industrie agroalimentaire, les composés volatils et non volatils de *M. suaveolens* trouvent une application comme arômes naturels et conservateurs biologiques. L'activité antioxydante des extraits de M. suaveolens se manifeste notamment par une inhibition significative de la peroxydation lipidique des graisses alimentaires et de la dégradation des pigments, deux phénomènes directement responsables du rancissement et de l'altération organoleptique des produits. Ces propriétés confèrent à la plante un potentiel réel comme conservateur naturel, en sus de la contribution aromatique caractéristique de la menthe. Dans le secteur cosmétique, les extraits de *M. suaveolens* sont utilisés pour leurs effets apaisants sur les peaux sensibles et irritées, leurs propriétés astringentes régulatrices du sébum, et leur action

antioxydante retardant le vieillissement cutané photo-induit **(Aldogman et al., 2022a**).

II.3. Classification des métabolites secondaires végétaux

Les métabolites secondaires végétaux sont classifiés sur la base de critères structuraux, biochimiques et biosynthétiques. Les trois grandes familles reconnues sont les polyphénols, les alcaloïdes et les terpénoïdes. Chacune de ces familles regroupe des sous-classes aux propriétés biologiques spécifiques et aux voies biosynthétiques distinctes.

II.3.1. Les composés phénoliques (Polyphénols)

Les composés phénoliques (**Figure 5**), communément désignés polyphénols, constituent la famille de métabolites secondaires la plus abondante et la plus diversifiée du règne végétal. Les composés phénoliques se définissent par la présence d'au moins un noyau aromatique substitué par un ou plusieurs groupements hydroxyle directement liés au cycle. Leur gamme de masse molaire est particulièrement étendue, couvrant les simples acides phénoliques de faible poids moléculaire jusqu'aux polymères condensés comme les proanthocyanidines. Chez *M. suaveolens*, cette classe est particulièrement bien représentée, avec l'acide rosmarinique comme composé majoritaire et une richesse documentée en flavonoïdes et en tanins catéchiques (**Carović-Stanko et al., 2016; Aldogman et al., 2022b; Afrokh et al., 2023; El-Saadony et al., 2024; S. K. Sharma et al., 2025**).

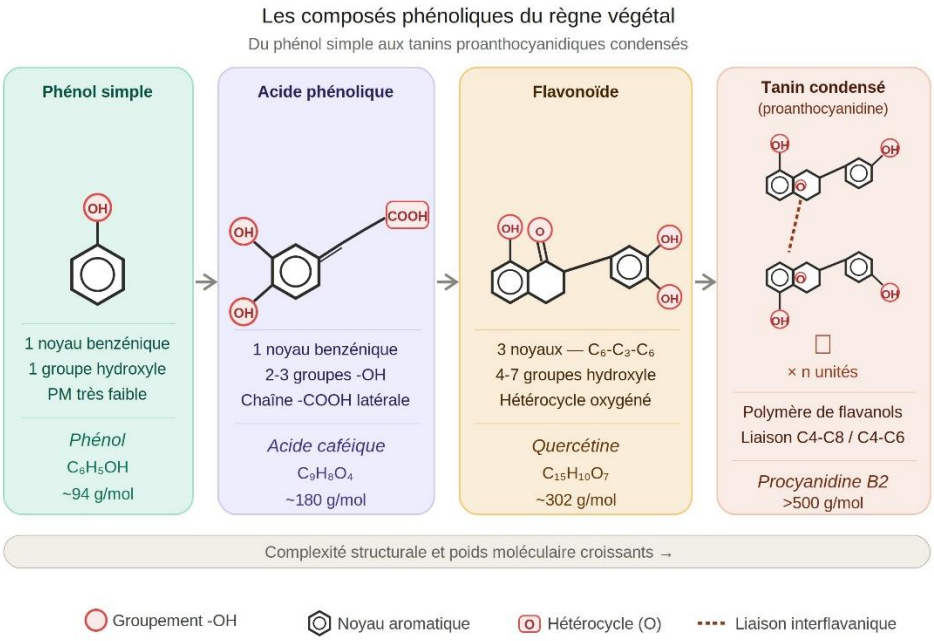


Figure 5. Schéma des principaux groupes de polyphénols végétaux (image originale).

II.3.1.1. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques constituent une sous-classe de polyphénols dont la structure comprend un noyau aromatique et une fonction acide carboxylique. On distingue deux grandes familles: les acides benzoïques (dérivés de l'acide benzoïque comme l'acide gallique et l'acide protocatéchuique) et les acides cinnamiques (dérivés de l'acide cinnamiquecomme l'acide caféique, l'acide férulique et l'acide rosmarinique). Ce dernier, présent en quantités particulièrement importantes dans les feuilles de *M. suaveolens*, est un ester dimérique formé par condensation de l'acide caféique et de l'acide 3,4-dihydroxyphényllactique (DHPL). Sa double structure phénolique lui confère une activité antioxydante supérieure à celle de la vitamine E *in vitro* (**Bouymajane et al., 2022c**).

II.3.1.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes représentent la sous-classe de polyphénols la plus diversifiée, regroupant plus de 10 000 structures identifiées. La structure chimique commune à l'ensemble des flavonoïdes repose sur deux noyaux benzéniques (A et B) unis par un pont pyrique oxygéné à six chaînons (cycle C). C'est la combinaison du degré d'oxydation de ce cycle central, de la position d'attachement du noyau B et des groupements fonctionnels périphériques qui détermine l'appartenance d'un composé à l'une ou l'autre des sous-familles flavoniques **(Chen et al., 2023; Wang et al., 2018**; **Zhuang et al., 2023**):

- **Flavones**: Caractérisées par une double liaison C_2=C_3 et l'absence de groupement hydroxyle en C_3. Exemples présents chez *M. suaveolens*: lutéoline, apigénine, chrysoériol, diosmétine.
- **Flavonols**: Présentent une double liaison C_2=C_3 et un hydroxyle en C_3. Exemples: quercétine, kaempférol, isorhamnétine, rutine (quercétine-3-O-rutinoside).
- **Flavanones**: Structure saturée en C_2-C_3, groupement cétonique en C_4. Exemples: hespérétine, naringénine, ériodictyol.
- **Flavanols (Flavan-3-ols)**: Absence de double liaison C_2=C_3, absence de carbonyle en C_4. Exemples : catéchine, épicatéchine (unités constitutives des proanthocyanidines).
- **Isoflavones**: Le cycle B est attaché en C_3 (position inhabituelle). Exemples: génistéine, daidzéine (à activité phytoestrogénique).
- **Anthocyanes**: Pigments colorés (rouge, bleu, violet) responsables de la coloration des organes reproducteurs. Exemples : cyanidine, delphinidine.

II.3.1.3. Les tannins

Les tanins constituent une sous-classe de polyphénols caractérisée par une masse molaire élevée — généralement comprise entre 500 et 30 000 Da — et par leur aptitude à former des complexes stables avec les protéines et d'autres macromolécules, propriété à l'origine de leur

usage ancestral dans l'industrie du cuir. Dans les tissus foliaires de *M. suaveolens*, leur accumulation préférentielle dans les vacuoles et les parois cellulaires leur confère un rôle de barrière chimique contre les herbivores et les agents pathogènes(**Cosme et al., 2025)**.

II.3.2. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes (**Figure 6**) constituent l'une des classes de métabolites secondaires végétaux les plus étudiées et les plus exploitées pharmacologiquement. Les alcaloïdes forment une famille de composés azotés biosynthétisés à partir d'acides aminés précurseurs diversifiés (tyrosine, tryptophane, lysine, ornithine, entre autres), dont l'azote est le plus souvent intégré dans une structure cyclique hétéroaromatique conférant à ces molécules un caractère majoritairement basique. Avec plus de 12 000 structures décrites à ce jour, ils représentent l'une des familles de métabolites secondaires les plus étudiées. Il convient de souligner que chez M. suaveolens, cette classe demeure minoritaire, les profils phytochimiques de l'espèce étant dominés par les polyphénols et les terpénoïdes (**Croteau et al., 2000**).

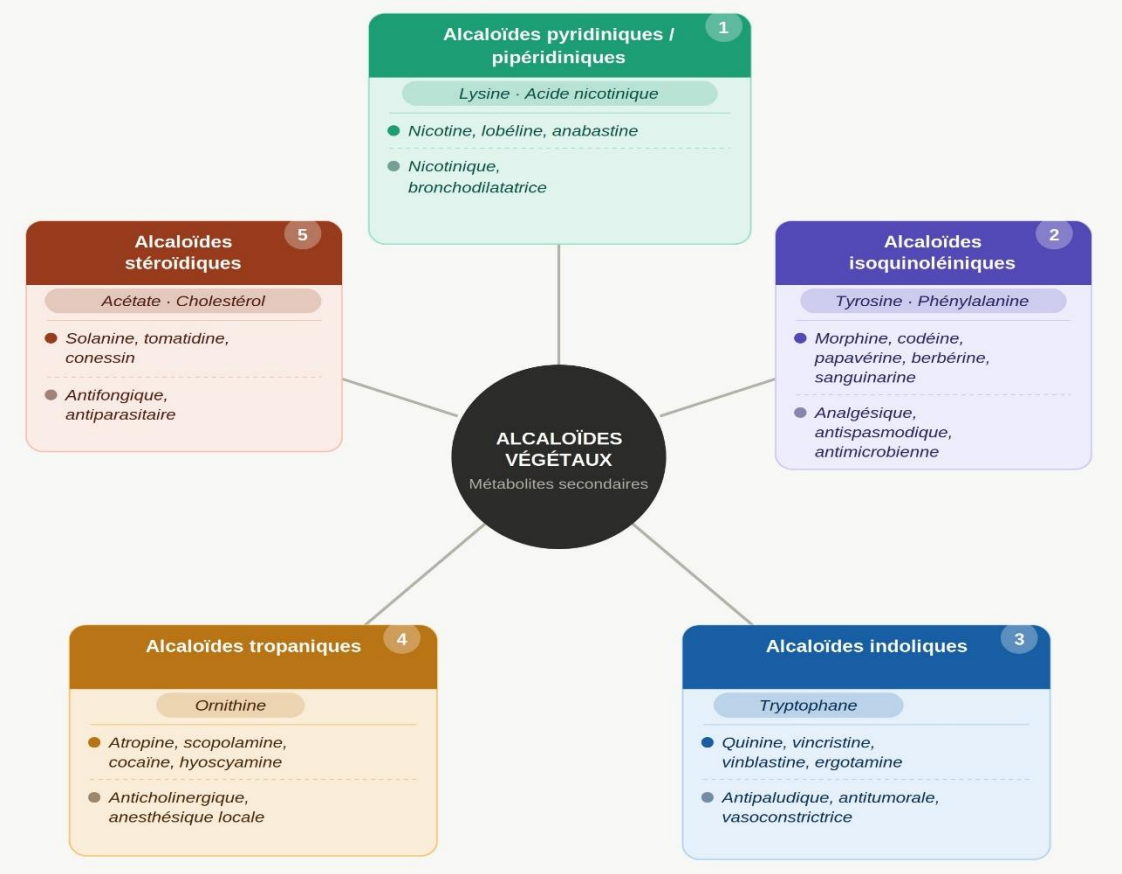


Figure 6. Classes d'alcaloïdes (image originale).

Il est important de souligner que les alcaloïdes sont relativement peu représentés chez les espèces du genre *Mentha* comparativement aux terpénoïdes et aux polyphénols. Néanmoins,

leur présence, même en quantités mineures, peut contribuer aux propriétés biologiques globales de la plante, notamment par des effets synergiques avec d'autres classes de métabolites.

II.3.3. Les terpénoïdes

Étymologiquement issus du terme allemand « Terpentin » (térébenthine), les terpènes doivent leur nom à la résine de conifères à partir de laquelle les premiers représentants furent isolés. Leur unité constitutive est un fragment isoprénique à cinq carbones — l'isopentényl pyrophosphate (IPP) et son isomère diméthylallyl pyrophosphate (DMAPP) — dont la condensation séquentielle, régulée par les terpène synthases et les cytochromes P450, génère une diversité structurale exceptionnelle dépassant 80 000 composés identifiés (**Tableau 5**) (**Tetali, 2019**; **Croteau et al., 2000**; **Bergman et al., 2024**; **Câmara et al., 2024**). Chez *M. suaveolens*, cette classe est représentée principalement par les monoterpènes oxygénés de l'huile essentielle.

Tableau 5. Classification des terpènes selon le nombre d'unités isoprène **(Croteau et al., 2000; Tetali, 2019; Bergman et al., 2024; Câmara et al., 2024**).

Classe	Unités C5	Formule brute	Exemples et localisation
Hémiterpènes	1	C_5	*Isoprène (émis par les feuilles) ; peu de rôle direct chez M. suaveolens*
Monoterpènes	2	C_{10}	*Oxyde de pipériténone (majoritaire chez M. suaveolens), limonène, α-pinène, menthol, carvone — constituants majeurs des HE*
Sesquiterpènes	3	C_{15}	*β-caryophyllène, germacrène-D, oxyde de caryophyllène, spathulénol — présents dans les HE*
Diterpènes	4	C_{20}	*Acide abscissique (hormone), taxol (Taxus), diterpènes labdaniques — non volatils*
Sesterterpènes	5	C_{25}	*Très rares dans les plantes supérieures ; surtout fongiques et marins*
Triterpènes	6	C_{30}	*Acides ursolique et oléanolique, bêta-sitostérol, saponines, lanostérol — précurseurs des stérols végétaux*
Tétraterpènes	8	C_{40}	*Caroténoïdes : β-carotène, lycopène, lutéine — pigments photosynthétiques et photoprotecteurs*
Polyterpènes	> 8	$(C_5)n$	*Caoutchouc naturel (Hevea), gutapercha — polymères de haut PM*

II.3.3.1. Les monoterpènes chez *M. suaveolens*

Chez *M. suaveolens*, les monoterpènes constituent la classe terpénique quantitativement dominante dans l'huile essentielle, représentant généralement 70 à 95 % de la composition totale selon le chémotype et l'origine géographique. Les monoterpènes sont synthétisés dans les chloroplastes et stockés dans les trichomes glandulaires peltés et capitatés, caractéristiques des feuilles et des tiges des Lamiacées. L'oxyde de pipériténone constitue le composé majoritaire dans la plupart des populations d'Algérie, du Maroc et de l'Europe du Sud, atteignant parfois 90 % de la teneur totale en huile essentielle. Parmi les autres monoterpènes identifiés figurent la carvone, la menthone, le limonène, le pulégone, le p-cymène, l'α-pinène et le β-pinène (Božović et al., 2015).

II.3.3.2. Les sesquiterpènes chez *Mentha suaveolens*

Les sesquiterpènes, formés par l'assemblage de trois unités isoprène, sont moins volatils que les monoterpènes en raison de leur masse molaire plus élevée et de leur point d'ébullition supérieur (généralement > 200 °C). Ils sont biosynthétisés dans le cytoplasme à partir du farnésyl pyrophosphate (FPP). Chez *M. suaveolens*, les sesquiterpènes majoritairement identifiés sont le β-caryophyllène, le germacrène-D, l'oxyde de caryophyllène (produit d'oxydation du caryophyllène), le spathulénol et le cadinol. Le β-caryophyllène, présent dans de nombreuses huiles essentielles de Lamiacées **(Cai et al., 2002; Dahham et al., 2015; Fidyt et al., 2016**; **Rehman et al., 2016**).

II.3.3.3. Les triterpènes et stérols

Les triterpènes et les stérols constituent une classe de terpénoïdes non volatils d'importance écologique et pharmacologique majeure. Biosynthétisés à partir du squalène — hydrocarbure terpénique acyclique issu de la condensation réductrice de deux molécules de farnésyl pyrophosphate (FPP) — ces composés présentent une grande diversité de squelettes cycliques (lupane, oléanane, ursane, lanostane, cycloartane) (**Abe, 2007**).

Deuxième partie

Etude expérimentale

I. Matériel et méthodes

I.1. Caractérisation de la zone de récolte

I.1.1. Matériel végétal et site récolte

Les parties aériennes de *Mentha suaveolens* (tige, feuilles et fleurs) ont été récoltés sur une période s'étendant du mois d'Octobre 2025 au mois de Février 2026. Le site de collecte est la région de "El-Harouche" de la Wilaya de Skikda, Algérie (**Figure 7**). Après la récolte, le matériel végétal a été nettoyé, puis séché à l'ombre et à température ambiante jusqu'à dessiccation complète. Il a ensuite été stocké dans des conditions adéquates en vue des analyses phytochimiques ultérieures.

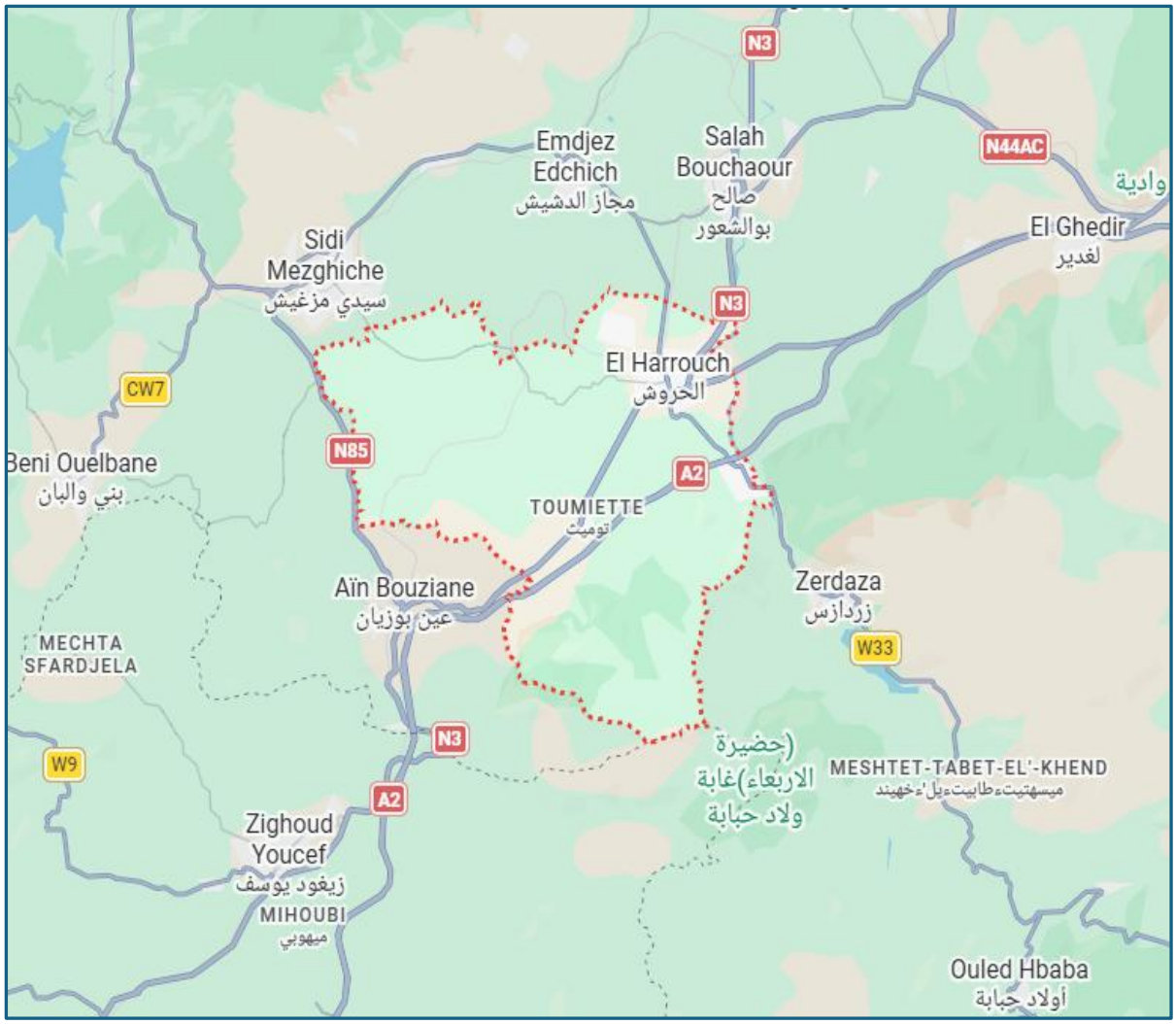


Figure 7. Zone de récolte de *M. suaveolens* (Google maps Juin 2026).

I.1.2. Climat de la ville de Skikda

La composition phytochimique des espèces végétales, ainsi que leur développement, sont étroitement modulés par des facteurs environnementaux. Parmi ces facteurs, le climat est prépondérant. Dans cette perspective, et afin d'établir le contexte environnemental de notre matériel végétal, nous avons entrepris l'évaluation du climat de la région d'étude (Nord-Est Algérien). Cette évaluation s'est focalisée sur les données climatiques de la ville de Skikda, en privilégiant la collecte des trois paramètres jugés les plus influents sur la distribution des espèces: la température moyenne, la pluviométrie, et l'humidité relative. Les données utilisées correspondent à l'année de récolte "2025" disponibles sur le site de l'Office National de la Météorologie (***Météo Algérie*, n.d.**).

La position bioclimatique de la wilaya de Skikda a été précisée par le calcul du quotient pluviothermique d'Emberger (Q2), dont la formule est la suivante:

$$Q2 = 2\,000 \times P / (M^2 - m^2)$$

où P représente la pluviosité annuelle (mm), M la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (°C) et m la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (°C). Ce quotient permet de positionner la station dans le climagramme d'Emberger et d'en déduire l'étage bioclimatique correspondant (**Emberger, 1955**).

I.2. Etude de la composition phytochimique de *M. suaveolens*

I.2.1. Criblage phytochimique

Pour caractériser la composition phytochimique de nos extraits, nous avons adopté le protocole de criblage qualitatif proposé par **Ailane et al. (2022)**. Cette approche repose sur une série de tests chimiques simples, accessibles et rapides à mettre en œuvre, dont l'objectif premier est de dresser un inventaire préliminaire des principales familles de métabolites secondaires contenues dans le matériel végétal étudié.

Concrètement, chaque test mobilise des réactifs adaptés à la classe de composés ciblée. Certains permettent de détecter la présence d'un groupe chimique par l'apparition d'un précipité caractéristique, d'autres par le développement d'une coloration plus ou moins intense selon la nature du constituant. Les résultats obtenus permettent plutôt d'apprécier la richesse relative de l'extrait en chaque groupe phytochimique, selon une échelle qualitative définie (**Tableau 6**).

Tableau 6. Échelle qualitative d'évaluation de la richesse en métabolites secondaires des extraits végétaux.

Présent en forte concentration	Présent en concentration moyenne	Présent en concentration faible	Absent
+++	++	+	-

1.2.1.1. Caractérisation des composés phénoliques

La mise en évidence des composés phénoliques a été réalisée par l'ajout de 1 ml de chlorure ferrique ($FeCl_3$: 2 %) à l'infusé de *M. suaveolens* (**Figure 8**). La formation d'un précipité sombre (brun-vert ou bleu-noir) atteste de la présence de groupements phénoliques.



Figure 8. Étapes de préparation de l'infusé (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

1.2.1.2. Caractérisation des flavonoïdes

2 ml d'une solution de l'hydroxyde de sodium (NaOH: 30 %, **Figure 9**) ont été ajoutés à l'infusion à de la plante. Le développement d'une coloration jaune indique la présence de flavonoïdes.



Figure 9. Préparation du NaOH à 30% (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

5 ml d'alcool chlorhydrique ont été ajoutés à l'infusion de *M. suaveolens*; ensuite, quelques copeaux de magnésium ont été introduits. Le développement d'une couleur rouge cerise indique la présence de flavonols; une couleur orange révèle la présence de flavones; et une couleur rouge violacé montre la présence de flavanones.

1.2.1.3. Caractérisation des anthocyanes

La détection des anthocyanes repose sur leur propriété d'indicateur de pH. Après acidification de l'infusion par l'acide hydrohlorique (HCl), le milieu a été alcalinisé par l'ajout de l'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH) concentré. L'apparition d'une teinte bleu-vert atteste d'un résultat positif pour les anthocyanes.

1.2.1.4. Caractérisation des leuco-anthocyanes

La détection des leuco-anthocyanes a été réalisée par un test colorimétrique en milieu acide et à chaud. Ainsi, à l'infusé aqueux de la poudre, on a ajouté 5 mL d'alcool chlorhydrique puis le tout a été porté au bain-marie thermostaté à 50 °C pendant 15 à 20. L'apparition d'une teinte allant du rouge cerise au violacé signe une réaction positive, attestant la présence de leuco-anthocyanes.

1.2.1.5. Caractérisation des coumarines

La recherche des coumarines a été effectuée en additionnant 3 ml de NaOH (10 %) à l'infusé. Après homogénéisation au vortex, l'apparition d'une coloration jaune a été le signe de présence des coumarines

1.2.1.6. Caractérisation des triterpènes, stérols et caroténoïdes

Pour l'analyse des triterpènes, des stérols et des caroténoïdes, une extraction par macération a été réalisée en plaçant la poudre végétale dans l'éther diéthylique ($C_2H_5OC_2H_5$) durant 24 heures à une température de 4°C. Après filtration et ajustement du volume à 20 ml, le filtrat a été soumis aux tests colorimétriques suivants:

Recherche des triterpènes: 0,5 ml de chloroforme ($ChCl_3$) et 3 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) ont été ajoutés au filtrat. La formation d'un anneau rouge-brun ou pourpre à l'interphase témoigne de la présence de triterpènes.

Recherche des terpènes et caroténoïdes: Un volume de 3 ml de filtrat a été traité par 3 gouttes de H_2SO_4 concentré. Une coloration rouge est caractéristique des terpènes, tandis qu'une teinte bleue indique la présence de caroténoïdes.

Recherche des stérols (Réaction de Liebermann-Burchard): Dans 3 ml de filtrat, 3 gouttes de H_2SO_4 concentré et 6 gouttes d'anhydride acétique ont été introduites. Le passage d'une coloration pourpre au vert confirme la présence de stérols.

1.2.1.7. Caractérisation des saponosides

Une décoction à 1 % a été filtré à chaud (**Figure 10**), puis, après refroidissement, le filtrat a été ajusté à 250 ml dans une fiole jaugée avec de l'eau distillée. Un volume de 10 ml de cette solution a été introduit dans un tube à essai de 16 ml, obturé, puis soumis à une agitation vigoureuse. La présence de saponosides est confirmée par la formation d'une colonne de mousse d'une hauteur minimale de 1 cm, persistant après un temps de repos de 15 minutes. En cas de résultat positif, la concentration en saponosides est évaluée par la détermination de l'indice de mousse.



Figure 10. Préparation du décocté de *M. suaveolens* (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

Indice de mousse: Le filtrat a été réparti dans une série de 10 tubes calibrés, obturés, puis agités vigoureusement pendant 15 secondes avant un repos de 15 minutes. L'interprétation des résultats s'effectue selon les critères suivants:

- *Indice < 100:* la hauteur de mousse est inférieure à 1 cm dans tous les tubes, indiquant une absence ou une très faible teneur en saponines.
- *Calcul de l'indice:* si la mousse atteint exactement 1 cm dans l'un des tubes, l'indice est calculé via la dilution correspondante (ex: pour le 4ème tube avec 4 ml de filtrat, l'indice est de ((10 x 1) / 0,04 = 250).
- *Indice > 1000:* la mousse dépasse 1 cm dans tous les tubes ; une nouvelle analyse sur un décocté plus dilué est alors requise.

1.2.1.8. Caractérisation des composés réducteurs

La mise en évidence de substances réductrices a été effectuée en traitant l'infusion par 2 ml de réactif de Fehling. Le mélange a été porté à ébullition au bain-marie durant 8 minutes. Un résultat positif est caractérisé par l'apparition d'un précipité d'oxyde de cuivre (Cu_2O) de couleur rouge brique.

1.2.1.9. Caractérisation des tétrahydrocannabinols

La recherche des composés narcotiques a été effectuée par macération de la poudre végétale dans l'éther de pétrole pendant 15 minutes sous agitation constante. Après filtration, le solvant a été évaporé à sec au bain-marie. Le résidu obtenu a été traité avec 3 à 4 gouttes d'une solution alcoolique d'hydroxyde de potassium (KOH: 5 %). La présence de narcotiques est confirmée par le développement d'une coloration pourpre caractéristique.

1.2.1.10. Caractérisation des mucilages

La mise en évidence des mucilages a reposé sur une réaction de précipitation en phase organique. À 10 mL du décocté aqueux à 10 %, introduits dans un tube à essai de 16 mL, on a ajouté 5 mL d'éther diéthylique [$(C_2H_5)_2O$] puis soumis à une agitation vigoureuse. L'apparition d'un précipité floconneux dans la phase éthérée signe une réaction positive, attestant la présence de mucilages dans l'extrait analysé

1.2.1.11. Caractérisation des quinones libres

La détection des quinones libres a été conduite par macération de la matière végétale finement découpée dans 3 mL d'un mélange éther-chloroforme préalablement acidifié par du HCl à 20 %, pendant 24 heures; le filtrat récupéré a ensuite été alcalinisé par addition de NaOH à 10 %, et l'apparition d'une coloration rouge violacée dans la phase aqueuse a été retenue comme critère de positivité (**Figure 11**).



Figure 11. Etapes de préparation de la réaction (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

1.2.1.12. Caractérisation des glucosides cardiotoniques

Le test de Keller-Killiani a été utilisé pour méttre en évidence la présence des glucosides cardiotoniques. Ainsi, le pulvérisat de *M. suaveolens* a été mis en contact avec 5 mL d'acide acétique glacial contenant des traces de $FeCl_3$, puis avec 5 mL d'acide sulfurique concentré également additionné de traces de $FeCl_3$; la formation de deux phases distinctes — l'une brun-rouge dans la couche acétique et l'autre bleu-vert à l'interface — confirme la présence de glucosides cardiotoniques

1.2.1.13. Caractérisation des iridoïdes

La recherche des iridoïdes a été effectuée par la réaction de Lieberman-Burchard appliquée au décocté de la matière végétale pulvérisée. Après addition de 1 mL d'acide chlorhydrique concentré, le mélange a été chauffé progressivement jusqu'à ébullition. La formation d'un précipité noir dense au terme du chauffage constitue le critère de positivité retenu pour confirmer la présence de composés iridoïdiques.

I.2.2. Dosage des polyphénols totaux

1.2.2.1. Extraction de l'huile essentielle

L'huile essentielle a été isolée à partir de 50 g du matériel végétal par la méthode d'hydrodistillation en utilisant un appareil de type Clevenger (**Figure 13**). Cette technique implique le chauffage du mélange substrat-eau distillée dans un ballon, conduisant à la vaporisation des composés volatils de l'huile essentielle par entraînement à la vapeur. Les vapeurs générées sont ensuite dirigées vers un réfrigérant, où elles subissent une condensation pour former un distillat biphasique : une phase organique, l'huile essentielle brute, et une phase aqueuse (hydrolat). La séparation de ces deux phases a été réalisée par décantation; l'huile essentielle recueillie a été conditionnée dans un flacon en verre opaque à fermeture hermétique et stockée à 4 °C dans l'obscurité pour en préserver l'intégrité physico-chimique et limiter la dégradation par oxydation ou photo-oxydation.

Calcul des rendements en huile essentielle

Le rendement d'extraction de l'huile essentielle (Rdt), exprimé en pourcentage de matière sèche (% M. S.), a été obtenu en utilisant l'équation suivante:

$$\text{Rdt}\ (\%\ \text{M.S}) = \frac{\text{Poids de l'huile essentielle récupérée}\ \ (\text{g})}{\text{Poids de la la matière sèche initiale}\ (\text{g})} \times 100$$



Figure 12. Processus d'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation (photos originales prises par l'appareil Smasung Galaxy S20FE).

1.2.2.2. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux de l'huile essentielle de *M. suaveolens* a été évaluée par spectrophotométrie selon la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu, telle qu'elle a été appliquée par **Ailane & Bennadja (2023)**. Ce réactif est composé d'un mélange de deux acides hétéropolyacides: l'acide phosphotungstique et l'acide phosphomolybdique. En présence de composés phénoliques, une réaction d'oxydoréduction se produit: les phénols cèdent des électrons au réactif, qui se réduit alors en oxydes de tungstène et de molybdène, donnant une coloration bleue caractéristique. L'intensité de cette couleur est directement proportionnelle à la concentration en polyphénols de l'extrait analysé (Ribéreau-Gayon & Gautheret, 1968; Singleton & Rossi Jr, 1965).

Mise en œuvre pratique

Dans un tube à essai, 100 µl de l'huile essentielle diluée dans le méthanol ont été prélevés puis mélangés à 250 µl de réactif Folin-Ciocalteu et 400 µl d'eau distillée. Après homogénéisation, le mélange a été laissé à reposer deux minutes à température ambiante. Par la suite, 1250 µl d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3, 20 %) ont été incorporés, et l'ensemble a été incubé pendant 40 minutes dans les mêmes conditions. La lecture de l'absorbance a été réalisée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible (**Figure 14**).



Figure 13. Quelques étapes de réalisation du dosage des polyphénols totaux (photos originales prises par l'appareil Smasung Galaxy S20FE).

La quantification a été effectuée par référence à une courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique comme standard, à des concentrations allant de 5 à 150 µg/ml. Les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalent acide gallique par gramme de l'huile essentielle (mg EAG/g HE).

I.3. Évaluation de l'activité cicatrisante de l'huile essentielle de *M. suaveolens* sur un modèle de brûlure thermique induite chez le rat Wistar

1.3.1. Animaux d'expérience

Pour cette étude, nous avons travaillé avec 20 rats mâles adultes de la souche Wistar (**Figure 15**), dont le poids variait entre 200 et 220 g. Les animaux ont été placés, au niveau de l'animalerie de l'université 20 Aout 1955 de Skikda, dans des cages, à raison de 5 rats par cage, dans une pièce maintenue à 25 ± 2 °C, avec une alternance jour/nuit de 12 heures. La nourriture (**Figure 16**) et l'eau étaient disponibles sans restriction. Avant le début des manipulations, les rats ont bénéficié de 15 jours d'adaptation à leur nouvel environnement. Cette période permet de réduire le stress lié au transport et d'obtenir des animaux dans un état physiologique stable et comparable.



Figure 14. Rats Wistar utilisés dans l'expérimentation de cette étude (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go).



Figure 15. Alimentation fournie aux rats (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

1.3.2. Organisation des groupes expérimentaux

Les rats ont été répartis en quatre groupes de 5 animaux chacun:

- **Groupe I (Témoin négatif)**: rats brûlés, ne recevant aucun agent cicatrisant, dont les lésions ont été rincées à l'eau physiologique (NaCl 0,9 %) deux fois par jour.
- **Groupe II (Témoin positif)**: rats brûlés, traités avec le médicament de référence "la sulfadiazine" une fois par jour, selon la posologie habituelle.
- **Groupe III**: rats brûlés, traités par application locale d'une formulation à base d'huile essentielle de *M. suaveolens* (1,5 %), véhiculée dans de la graisse de chameau (excipient).
- **Groupe IV (Traité)**: rats brûlés, recevant une application locale de véhicule, deux fois par jour.

1.3.3. Traitements utilisés

Tout au long de la période de suivi, les plaies des animaux des lots 2, 3 et 4 ont été soumises à des applications topiques journalières, effectuées dans des conditions d'hygiène strictes. Le lot 1, dépourvu de toute intervention thérapeutique, a représenté le groupe témoin négatif permettant d'apprécier l'évolution spontanée des lésions.

Les trois autres lots ont reçu chacun un produit distinct. Le lot 2 a été traité à la sulfadiazine argentique à 1 %, molécule de référence dont l'efficacité dans le traitement local des brûlures est établie et documentée. Le lot 3 a été traité par un onguent formulé au

laboratoire, à base de graisse de chameau incorporant 1,5 % d'extrait de *M. suaveolens*, dont la préparation a suivi un protocole rigoureux garantissant l'homogénéité et la reproductibilité de la formulation (**Figure 17**). Le lot 4, enfin, a bénéficié d'applications de graisse de chameau, issue de la pharmacopée traditionnelle et reconnue pour ses vertus cicatrisantes.



Figure 16. Préparation et application de l'onguent de *M. suaveolens* (photos originales prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

1.3.4. Induction des brûlures

Anesthésie et préparation cutanée

L'anesthésie systémique a été induite par une injection intramusculaire de xylazine (10 mg/kg) (**Figure 18**). Après confirmation de la sédation, la région dorsale postérieure des animaux a été tondue mécaniquement, puis traitée par une crème dépilatoire afin d'exposer totalement la surface cutanée. Après élimination des résidus pileux, la zone a été nettoyée au sérum physiologique stérile et séchée. Une analgésie locale complémentaire a été assurée par l'administration sous-cutanée de lidocaïne (5 mg/kg) (**Figure 19**) au point d'élection de la brûlure, garantissant ainsi un confort péri-opératoire optimal.



Figure 17. Anesthésie et préparation cutanée des rats (photo originale prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).



Figure 18. Administration de la lidocaïne par injection sous-cutanée (photo originale prise par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

Induction des brulures et traitement

La brûlure a été réalisée selon un modèle thermique standardisé. Une sonde métallique cylindrique de 20 mm de diamètre, préalablement portée à une température constante de 100 °C via une plaque chauffante, a été appliquée sur la peau préparée (**Figure 20**). Un temps de contact de 10 secondes a été rigoureusement respecté, sans pression manuelle supplémentaire, afin de garantir la reproductibilité des lésions et une profondeur de brûlure uniforme sur l'ensemble des groupes expérimentaux.



Figure 19. Induction des brûlures (photos originales prises par l'appareil Samsung Galaxy S20FE).

Les traitements ont été initiés immédiatement après l'induction des brûlures, dès le premier jour de l'expérimentation (J0). Une fois les brûlures provoquées, l'onguent a été appliqué. Le suivi de la cicatrisation a été réalisé par analyse d'image numérique, avec des mesures de la surface des plaies effectuées au troisième jour (J2) ainsi qu'au terme de l'expérimentation, soit au vingt et unième jour (J20).

1.3.5. Sacrifice des animaux et prélèvement des échantillons biologiques

En fin de protocole expérimental, les rats ont été sacrifiés par inhalation de chloroforme. Immédiatement après la perte de conscience, un prélèvement sanguin a été effectué par ponction cardiaque (**Figure 21**). Le sang obtenu a ensuite été distribué dans deux types de tubes

(**Figure 22**) adaptés aux analyses prévues: des tubes secs pour la mesure des IgE totales circulantes, et des tubes EDTA pour l'exploration de l'hémogramme (Numération formule sanguine "NFS").



Figure 20. Prélèvement sanguin par ponction cardiaque chez les rats (photo originale prise par l'appareil Samsung Galaxy S20FE).

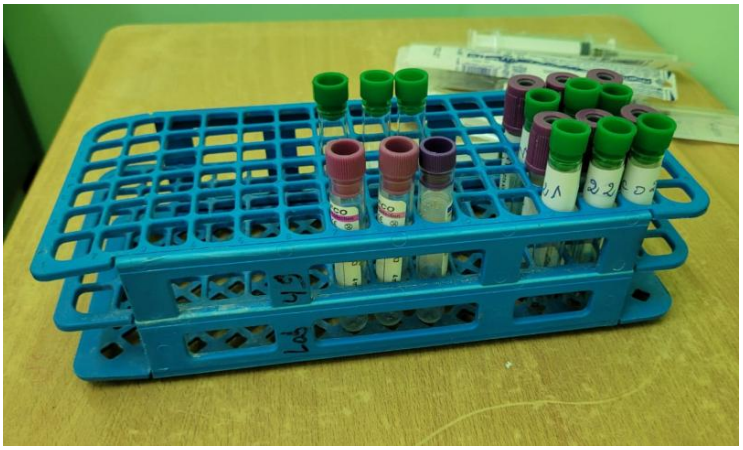


Figure 21. Préparation des tubes pour les analyses du sang prévues (photo originale prise par l'appareil Samsung Galaxy S20FE).

Parallèlement, les zones cutanées correspondant aux sites de brûlure et de cicatrisation ont été prélevées chirurgicalement dans les instants suivant le sacrifice, afin de limiter toute altération tissulaire. Les fragments de peau des groupes I et III ont été immédiatement immergés dans des flacons contenant du formol tamponné à 10 %, en vue de leur fixation et de

leur traitement histologique ultérieur (**Figure 23**) en utilisant la technique décrite par **Hould** (**1998**). L'observation a été réalisée au microscope à l'aide d'un objectif à faible grossissement (×10).



Figure 22. Quelques étapes de préparation des coupes histologiques (photos originale prises par l'appareil Tecno Spark 6 Go).

1.3.6. Étude statistique

L'ensemble des valeurs mesurées a été présenté sous forme de moyenne accompagnée de l'erreur standard (± SEM). Pour comparer les groupes entre eux, nous avons eu recours à une analyse de variance à un facteur (ANOVA one-way), complétée par le test de comparaisons multiples de Tukey. Le seuil de significativité a été interprété de la manière suivante:

- (a, b, c) : différence significative ($p \leq 0,05$);
- (a1, b1, c1) : différence hautement significative ($p \leq 0,01$);
- (a2, b2, c2) : différence très hautement significative ($p \leq 0,001$).

II. Résultats et discussion

II.1. Climat de la ville de Skikda

Afin de situer la zone d'étude dans son contexte bioclimatique, les données climatiques mensuelles relatives à la wilaya de Skikda pour l'année 2025 ont été recueillies. Le diagramme (**Figure 24**) présente les résultats obtenus.

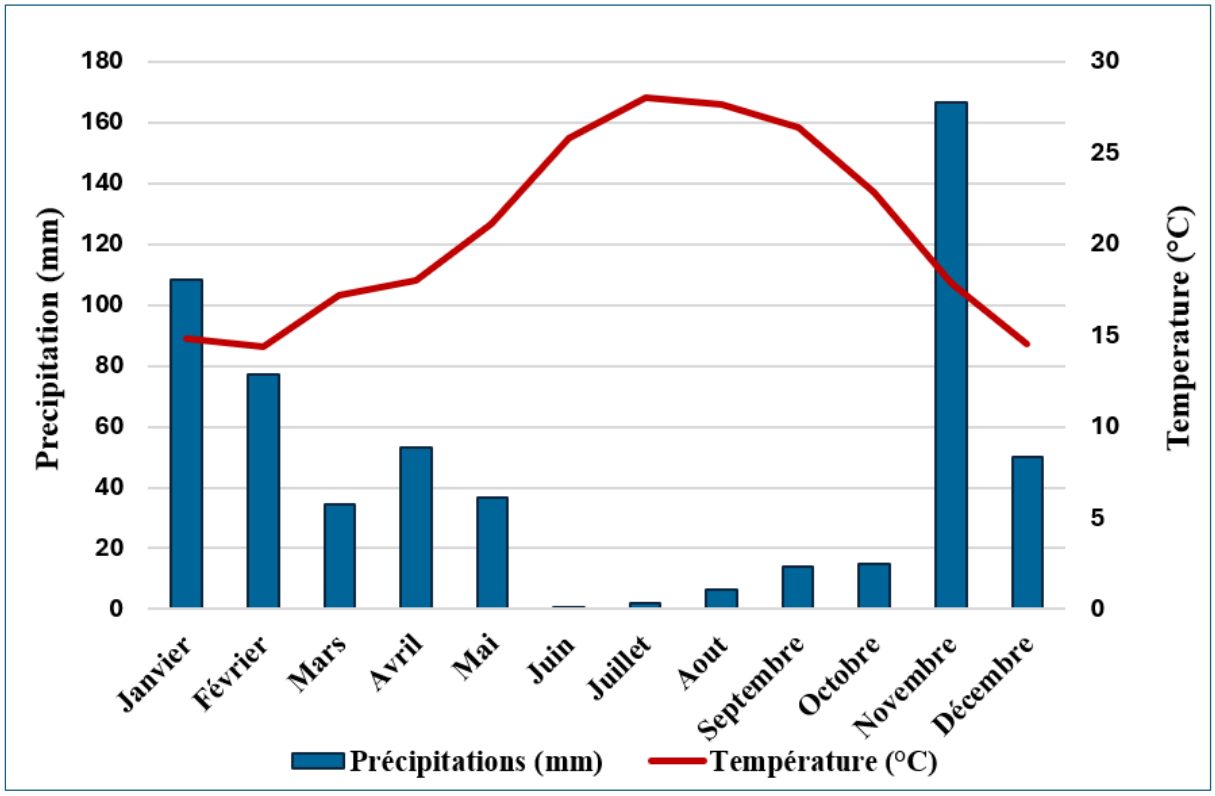


Figure 23. Diagramme ombrothermique de la wilaya de Skikda de l'année 2025.

Ces données ont été représentées sous forme d'un diagramme ombrothermique selon la méthode de **Bagnouls** (**1953**), dans lequel les précipitations (P) sont portées sur l'axe des ordonnées gauche et les températures (T) sur l'axe des ordonnées droit, avec la convention P = 2T. La période sèche correspond aux mois durant lesquels la courbe des températures dépasse celle des précipitations, soit lorsque P < 2T.

L'examen du diagramme révèle un régime thermique caractérisé par des températures minimales enregistrées en janvier et en février (≈ 15 °C) et un maximum estival atteint en juillet–août (≈ 28 °C). Sur le plan pluviométrique, les précipitations sont concentrées sur la période automnale et hivernale, avec un pic notable en novembre (≈ 165 mm) et en janvier (≈ 110 mm). Les mois de juin et juillet sont quasi-arides, avec des précipitations inférieures à 5 mm. Ces données traduisent un régime méditerranéen classique, caractérisé par une sécheresse

estivale marquée et des hivers doux et humides, typique du littoral nord-est Algérien (**Medjerab & Henia, 2005**).

La valeur obtenue du quotient pluviothermique (Q2) (**Tableau 8)** permet de positionner la station de Skikda dans le climagramme d'Emberger au niveau de l'étage bioclimatique subhumide à hiver doux, ce qui est caractéristique des zones littorales et sublittorales du nord-est Algérien (**Quézel & Santa, 1963**; **Djebaili, 1984**).

Tableau 7. Paramètres climatiques de la wilaya de Skikda utilisés pour le calcul du quotient pluviothermique d'Emberger (Q2) — Année 2025.

Paramètre	Symbole	Valeur
Température maximale du mois le plus chaud (Juillet)	M	33.2 °C
Température minimale du mois le plus froid (Janvier)	m	8.4 °C
Pluviosité annuelle totale	P	863.6 mm
Quotient pluviothermique d'Emberger	Q2 ≈ 1101.1	

Ce résultat est en accord avec les travaux de (Medjerab & Henia, 2005), qui ont classifié la façade nord-est de l'Algérie dans les étages subhumides à humides, sous influence méditerranéenne directe. La wilaya de Skikda bénéficie ainsi d'un régime hydrique favorable, avec une saison sèche estivale nette mais une recharge pluviométrique hivernale et automnale suffisante pour maintenir une végétation de type méditerranéen dense, dominée par des formations forestières et des espèces aromatiques et médicinales spontanées (**Benabadji & Bouazza, 2000**).

Le climat subhumide à hiver doux qui caractérise la wilaya de Skikda constitue un cadre bioclimatique favorable à la production de plantes médicinales et aromatiques de qualité phytothérapique satisfaisante. L'alternance saisonnière entre des hivers pluvieux assurant la croissance végétative et des étés chauds et secs représente en réalité un double avantage: d'une part, la recharge hydrique hivernale — avec un pic de 165 mm en novembre — garantit le développement de la biomasse végétale; d'autre part, la sécheresse estivale soumet les plantes à un stress hydrique modéré qui stimule la biosynthèse des métabolites secondaires, notamment les polyphénols, les flavonoïdes et les terpènes, véritables principes actifs à l'origine des vertus thérapeutiques des espèces végétales (**Selmar & Kleinwächter, 2013**; **Kleinwächter &**

Selmar, 2015). À cela s'ajoute un ensoleillement estival prolongé, facteur reconnu comme indispensable à l'activation de la voie des phénylpropanoïdes et à l'enrichissement des huiles essentielles en composés terpéniques (**Mansinhos et al., 2022**). Enfin, la richesse floristique documentée dans cette région, avec des formations de subéraies et une flore endémique diversifiée appartenant à de nombreuses familles botaniques dont les Lamiacées (**Sakhraoui et al., 2020**), confirme que les conditions pédoclimatiques locales offrent un environnement propice à la présence spontanée d'espèces médicinales à fort potentiel bioactif, dont la qualité phytochimique reste toutefois conditionnée par les pratiques de récolte, de séchage et de conservation.

II.2. Etude de la composition phytochimique de *M. suaveolens*

I1.2.1. Criblage phytochimique

L'analyse phytochimique qualitative réalisée sur *M. suaveolens* a permis de mettre en évidence la présence et l'absence de différentes familles de métabolites secondaires. Les résultats (**Figure 25**) obtenus sont consignés dans le **Tableau 9**.

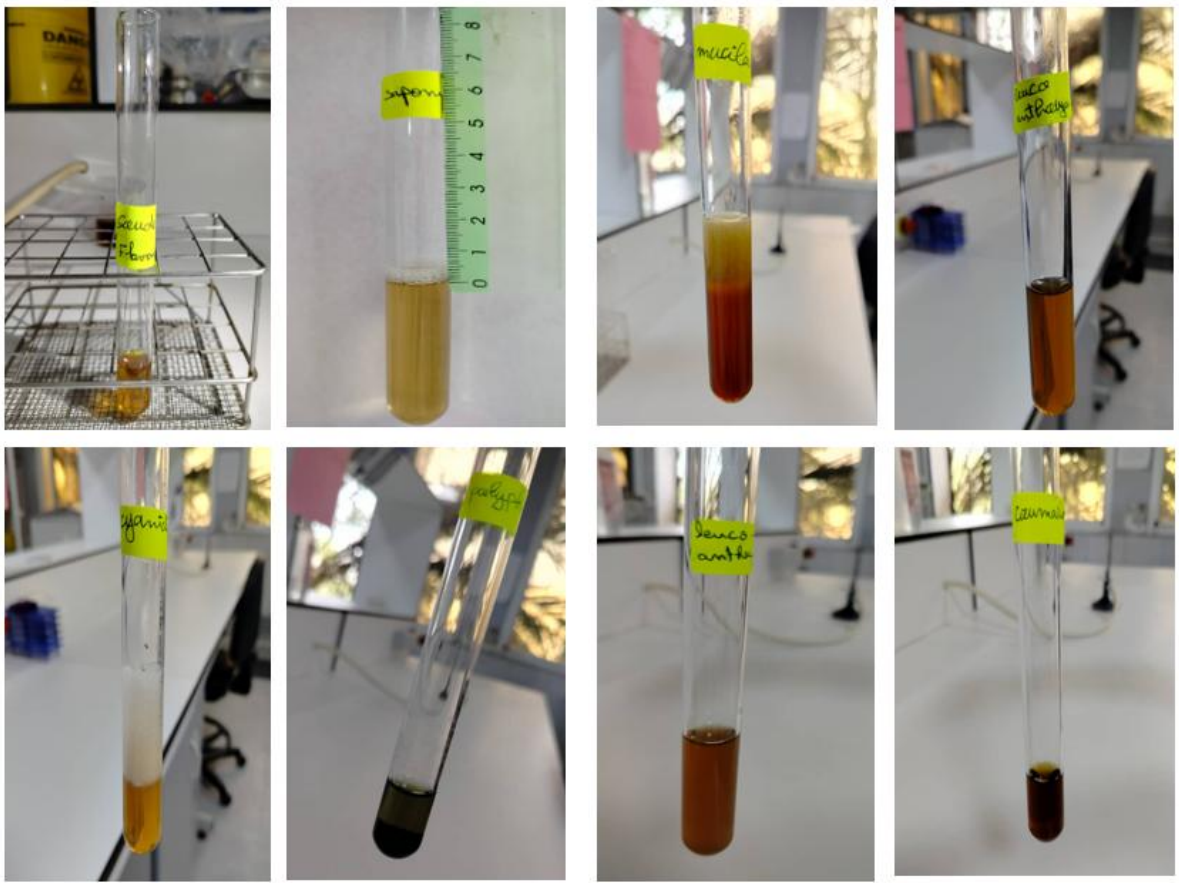


Figure 24. Quelques résultats des tests de criblage phytochimique.

Tableau 8. Résultats du criblage phytochimique.

Test	Résultats
Polyphénols	+++
Flavonoïdes: • Test à la soude • Test à la cyanine	 ++ Flavone
Anthocyanes	-
Leuco-anthocyanes	-
Coumarines	++
Mucilages	+++
Composés réducteurs	++
Tétrahydrocannabinols	-
Saponosides	-
Triterpènes	-
Stérols	-
Caroténoïdes	+
Iridoïdes	+
Quinones libres	-
Glucosides cardiotoniques	-

L'examen du tableau révèle que les polyphénols sont présents en quantité importante (+++), tout comme les flavonoïdes dont la nature a été précisée grâce au test à la cyanine, qui oriente vers une sous-classe de type flavone. Les coumarines, les mucilages ainsi que les composés réducteurs ont également été détectés à des teneurs notables (++). En revanche, les caroténoïdes et les iridoïdes n'ont été relevés qu'à l'état de traces (+). Plusieurs familles de composés se sont avérées absentes, notamment les anthocyanes, les leuco-anthocyanes, les saponosides, les triterpènes, les stérols, les tétrahydrocannabinols, les quinones libres et les glucosides cardiotoniques.

L'absence totale de tétrahydrocannabinols (−) dans les extraits de *M. suaveolens* analysés représente un résultat particulièrement significatif du point de vue toxicologique et réglementaire. Ces composés psychoactifs, absents de la famille des Lamiacées, n'ont jamais

été signalés chez *M. suaveolens* dans l'ensemble de la littérature consultée **(Afrokh et al., 2023; Aldogman et al., 2022a; Zerkani et al., 2021**). Leur non-détection confirme l'innocuité neurologique de cette plante et conforte son usage alimentaire traditionnel sous forme d'infusion et de condiment dans les cuisines méditerranéennes et maghrébines, usage ethnobotanique largement documenté (**Afrokh et al., 2024**). Ce résultat est également en accord avec les normes réglementaires en vigueur concernant les plantes autorisées à la consommation humaine, et ouvre pleinement la voie à la valorisation de *M. suaveolens* dans des formulations nutraceutiques et phytothérapeutiques.

La détection des polyphénols en quantité modérée s'inscrit dans la continuité des données disponibles sur cette espèce. **Afrokh et al.** (**2023**) ont confirmé la richesse de *M. suaveolens* en composés phénoliques lors d'une étude conduite sur des échantillons marocains, en rapportant une teneur en phénols totaux de 54,75 ± 5,62 µg GAE/mg d'extrait méthanolique, ainsi que la présence de flavonoïdes et de tannins catéchiques. Dans le même sens, (Aldogman et al., 2022a), dans une étude conduite sur *M. suaveolens* cultivée en Arabie Saoudite, ont identifié l'acide rosmarinique comme composé phénolique majeur à des teneurs allant jusqu'à 28002,5 µg/g dans les parties fraîches, attestant d'une richesse polyphénolique caractéristique de l'espèce. D'autre part, la détection de flavones par le test à la cyanidine concorde avec les travaux de (Jamila et al., 2020) sur les extraits aqueux de cette espèce, qui ont mis en évidence, par analyse FTIR, la signature spectrale de ces composés flavoniques dans les parties aériennes de cette espèce. Par ailleurs, **Zerkani et al.** (**2021**) ont précisé que la variabilité de la composition phytochimique de cette plante entre populations est étroitement liée aux conditions pédoclimatiques, au stade phénologique de la récolte et aux méthodes d'extraction employées, ce qui justifie certaines différences quantitatives observées entre les études.

La présence des coumarines à un taux modéré constitue un point de divergence notable par rapport aux résultats d'**Afrokh et al.** (**2023**), chez qui cette famille de composés n'a pas été détectée dans les parties aériennes de *M. suaveolens* lors d'une extraction au méthanol avec révélation chromatographique aux vapeurs d'ammoniaque. Cette différence peut s'expliquer par la nature du solvant d'extraction utilisé dans notre étude et par les conditions de récolte, deux paramètres reconnus comme déterminants dans la solubilité et la détectabilité des dérivés coumariniques au sein de la même espèce (**Zerkani et al., 2021**). Les coumarines présentent un intérêt pharmacologique reconnu, notamment pour leurs propriétés antimicrobienne, anti-inflammatoire et anticoagulante, ce qui renforce la valeur biomédicinale de l'espèce (**Afrokh et al., 2024**).

La mise en évidence des mucilages en quantité modérée dans cette plante est cohérente avec son usage traditionnel dans le traitement des affections des voies respiratoires et des troubles digestifs dans les pays du Maghreb, usage documenté par **Afrokh et al.** (**2024**). Ces polysaccharides hydrophiles sont reconnus pour leurs propriétés émollientes et protectrices des muqueuses. La détection simultanée des composés réducteurs est en accord avec les données de **Jamila et al.** (**2020**), qui ont mis en évidence la présence de sucres réducteurs et de composés phénoliques à fonction réductrice dans les fractions hydro-alcooliques de cette espèce. Ces composés réducteurs participent directement aux propriétés antioxydantes de l'extrait, tel que l'ont démontré **Afrokh et al.** (**2023**) à travers les tests DPPH, ABTS et FRAP sur les extraits méthanoliques de la même plante.

Par ailleurs, **Tarasevičienė et al.** (**2019**), dans une étude comparative sur plusieurs espèces du genre *Mentha* cultivées en conditions biologiques, ont rapporté des teneurs en caroténoïdes nettement plus élevées (+++), une différence susceptible de s'expliquer par les conditions de culture contrôlées et le stade de floraison des plantes analysées, deux facteurs connus pour influencer l'accumulation de ces pigments lipophiles. En ce qui concerne les iridoïdes, leur faible teneur dans nos extraits aqueux ou hydroalcooliques est cohérente avec le caractère lipophile de ces monoterpènes cycliques, dont la solubilité est optimale dans des solvants organiques moins polaires.

L'absence totale d'anthocyanes et de leuco-anthocyanes dans nos extraits est un résultat attendu pour *M. suaveolens*, dont la coloration verte caractéristique des feuilles reflète l'absence ou la très faible concentration en pigments anthocyaniques. De même, l'absence des saponosides est en parfaite concordance avec les résultats d'**Afrokh et al** (**2023**), qui ont obtenu un indice de mousse inférieur à 100 pour les extraits aqueux de *M. suaveolens*, excluant ainsi la présence de saponines hémolytiques dans cette espèce. L'absence conjointe de triterpènes et de stérols dans nos extraits, confirmée également par les analyses rapportées par **Ajebli & Eddouks** (**2018**), s'explique par la faible affinité de ces composés lipophiles pour les solvants polaires. Des solvants tels que le chloroforme ou l'éther de pétrole seraient plus appropriés pour leur extraction, comme le rappellent **Aldogman et al.** (**2022**) dans le cadre de l'analyse des constituants non volatils de la même espèce.

L'absence des quinones libres et des glucosides cardiotoniques corrobore les données phytochimiques disponibles sur cette espèce (**Afrokh et al., 2023**, **2024**). Ces composés sont généralement associés à des espèces végétales d'autres familles botaniques. Leur non-détection chez *M. suaveolens* est un résultat récurrent dans la littérature et renforce la cohérence du profil

phytochimique de cette Lamiacée.

La diversité et la richesse du profil phytochimique ainsi révélé ne sont pas indépendantes du contexte environnemental dans lequel la plante a été récoltée. En effet, ces résultats trouvent une explication cohérente dans la nature même du climat de la wilaya de Skikda, tel qu'il a été caractérisé par les données climatiques établies précédemment. Les caractéristiques thermo-pluviométriques créent des conditions propices à l'accumulation des métabolites secondaires dans les tissus végétaux. La détection des polyphénols, des flavonoïdes, des coumarines et des composés réducteurs à des teneurs notables est ainsi en accord direct avec les conditions de stress hydrique modéré imposées par la sécheresse estivale, reconnues comme un facteur déclencheur de la biosynthèse des composés phénoliques (**Selmar & Kleinwächter, 2013**). De même, la présence de composés terpéniques s'explique par l'ensoleillement intense et prolongé caractéristique des mois estivaux dans cette région littorale, paramètre directement lié à l'activation de la production des huiles essentielles chez les Lamiacées (**Mansinhos et al., 2022**). Ces résultats sont donc en pleine concordance avec les données bioclimatiques locales et confirment que le profil métabolique de *M. suaveolens* récoltée dans la wilaya de Skikda reflète fidèlement les conditions environnementales de sa zone de collecte.

II.2.2. Dosage des polyphénols totaux

II.2.2.1. Rendement de l'extraction

Le rendement en huile essentielle obtenu par hydrodistillation à partir des parties aériennes de *M. suaveolens* est de 1.26 ± 0.2517 % M. S. (exprimé par rapport à la matière sèche). Ce résultat se situe dans une fourchette intermédiaire au regard des données disponibles dans la littérature pour cette même espèce.

En effet, les rendements en huile essentielle de *M. suaveolens* cultivée en Égypte, obtenus par hydrodistillation des parties aériennes fraîches, variaient selon la saison : 0,50 % en hiver, 0,52 % au printemps, 0,60 % en été et 0,47 % en automne (**El-Kashoury et al., 2012**). Notre valeur de 1 % dépasse ces rendements saisonniers, ce qui peut s'expliquer par les différences de conditions climatiques, de stade phénologique au moment de la récolte, ainsi que par les particularités de notre région d'étude, et de son climat, décrites précédemment.

Par ailleurs, Comparé aux autres espèces du genre Mentha, notre rendement de 1 % reste dans la variabilité naturelle de ce groupe. À l'échelle de la famille des Lamiacées, la variabilité des rendements est encore plus marquée. Le genre *Mentha* fait partie de la famille des

Lamiacées, qui s'est étendue sur presque tous les continents, et dont plusieurs espèces sont utilisées comme plantes médicinales et aromatiques. Au sein de cette famille, le rendement en huile essentielle représente généralement entre 0,5 et 8 % du poids sec de la plante, ce qui génère chaque année des centaines de milliers de tonnes de résidus de distillation. Notre rendement de 1 % s'inscrit donc dans la partie basse de cet intervalle, sans pour autant être atypique pour une espèce du genre *Mentha* (**Benjeddi et al., 2025**; **Pérez-Magariño et al., 2024**).

II.2.2.2. Teneur en polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux de l'huile essentielle de Mentha suaveolens, déterminée par la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu et exprimée en milligrammes équivalent acide gallique par gramme d'huile essentielle (mg EAG/g HE), est de 7,18 mg EAG/g HE. Cette teneur est en concordance directe avec les résultats du screening phytochimique qualitatif, la détection positive des phénols, des flavonoïdes et des tanins lors du screening justifie la valeur mesurée de 7,18 mg EAG/g, car ces deux familles de composés sont parmi les principaux contributeurs au signal de Folin-Ciocalteu.

La valeur de la contenance en polyphénols totaux obtenue reflète la présence de composés phénoliques au sein de l'huile essentielle de *M. suaveolens*, bien que les huiles essentielles soient par nature majoritairement constituées de composés volatils terpéniques peu polaires. Cette teneur, bien que modérée, n'est pas surprenante pour une espèce réputée pour sa richesse en métabolites secondaires bioactifs.

En comparaison, le dosage des polyphénols totaux réalisé sur l'huile essentielle de *Thymus capitatus*, une autre Lamiacée, a donné une teneur de 4,74 mg EAG/ml d'huile essentielle. Notre résultat (7,18 mg EAG/g) est supérieur à cette valeur, ce qui témoigne d'une richesse phénolique relativement plus élevée dans notre extrait, même si les unités d'expression diffèrent légèrement selon les études (**Ouadan et al., 2018**).

À l'échelle des extraits non volatils de la même espèce, les différences sont plus marquées. En effet, le dosage des composés phénoliques totaux réalisé sur l'extrait de Mentha suaveolens a donné une teneur de 54,75 ± 5,62 µg EAG/mg, avec également des taux élevés en flavonoïdes totaux (32,41 ± 0,41 µg EQ/mg) et en tanins condensés (27 ± 1 µg CE/mg). Ces valeurs, obtenues sur des extraits hydro-alcooliques, sont logiquement plus élevées que celles de notre huile essentielle, car les solvants polaires extraient davantage de composés phénoliques que la distillation à la vapeur (**Afrokh et al., 2023**).

De même, l'étude menée sur *Mentha suaveolens* du nord-est de l'Algérie a montré des teneurs significatives en polyphénols totaux, avec une valeur maximale de 32,16 mg EAG/g de matière sèche dans l'extrait méthanolique de tige, ainsi que des flavonoïdes à 7,69 mg CE/g dans l'extrait méthanolique de feuilles. Cette étude, réalisée sur des échantillons algériens proches de notre contexte géographique, confirme que notre espèce est une source reconnue de composés phénoliques, et que la valeur obtenue dans notre huile essentielle (7,18 mg EAG/g) est cohérente avec le potentiel phénolique général de cette plante (**Benabdallah et al., 2016**).

Conclusion

Cette étude a porté sur la caractérisation phytochimique et l'évaluation de l'activité cicatrisante de l'huile essentielle de *M. suaveolens*, une espèce de la famille des Lamiacées récoltée dans la région de Sidi Mezghiche, wilaya de Skikda, dans le nord-est de l'Algérie.

La caractérisation bioclimatique de la zone de récolte a révélé que la wilaya de Skikda appartient à l'étage subhumide à hiver doux, avec un quotient pluviothermique d'Emberger (Q2) de 1101.1, des précipitations annuelles de 860.6 mm et un régime thermique modéré. Ces conditions, alliant des hivers pluvieux propices au développement végétatif et des étés secs favorisant la biosynthèse des métabolites secondaires, constituent un terreau bioclimatique optimal pour la production de composés phytochimiques à potentiel bioactif élevé.

Le criblage phytochimique a mis en évidence un profil métabolique riche et diversifié. Les polyphénols ont été détectés en quantité importante (+++), accompagnés de flavonoïdes de type flavone (++), de coumarines (++), de mucilages (++), ainsi que de composés réducteurs (++). Des traces de caroténoïdes (+) et d'iridoïdes (+) ont également été relevées. En revanche, plusieurs familles de composés — anthocyanes, leuco-anthocyanes, saponosides, triterpènes, stérols, quinones libres, glucosides cardiotoniques et tétrahydrocannabinols — étaient absentes, confirmant l'innocuité neurologique et toxicologique de cette espèce.

L'extraction par hydrodistillation a permis d'obtenir un rendement en huile essentielle de 1,26 ± 0,25 % M.S., cohérent avec les valeurs documentées pour cette espèce dans la littérature. La teneur en polyphénols totaux de l'huile essentielle, déterminée par la méthode de Folin-Ciocalteu, s'est établie à 7,18 mg EAG/g HE, attestant d'une richesse phénolique significative, même au sein d'une fraction majoritairement terpénique.

Les résultats hématologiques ont confirmé cette tendance: la numération leucocytaire du groupe III était significativement plus basse que celle de tous les autres groupes à J20, indiquant une résolution plus rapide et plus complète de la réponse inflammatoire. Par ailleurs, le taux d'IgE sériques est demeuré inférieur à 1 UI/mL dans l'ensemble des groupes, attestant de l'absence de toute sensibilisation allergique de type I liée à la formulation testée.

L'analyse histologique à J20 a confirmé ces observations macroscopiques et biologiques: la coupe du groupe traité par l'huile essentielle présentait un épiderme pleinement différencié, une couche cornée épaisse et continue, ainsi que des faisceaux de collagène dermique denses et bien orientés, contrastant nettement avec l'architecture lésionnelle immature et désorganisée

observée dans le groupe témoin négatif.

En définitive, les propriétés cicatrisantes remarquables de l'huile essentielle de *M. suaveolens* reposent sur une action multifactorielle impliquant les propriétés anti-inflammatoires des flavonoïdes, l'action astringente et antiseptique des tanins, les effets antimicrobiens et antioxydants des constituants terpéniques ainsi que les propriétés émollientes de l'excipient lipidique. L'ensemble de ces résultats constitue une démonstration scientifique solide de la valeur thérapeutique de cette plante médicinale méditerranéenne, et soutient pleinement sa valorisation dans le domaine de la dermatologie naturelle.

Perspectives

Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail ouvrent de nombreuses pistes de recherche qui méritent d'être approfondies afin d'exploiter pleinement le potentiel thérapeutique de *M. suaveolens*.

Sur le plan phytochimique, il serait pertinent de procéder à une caractérisation moléculaire complète de l'huile essentielle par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), afin d'identifier et de quantifier l'ensemble des composés volatils, notamment le piperitenone oxide, et de corréler leur profil à l'activité biologique observée. De même, une analyse approfondie des extraits non volatils par HPLC-DAD ou LC-MS/MS permettrait d'identifier les polyphénols individuels — flavones, acides phénoliques, coumarines — responsables des effets anti-inflammatoires et antioxydants.

Du point de vue pharmacologique, plusieurs axes d'investigation complémentaires s'imposent:

- La quantification précise de l'activité antioxydante par des méthodes standardisées (DPPH, ABTS, FRAP, etc.) permettrait d'établir une relation dose-réponse et de relier les résultats biologiques aux teneurs en composés phénoliques mesurées.
- L'évaluation de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle vis-à-vis des principaux pathogènes des brûlures (Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus, Candida albicans) par des méthodes de dilution en bouillon ou de diffusion sur gélose renforcerait la base mécanistique des effets cicatrisants observés.
- L'exploration des voies moléculaires impliquées — notamment les voies NF-κB, TGF-β et PI3K/Akt — par des techniques d'immunohistochimie ou de Western blot permettrait d'élucider les mécanismes cellulaires sous-jacents à l'accélération de la cicatrisation.

- Une étude toxicologique aiguë et subaiguë de la formulation, incluant des tests de génotoxicité et des bilans biochimiques hépatiques et rénaux, renforcerait les données de sécurité préclinique déjà suggérées par les résultats IgE obtenus dans ce travail.

Sur le plan galénique et de la formulation, le développement de formes pharmaceutiques optimisées — gels hydrophiles, nanoemulsions, liposomes ou microparticules de biopolymères — permettrait d'améliorer la biodisponibilité et la stabilité des principes actifs au site lésionnel, tout en assurant une libération prolongée et contrôlée.

À plus long terme, la valorisation de *M. suaveolens* dans une démarche de pharmacologie durable nécessiterait d'explorer la variabilité intraspécifique de sa composition phytochimique selon les populations géographiques, les saisons de récolte et les pratiques de culture. La mise en place de protocoles de culture raisonnée ou d'agroforesterie permettrait de sécuriser l'approvisionnement en matière première de qualité constante, condition indispensable à une éventuelle standardisation de formulation à visée thérapeutique.

Enfin, à l'échelle clinique, le passage à des études sur des modèles animaux plus représentatifs des brûlures humaines, puis à des essais cliniques pilotes contrôlés, constituerait l'étape ultime de validation de cette formulation naturelle comme alternative ou complément aux traitements conventionnels des brûlures du second degré.

Bibliographie

Abe, I. (2007). Enzymatic synthesis of cyclic triterpenes. *Natural Product Reports*, *24*(6), 1311–1331. https://doi.org/10.1039/B616857B

Afrokh, M., Boumhara, K., Chatoui, K., Tahrouch, S., Hatimi, A., Harhar, H., & Tabyaoui, M. (2023). Phytochemical screening and in vitro antioxidant activities of Mentha suaveolens Ehrh. Extract. *International Journal of Secondary Metabolite*, *10*(3), 332–344. https://doi.org/10.21448/ijsm.1148664

Afrokh, M., Mehrach, K. E., Chatoui, K., Bihi, M. A., Sadki, H., Zarrouk, A., Tabyaoui, M., & Tahrouch, S. (2024). Quality criteria, chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of Mentha suaveolens Ehrh. *Heliyon*, *10*(7). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28125

Ahmadi, H., Farhadi, H., Morshedloo, M. R., & Maggi, F. (2023). Modeling and optimizing concentration of exogenous application of γ-aminobutyric acid on NaCl-stressed pineapple mint (Mentha suaveolens) using response surface methodology: An investigation into secondary metabolites and physiological parameters. *BMC Plant Biology*, *23*(1), 309. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04312-w

Ailane, L., & Bennadja, S. (2023). Impact of Mediterranean climate of northeast *Algeria* on the phytochemical composition and *in vitro* antiradical power of *Tropaeolum majus* L. *International Journal of Environmental Studies*, *80*(3), 716–732. https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2099112

Ailane, L., Djahoudi, A., & Bennadja, S. (2022, October). *COMPARATIVE STUDY EVALUATING PHYTOCHEMICAL SCREENING, FUNCTIONAL GROUPS ANALYSIS, AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF TROPAEOLUM MAJUS L. LEAVES, FLOWERS, AND FRUITS*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/364823465_COMPARATIVE_STUDY_EVALUATING_PHYTOCHEMICAL_SCREENING_FUNCTIONAL_GROUPS_ANALYSIS_AND_ANTIMICROBIAL_ACTIVITY_OF_TROPAEOLUM_MAJUS_L_LEAVES_FLOWERS_AND_FRUITS

Ainane, A., Khammour, F., Elkouali, M., Talbi, M., Abba, E. H., Cherroud, S., Elyaacoubi, A., Oumaskour, K., Boujaber, N., Benhar, S., & Ainane, T. (2018). Chemical Study by GC-MS of the Essential Oils of Certain Mints Grown In the Region of Settat (Morocco): Mentha piperita, *Mentha pulegium* and *Mentha spicata*. *Drug Designing & Intellectual Properties International Journal*, *1*(4), 1–4. https://lupinepublishers.com/index.php

Ajebli, M., & Eddouks, M. (2018). Pharmacological and Phytochemical Study of Mentha suaveolens Ehrh in Normal and Streptozotocin-induced Diabetic Rats. *The Natural Products Journal*, *8*(3), 213–227. https://doi.org/10.2174/2210315508666180327120434

Aldogman, B., Bilel, H., Moustafa, S. M. N., Elmassary, K. F., Ali, H. M., Alotaibi, F. Q., Hamza, M., Abdelgawad, M. A., & El-Ghorab, A. H. (2022a). Investigation of Chemical Compositions and Biological Activities of Mentha suaveolens L. from Saudi Arabia. *Molecules*, *27*(9), 2949. https://doi.org/10.3390/molecules27092949

Aldogman, B., Bilel, H., Moustafa, S. M. N., Elmassary, K. F., Ali, H. M., Alotaibi, F. Q., Hamza, M., Abdelgawad, M. A., & El-Ghorab, A. H. (2022b). Investigation of Chemical Compositions and Biological Activities of Mentha suaveolens L. from Saudi Arabia. *Molecules*, *27*(9), 2949. https://doi.org/10.3390/molecules27092949

Anwar, F., Abbas, A., Mehmood, T., Gilani, A.-H., & Rehman, N. (2019). Mentha: A genus rich in vital nutra-pharmaceuticals—A review. *Phytotherapy Research*, *33*(10), 2548–2570. https://doi.org/10.1002/ptr.6423

Ayaz, A., Zaman, W., Ullah, F., Saqib, S., Jamshed, S., Bahadur, S., Shakoor, A., & Arshad,

B. (2020). Systematics study through scanning electron microscopy; a tool for the authentication of herbal drug Mentha suaveolens Ehrh. *Microscopy Research and Technique*, *83*(1), 81–87. https://doi.org/10.1002/jemt.23391

Bagnouls, F. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. *Bull Soc His Nat Toulouse*, *88*, 193–239. https://cir.nii.ac.jp/crid/1571135651360067712

Beloued, A. (1998). *Plantes médicinales d'Algérie*. Office des publications universitaires.

Benabadji, N., & Bouazza, M. (2000). Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à Artemisia herba-alba Asso. Dans l'Oranie (Algérie occidentale). *Science et Changements Planétaires/Sécheresse*, *11*(2), 117–123. https://www.jle.com/en/revues/agro_biotech/sec/e-docs/00/03/82/7B/article.phtml

Benabdallah, A., Rahmoune, C., Boumendjel, M., Aissi, O., & Messaoud, C. (2016). Total phenolic content and antioxidant activity of six wild *Mentha* species (Lamiaceae) from northeast of Algeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *6*(9), 760–766. https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2016.06.016

Benjeddi, A., Bouhnik, O., Chaddad, Z., Gaboun, F., Khamar, H., Yadini, M. E., Idrissi, M. M. E., Bakhy, K., & Abdelmoumen, H. (2025). Chemical diversity in Mentha genus: GC-MS Profiling of essential Oils, polyphenol content analysis, and biological activity of Extracts. *Moroccan Journal of Chemistry*, *13*(3), J. Chem. 13(3)-1316. https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v13i3.53114

Bergman, M. E., Kortbeek, R. W. J., Gutensohn, M., & Dudareva, N. (2024). Plant terpenoid biosynthetic network and its multiple layers of regulation. *Progress in Lipid Research*, *95*, 101287. https://doi.org/10.1016/j.plipres.2024.101287

Bouyahya, A., Belmehdi, O., Abrini, J., Dakka, N., & Bakri, Y. (2019). Chemical composition of Mentha suaveolens and Pinus halepensis essential oils and their antibacterial and antioxidant activities. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, *12*(3), 117. https://doi.org/10.4103/1995-7645.254937

Bouymajane, A., Filali, F. R., El Majdoub, Y. O., Ouadik, M., Abdelilah, R., Cavò, E., Miceli, N., Taviano, M. F., Mondello, L., & Cacciola, F. (2022a). Phenolic Compounds, Antioxidant and Antibacterial Activities of Extracts from Aerial Parts of Thymus zygis subsp. Gracilis, Mentha suaveolens and Sideritis incana from Morocco. *Chemistry & Biodiversity*, *19*(3), e202101018. https://doi.org/10.1002/cbdv.202101018

Bouymajane, A., Filali, F. R., El Majdoub, Y. O., Ouadik, M., Abdelilah, R., Cavò, E., Miceli, N., Taviano, M. F., Mondello, L., & Cacciola, F. (2022b). Phenolic Compounds, Antioxidant and Antibacterial Activities of Extracts from Aerial Parts of Thymus zygis subsp. Gracilis, Mentha suaveolens and Sideritis incana from Morocco. *Chemistry & Biodiversity*, *19*(3), e202101018. https://doi.org/10.1002/cbdv.202101018

Bouymajane, A., Filali, F. R., El Majdoub, Y. O., Ouadik, M., Abdelilah, R., Cavò, E., Miceli, N., Taviano, M. F., Mondello, L., & Cacciola, F. (2022c). Phenolic Compounds, Antioxidant and Antibacterial Activities of Extracts from Aerial Parts of Thymus zygis subsp. Gracilis, Mentha suaveolens and Sideritis incana from Morocco. *Chemistry & Biodiversity*, *19*(3), e202101018. https://doi.org/10.1002/cbdv.202101018

Božović, M., Pirolli, A., & Ragno, R. (2015). Mentha suaveolens Ehrh. (Lamiaceae) Essential Oil and Its Main Constituent Piperitenone Oxide: Biological Activities and Chemistry. *Molecules*, *20*(5), 8605–8633. https://doi.org/10.3390/molecules20058605

Cai, Y., Jia, J.-W., Crock, J., Lin, Z.-X., Chen, X.-Y., & Croteau, R. (2002). A cDNA clone for β-caryophyllene synthase from *Artemisia annua*. *Phytochemistry*, *61*(5), 523–529. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00265-0

Câmara, J. S., Perestrelo, R., Ferreira, R., Berenguer, C. V., Pereira, J. A. M., & Castilho, P. C. (2024). Plant-Derived Terpenoids: A Plethora of Bioactive Compounds with Several Health Functions and Industrial Applications—A Comprehensive Overview.

Molecules, *29*(16), 3861. https://doi.org/10.3390/molecules29163861

Carović-Stanko, K., Petek, M., Grdiša, M., Pintar, J., Bedeković, D., Herak Ćustić, M., & Satovic, Z. (2016). Medicinal plants of the family Lamiaceae as functional foods—A review. *Czech Journal of Food Sciences*, *34*(5), 377–390. https://doi.org/10.17221/504/2015-CJFS

Ćavar Zeljković, S., Šišková, J., Komzáková, K., De Diego, N., Kaffková, K., & Tarkowski, P. (2021a). Phenolic Compounds and Biological Activity of Selected Mentha Species. *Plants*, *10*(3), 550. https://doi.org/10.3390/plants10030550

Ćavar Zeljković, S., Šišková, J., Komzáková, K., De Diego, N., Kaffková, K., & Tarkowski, P. (2021b). Phenolic Compounds and Biological Activity of Selected Mentha Species. *Plants*, *10*(3), 550. https://doi.org/10.3390/plants10030550

Chater, O., Aazza, S., & Ghadraoui, L. E. (2025). Total Phenolic, Total Flavonoid Contents and Biological Activities of Mentha Suaveolens subsp. Timija Crude Extracts. *Majalah Obat Tradisional*, *30*(2), 209–222. https://doi.org/10.22146/mot.96092

Chen, S., Wang, X., Cheng, Y., Gao, H., & Chen, X. (2023). A Review of Classification, Biosynthesis, Biological Activities and Potential Applications of Flavonoids. *Molecules*, *28*(13), 4982. https://doi.org/10.3390/molecules28134982

Cosme, F., Aires, A., Pinto, T., Oliveira, I., Vilela, A., & Gonçalves, B. (2025). A Comprehensive Review of Bioactive Tannins in Foods and Beverages: Functional Properties, Health Benefits, and Sensory Qualities. *Molecules*, *30*(4), 800. https://doi.org/10.3390/molecules30040800

Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, *24*, 1250–1319. https://www.researchgate.net/profile/Waqas-Kayani/post/Identify-the-type-of-secondary-metabolites/attachment/59d631e279197b807798fa5c/AS%3A368050181296128%401464761409185/download/Natural+products-secondary+metabolites.pdf

Dahham, S. S., Tabana, Y. M., Iqbal, M. A., Ahamed, M. B. K., Ezzat, M. O., Majid, A. S. A., & Majid, A. M. S. A. (2015). The Anticancer, Antioxidant and Antimicrobial Properties of the Sesquiterpene β-Caryophyllene from the Essential Oil of Aquilaria crassna. *Molecules*, *20*(7), 11808–11829. https://doi.org/10.3390/molecules200711808

Dar, N. A., Qadir, M., Wani, S. A., & Shah, W. A. (2025a). Chemical profile, antituberculosis, DSC, and molecular docking studies of *Mentha longifolia* essential oil. *Natural Product Research*, *39*(16), 4775–4781. https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2337114

Dar, N. A., Qadir, M., Wani, S. A., & Shah, W. A. (2025b). Chemical profile, antituberculosis, DSC, and molecular docking studies of Mentha longifolia essential oil. *Natural Product Research*, *39*(16), 4775–4781. https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2337114

Djebaili, S. (1984). *Steppe algérienne phytosociologie et écologie*. Office des publications universitaires.

Dudareva, N., Klempien, A., Muhlemann, J. K., & Kaplan, I. (2013). Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. *New Phytologist*, *198*(1), 16–32. https://doi.org/10.1111/nph.12145

El Hachlafi, N., Benkhaira, N., Al-Mijalli, S. H., Mrabti, H. N., Abdnim, R., Abdallah, E. M., Jeddi, M., Bnouham, M., Lee, L.-H., Ardianto, C., Ming, L. C., Bouyahya, A., & Fikri-Benbrahim, K. (2023). Phytochemical analysis and evaluation of antimicrobial, antioxidant, and antidiabetic activities of essential oils from Moroccan medicinal plants: *Mentha suaveolens, Lavandula stoechas, and Ammi visnaga*. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *164*, 114937. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.114937

El Hassani, F. Z. (2020). Characterization, activities, and ethnobotanical uses of Mentha species in Morocco. *Heliyon*, *6*(11), e05480.

https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05480
El-Kashoury, E.-S. A., El-Askary, H. I., Kandil, Z. A., & Salem, M. A. (2013). Botanical and genetic characterization of *Mentha suaveolens* Ehrh. Cultivated in Egypt. *Pharmacognosy Journal*, *5*(5), 228–237. https://doi.org/10.1016/j.phcgj.2013.10.002
El-Kashoury, E.-S. A., El-Askary, H. I., Kandil, Z. A., Salem, M. A., & Sleem, A. A. (2012). Chemical composition and biological activities of the essential oil of Mentha suaveolens Ehrh. *Zeitschrift Fur Naturforschung. C, Journal of Biosciences*, *67*(11–12), 571–579. https://doi.org/10.1515/znc-2012-11-1207
El-Saadony, M. T., Yang, T., Saad, A. M., Alkafaas, S. S., Elkafas, S. S., Eldeeb, G. S., Mohammed, D. M., Salem, H. M., Korma, S. A., Loutfy, S. A., Alshahran, M. Y., Ahmed, A. E., Mosa, W. F. A., Abd El-Mageed, T. A., Ahmed, A. F., Fahmy, M. A., El-Tarabily, M. K., Mahmoud, R. M., AbuQamar, S. F., … Lorenzo, J. M. (2024). Polyphenols: Chemistry, bioavailability, bioactivity, nutritional aspects and human health benefits: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *277*, 134223. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134223
Emberger, L. (1955). *Une classification biogéographique des climats*.
Fidyt, K., Fiedorowicz, A., Strządała, L., & Szumny, A. (2016). β-caryophyllene and β-caryophyllene oxide—Natural compounds of anticancer and analgesic properties. *Cancer Medicine*, *5*(10), 3007–3017. https://doi.org/10.1002/cam4.816
Hassani, F. Z. E. (2020). Characterization, activities, and ethnobotanical uses of Mentha species in Morocco. *Heliyon*, *6*(11). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05480
Heylen, O. C. G., Debortoli, N., Marescaux, J., & Olofsson, J. K. (2021). A Revised Phylogeny of the Mentha spicata Clade Reveals Cryptic Species. *Plants*, *10*(4), 819. https://doi.org/10.3390/plants10040819
Hould, R. (1998). *Techniques d'histopathologie et de cytopathologie*. Centre collégial de développement de matériel didactique; Cégep de ….
Hudz, N., Kobylinska, L., Pokajewicz, K., Horčinová Sedláčková, V., Fedin, R., Voloshyn, M., Myskiv, I., Brindza, J., Wieczorek, P. P., & Lipok, J. (2023). Mentha piperita: Essential Oil and Extracts, Their Biological Activities, and Perspectives on the Development of New Medicinal and Cosmetic Products. *Molecules*, *28*(21), 7444. https://doi.org/10.3390/molecules28217444
Isah, T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research*, *52*(1), 39. https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3
Jamila, E.-A., Alae, C., Abdelali, T., Abdelatif, B., & Rachid, B. (2020). Underlying Mechanisms of Anti-spasmodic, Antidiarrheal, Antioxidant and Acute Toxicity Assessments of Aqueous Extract of Mentha Suaveolens Ehrh and its Fourier Transform Infra-red Spectroscopy Analysis. *European Journal of Medicinal Plants*, 37–54. https://doi.org/10.9734/ejmp/2020/v31i1830342
Kleinwächter, M., & Selmar, D. (2015). New insights explain that drought stress enhances the quality of spice and medicinal plants: Potential applications. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(1), 121–131. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0260-3
Koliopoulos, G., Pitarokili, D., Kioulos, E., Michaelakis, A., & Tzakou, O. (2010). Chemical composition and larvicidal evaluation of Mentha, Salvia, and Melissa essential oils against the West Nile virus mosquito Culex pipiens. *Parasitology Research*, *107*(2), 327–335. https://doi.org/10.1007/s00436-010-1865-3
Llorens-Molina, J. A., Rivera Seclén, C. F., Vacas Gonzalez, S., & Boira Tortajada, H. (2017). Mentha suaveolens Ehrh. Chemotypes in Eastern Iberian Peninsula: Essential Oil Variation and Relation with Ecological Factors. *Chemistry & Biodiversity*, *14*(12), e1700320. https://doi.org/10.1002/cbdv.201700320
Magdy, M., Alwutayd, K. M., Mansour, H., Alamri, A. M., Alshamrani, S. M., Al Aboud, N.

M., & Abdel Moneim, D. (2025a). The complete chloroplast genome of Mentha suaveolens Ehrh. And comparative analysis of six Mentha taxa (Lamiaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution*, *72*(7), 8547–8565. https://doi.org/10.1007/s10722-025-02456-2

Magdy, M., Alwutayd, K. M., Mansour, H., Alamri, A. M., Alshamrani, S. M., Al Aboud, N. M., & Abdel Moneim, D. (2025b). The complete chloroplast genome of Mentha suaveolens Ehrh. And comparative analysis of six Mentha taxa (Lamiaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution*, *72*(7), 8547–8565. https://doi.org/10.1007/s10722-025-02456-2

Mansinhos, I., Gonçalves, S., Rodríguez-Solana, R., Ordóñez-Díaz, J. L., Moreno-Rojas, J. M., & Romano, A. (2022). Impact of temperature on phenolic and osmolyte contents in in vitro cultures and micropropagated plants of two mediterranean plant species, Lavandula viridis and Thymus lotocephalus. *Plants*, *11*(24), 3516. https://www.mdpi.com/2223-7747/11/24/3516

Medjerab, A., & Henia, L. (2005). Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nord-occidentale. *Revue Géographique de l'Est*, *45*(2). https://doi.org/10.4000/rge.501

Météo Algérie. (n.d.). Retrieved 23 December 2025, from https://www.meteo.dz/home

Mnich, E., Bjarnholt, N., Eudes, A., Harholt, J., Holland, C., Jørgensen, B., Larsen, F. H., Liu, M., Manat, R., Meyer, A. S., Mikkelsen, J. D., Motawia, M. S., Muschiol, J., Møller, B. L., Møller, S. R., Perzon, A., Petersen, B. L., Ravn, J. L., & Ulvskov, P. (2020). Phenolic cross-links: Building and de-constructing the plant cell wall. *Natural Product Reports*, *37*(7), 919–961. https://doi.org/10.1039/C9NP00028C

Moreno, L., Bello, R., Primo-Yúfera, E., & Esplugues, J. (2002). Pharmacological properties of the methanol extract from Mentha suaveolens Ehrh. *Phytotherapy Research*, *16*(S1), 10–13. https://doi.org/10.1002/ptr.744

Ouadan, L., Mahjoubi, M., Zair, T., & Alistiqsa, F. (2018). Étude phytochimique et ethnobotanique, dosage des polyphenols totaux de l'huile essentielle et des extraits du Thymus capitatus. *J. Natl. Sur La Chim*, 57–62. https://www.researchgate.net/profile/Lamiae-Ouadan/publication/337840220_Etude_phytochimique_et_ethnobotanique_dosage_des_polyphenols_totaux_de_l'huile_essentielle_et_des_extraits_du_thymus_capitatus/links/5dee5f27299bf10bc34e986d/Etude-phytochimique-et-ethnobotanique-dosage-des-polyphenols-totaux-de-lhuile-essentielle-et-des-extraits-du-thymus-capitatus.pdf

Pérez-Magariño, S., Bueno-Herrera, M., & Asensio-S.-Manzanera, M. C. (2024). Characterization of Bioactive Phenolic Compounds Extracted from Hydro-Distillation By-Products of Spanish Lamiaceae Plants. *Molecules*, *29*(22), 5285. https://doi.org/10.3390/molecules29225285

Puig, C. G., Álvarez-Iglesias, L., Pardo-Muras, M., Andrade, P. B., & Pedrol, N. (2023). Mentha suaveolens as Allelopathic Biomass for Weed Control: Phenolics, Organic Acids, and Volatile Organic Compounds Profiles. *Agronomy*, *13*(11), 2793. https://doi.org/10.3390/agronomy13112793

Qaderi, M. M., Martel, A. B., & Strugnell, C. A. (2023). Environmental Factors Regulate Plant Secondary Metabolites. *Plants*, *12*(3), 447. https://doi.org/10.3390/plants12030447

Quézel, P., & Santa, S. (1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II*. Eds. du Centre Nat. de la Recherche Scientifique.

Rao, M. J., & Zheng, B. (2025). The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Tolerance and Their Antioxidant Properties to Scavenge Reactive Oxygen Species and Free Radicals. *Antioxidants*, *14*(1), 74. https://doi.org/10.3390/antiox14010074

Rehman, R., Hanif, M. A., Mushtaq, Z., & Al-Sadi, A. M. (2016). Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: A review. *Food Reviews International*, *32*(2), 117–160.

https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1057841

Ribéreau-Gayon, P., & Gautheret, R. J. (1968). Les composes phenoliques des végétaux. Dunod, Paris. *Francia*.

Sakhraoui, N., Boussouak, R., Metallaoui, S., Chefrour, A., & Hadef, A. (2020). La flore endémique du Nord-Est algérien face à la menace des espèces envahissantes. *Acta Botanica Malacitana*, *45*, 67–79. https://revistas.uma.es/index.php/abm/article/view/6138

Salehi, B., Stojanović-Radić, Z., Matejić, J., Sharopov, F., Antolak, H., Kręgiel, D., Sen, S., Sharifi-Rad, M., Acharya, K., Sharifi-Rad, R., Martorell, M., Sureda, A., Martins, N., & Sharifi-Rad, J. (2018). Plants of Genus Mentha: From Farm to Food Factory. *Plants*, *7*(3), 70. https://doi.org/10.3390/plants7030070

Saqib, S., Ullah, F., Naeem, M., Younas, M., Ayaz, A., Ali, S., & Zaman, W. (2022). Mentha: Nutritional and Health Attributes to Treat Various Ailments Including Cardiovascular Diseases. *Molecules*, *27*(19), 6728. https://doi.org/10.3390/molecules27196728

Selmar, D., & Kleinwächter, M. (2013). Stress enhances the synthesis of secondary plant products: The impact of stress-related over-reduction on the accumulation of natural products. *Plant and Cell Physiology*, *54*(6), 817–826. https://academic.oup.com/pcp/article-abstract/54/6/817/1839572

Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress. *Molecules*, *24*(13), 2452. https://doi.org/10.3390/molecules24132452

Sharma, S. K., Baliyan, P., & Alam, A. (2025). Bioactive Compounds in Lamiaceae, Ranunculaceae, and Zingiberaceae: A Review of Healing Potential. *Trends in Biological Sciences*, *1*(1), 12–25. https://doi.org/10.21124/tbs.2025.12.25

Singh, P., & Pandey, A. K. (2018a). Prospective of Essential Oils of the Genus Mentha as Biopesticides: A Review. *Frontiers in Plant Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01295

Singh, P., & Pandey, A. K. (2018b). Prospective of Essential Oils of the Genus Mentha as Biopesticides: A Review. *Frontiers in Plant Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01295

Singleton, V. L., & Rossi Jr, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144–158. https://www.ajevonline.org/content/16/3/144.short

Tadić, V., Božović, M., Sapienza, F., Astolfi, R., Mladenović, M., Zaka, M. C., Del Bove, F., Borzacchi, F., Fraschetti, C., Rossi, C., Vertuani, S., Baldisserotto, A., Manfredini, S., & Ragno, R. (2023). Chemical Composition and Anti-Candida Activity of Mentha suaveolens Ehrh. Essential Oils Obtained by Different Distillation Processes. *Molecules*, *28*(19), 6934. https://doi.org/10.3390/molecules28196934

Tafrihi, M., Imran, M., Tufail, T., Gondal, T. A., Caruso, G., Sharma, S., Sharma, R., Atanassova, M., Atanassov, L., & Valere Tsouh Fokou, P. (2021). The wonderful activities of the genus Mentha: Not only antioxidant properties. *Molecules*, *26*(4), 1118. https://www.mdpi.com/1420-3049/26/4/1118

Tang, H.-P., Zhu, E.-L., Bai, Q.-X., Wang, S., Wang, Z.-B., Wang, M., & Kuang, H.-X. (2024). Mentha haplocalyx Briq. (Mint): A comprehensive review on the botany, traditional uses, nutritional value, phytochemistry, health benefits, and applications. *Chinese Medicine*, *19*(1), 168. https://doi.org/10.1186/s13020-024-01037-2

Tarasevičienė, Ž., Velička, A., Jarienė, E., Paulauskienė, A., Kieltyka-Dadasiewicz, A., Sawicka, B., & Gajewski, M. (2019). Comparison of chemical composition and colour parameters of different Mentha genus plants grown under organic conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *47*(1), 92–99.

https://mail.notulaebotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/11211

Tavaszi-Sárosi, S., Sfaxi, A., Juhász, Á., Radácsi, P., & Patonay, K. (2026). Chemical and biological properties of Mentha × villosa Huds. (Mojito mint) and its parental species—Mentha spicata L. (spearmint) and Mentha suaveloens Ehrh. (Apple mint)—A review. *Phytochemistry Reviews*, *25*(3), 2065–2116. https://doi.org/10.1007/s11101-025-10136-3

Tetali, S. D. (2019). Terpenes and isoprenoids: A wealth of compounds for global use. *Planta*, *249*(1), 1–8. https://doi.org/10.1007/s00425-018-3056-x

Vining, K. J., Hummer, K. E., Bassil, N. V., Lange, B. M., Khoury, C. K., & Carver, D. (2020). Crop Wild Relatives as Germplasm Resource for Cultivar Improvement in Mint (Mentha L.). *Frontiers in Plant Science*, *11*. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01217

Wang, T., Li, Q., & Bi, K. (2018). Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, *13*(1), 12–23. https://doi.org/10.1016/j.ajps.2017.08.004

Yang, H., Wang, C., Zhou, G., Zhang, Y., He, T., Yang, L., Wu, Y., Wang, Z., Tang, X., Chen, G., Liu, Z., Tang, H., Zhou, H., Kang, X., Zhang, S., Leng, L., Chen, S., & Song, C. (2024). A haplotype-resolved gap-free genome assembly provides novel insight into monoterpenoid diversification in *Mentha suaveolens ‘* Variegata’. *Horticulture Research*, *11*(3), uhae022. https://doi.org/10.1093/hr/uhae022

Zekri, N., Elazzouzi, H., Ailli, A., Gouruch, A. A., Radi, F. Z., El Belghiti, M. A., Zair, T., Nieto, G., Centeno, J. A., & Lorenzo, J. M. (2023). Physicochemical Characterization and Antioxidant Properties of Essential Oils of M. pulegium (L.), M. suaveolens (Ehrh.) and M. spicata (L.) from Moroccan Middle-Atlas. *Foods*, *12*(4), 760. https://doi.org/10.3390/foods12040760

Zerkani, H., Tagnaoute, I., Zerkani, S., Radi, F., Amine, S., Cherrat, A., Drioiche, A., Zine, N.-E., Benhlima, N., & Zair, T. (2021). Study of the Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of the Essential Oil of *Mentha suaveolens* Ehrh from Morocco. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *24*(2), 243–253. https://doi.org/10.1080/0972060X.2021.1891143

Zhuang, W.-B., Li, Y.-H., Shu, X.-C., Pu, Y.-T., Wang, X.-J., Wang, T., & Wang, Z. (2023). The Classification, Molecular Structure and Biological Biosynthesis of Flavonoids, and Their Roles in Biotic and Abiotic Stresses. *Molecules*, *28*(8), 3599. https://doi.org/10.3390/molecules28083599