République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master dans le domaine SNV

Filière Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliqué

Thème :

Composition dermocosmétique régulatrice du microbiome capillaire et stimulatrice de la folliculogénèse pour le traitement des mycoses du cuir chevelu

Présenté par :

CHAKHAR Iman &BOUTERAA Djihane&BOUKHIL Fareh

Devant le jury composé de :

Président	**Dr MELLAL HANANE**	**Univ, Abbes Laghrour_Khenchela**
Encadrant	**Dr BOUHALIT Samira**	**Univ, Abbes Laghrour_Khenchela**
Examinateur	**Dr MAAMER Hichem**	**Univ, Abbes Laghrour_Khenchela**
Représentant de CATI	**Dr SLATNIA NADJIBA**	
Représentant économique	**MOUKDAD Saad**	

Année universitaire 2025/2026

Remerciements :

Avant tout, nous rendons grâce à Dieu, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la santé, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadrante, Madame Bouhalit Samira, pour son accompagnement précieux, ses conseils avisés, sa disponibilité et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons également nos vifs remerciements aux membres du jury qui nous font l'honneur d'évaluer ce travail. Nous leur sommes reconnaissants pour le temps qu'ils ont bien voulu consacrer à l'examen de ce mémoire ainsi que pour leurs remarques et suggestions enrichissantes.

Nous exprimons aussi notre reconnaissance envers les experts des laboratoires pour leur aide précieuse, leur encadrement technique et leur contribution significative à la concrétisation de cette étude.

Nos remerciements s'étendent à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce travail, même par un geste simple ou un encouragement, et qui ont contribué, chacun à sa manière, à son aboutissement.

Enfin, nous ne saurions oublier d'exprimer notre gratitude envers nos proches pour leur soutien moral et leur patience tout au long de cette période.

Merci à tous

Dédicace :

*Je me dédie ce travail à **moi-même**, pour ne pas avoir abandonné et pour avoir continué à avancer malgré toutes les difficultés, jusqu'à atteindre ce but.*

*À **mes chers parents**, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et surtout pour la confiance qu'ils m'ont toujours accordée. Vous avez été ma force et ma motivation tout au long de ce parcours.*

*À **ma deuxième mère**, qui a toujours été mon soutien indéfectible, présente dans les moments les plus difficiles comme dans les plus beaux. Merci pour ton amour et ta bienveillance sans limite.*

*À mes chères sœurs : **Bouchra, Aya et Hanine,** pour leur présence, leur affection et les moments partagés qui ont illuminé mon chemin.*

*À toute **ma famille**, qui m'a entourée d'amour, de soutien moral et matériel, et qui a toujours cru en moi.*

*À mes camarades de travail, **Djihane et Fareh**, avec qui j'ai eu le plaisir de collaborer. Merci pour votre esprit d'équipe, votre sérieux et cette belle expérience partagée.*

*À mes chères amies : **Chaïma Bouhalala, Chaïma Bouzahzah, Insaf, Seyda , Oumaima et Lina,** pour leur amitié sincère, leur soutien et tous les moments inoubliables.*

*À mes **camarades d'études**, avec qui j'ai partagé une partie de ce parcours, entre efforts, défis et souvenirs.*

À toutes les personnes qui m'aiment et me respectent, et à qui je rends cet amour en retour.

Imane

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail avec tout l'amour, l'estime et la gratitude à Dieu Tout-Puissant, qui a éclairé mon chemin et m'a donné la force, la patience et la détermination nécessaires pour accomplir ce parcours scientifique.

Je le dédie également à ***moi-même****, pour tout ce que j'ai vécu comme fatigue, difficultés et défis, et pour ne pas avoir abandonné malgré les pressions, en continuant jusqu'à atteindre ce moment.*

À ***ma chère famille,*** *qui a eu un grand mérite après Dieu dans cette réussite et qui a été mon véritable soutien à chaque étape de ma vie : À* ***ma chère mère Hakima,*** *source de tendresse et de force, qui ne m'a jamais privée de prières, de soutien et d'amour. Je te remercie pour tous tes sacrifices. Que Dieu te protège et prolonge ta vie. À* ***mon cher père Ali,*** *mon soutien, ma fierté et la sécurité de ma vie. Merci pour ton soutien constant, ta confiance en moi et tout ce que tu as fait pour que j'atteigne ce niveau. À* ***mon frère Omar****, un véritable soutien dans ma vie, présent dans les moments de faiblesse comme de force.*

À ***mes sœurs Romaysa, Houyam et Rayan****, vous êtes une partie de mon âme et de mon cœur. Vous m'avez accompagnée dans les plus beaux comme les plus difficiles moments, et avez toujours été une source d'amour et de soutien.*

À ***mes collègues Imane et Fareh****, qui m'ont accompagnée dans ce projet et m'ont soutenue par leur coopération et leur aide.*

À ***mes amies Chourouk et Ibtihal****, pour leur amitié sincère et leur soutien précieux qui ont rendu ce parcours plus léger et plus agréable.*

Enfin, je dédie ce travail comme le fruit de plusieurs années d'efforts et de persévérance, et je demande à Dieu le succès et la réussite dans la suite de ma vie.

Djihane

Dédicace :

À ma petite moi, *pour tout ce que j'ai traversé, pour ma persévérance face aux défis et pour n'avoir jamais abandonné malgré les pressions. Ce moment est ma plus belle victoire.*

À ma reine, ma source de tendresse et de force ***: Ma chère mère Alima****. Merci pour tes prières infinies, tes sacrifices et ton amour inconditionnel. Tu es le secret de ma réussite. Que Dieu te protège.*

À mon modèle, ma fierté et mon premier soutien : ***Mon cher père Abdelkader****. Merci pour ta confiance et tes encouragements constants. J'espère que ce travail sera à la hauteur de tes espérances.*

À ***mon frère Hamza****, mon bouclier et mon complice de toujours. Merci d'avoir été mon soutien indéfectible et d'avoir veillé sur moi dans chaque moment de faiblesse.*

À mes princesses, mes confidentes et ***mes chères sœurs Naama et Rayen****. Vous êtes une partie de mon âme et votre amour a rendu ce chemin plus beau.*

Sans oublier mes collègues, ***Imane et Djihane****, pour leur soutien moral, leur patience et leur compréhension tout au long de ce projet.*

À mes amies, ***Rim et Rihem****, qui partagent avec moi les moments magnifiques et qui me font sentir le goût de la vie.*

Enfin, je dédie ce travail à toutes les leçons que j'ai apprises et à chaque obstacle qui m'a fait grandir. Que ce succès soit le reflet d'un nouveau départ et le prélude d'une vie pleine de promesses.

Fareh

Résumé

Ce travail consiste à concevoir, formuler et caractériser un sérum topique capillaire à base d'huile essentielle de *Myrtus communis* L., destiné à une approche naturelle de la prise en charge du cuir chevelu. Une formulation stable sous forme d'émulsion lipidique structurée (NLC) a été élaborée, intégrant des huiles végétales porteuses (jojoba, argan, ricin), des émulsifiants non ioniques, des co-émulsifiants et des lipides structurants. La formulation incorpore des prébiotiques pour moduler le microbiome du cuir chevelu et des extraits végétaux (*Centella asiatica, Rosmarinus officinalis*) pour potentialiser la voie Wnt et soutenir la régénération folliculaire. Un conservateur naturel assure la stabilité microbiologique. Le produit est conditionné en flacon compte-gouttes en verre teinté de 30 mL, permettant un dosage précis (3–5 gouttes) et une protection contre la photo-oxydation. Les études de stabilité (accélérée et temps réel) ont permis de fixer une durée de conservation de 24 mois à 15–25 °C, à l'abri de la lumière et de l'humidité. L'application recommandée est topique capillaire, deux fois par jour. Ce sérum représente une alternative naturelle, stable et efficace aux traitements conventionnels pour la santé du cuir chevelu.

Mots clés : *Myrtus communis* L., huile essentielle, sérum capillaire, nanostructures lipidiques (NLC), prébiotiques, facteur de croissance végétal, voie Wnt, microbiome du cuir chevelu, formulation cosmétique, stabilité, acné capillaire, chute de cheveux.

Abstract

This work consists in designing, formulating, and characterizing a topical capillary serum based on *Myrtus communis* L. essential oil, intended for a natural approach to scalp care, notably capillary acne and hair loss. A stable formulation in the form of structured lipid emulsion was developed, incorporating carrier vegetable oils such as jojoba, argan, and castor, non-ionic emulsifiers, co-emulsifiers, and structuring lipids including stearic acid, shea butter, and beeswax. The formulation includes prebiotics such as inulin and fructo-oligosaccharides to modulate the scalp microbiome and plant extracts including *Centella asiatica* and *Rosmarinus officinalis* to potentiate the Wnt pathway and support follicular regeneration. A natural preservative ensures microbiological stability. The product is packaged in a 30 mL tinted glass dropper bottle, allowing precise dosing of 3 to 5 drops and protection against photo-oxidation. Stability studies established a shelf life of 24 months at 15 to 25 °C, protected from light and humidity. The recommended application is topical on the scalp, twice daily. This serum represents a natural, stable, and effective alternative to conventional treatments for scalp health.
Keywords: *Myrtus communis* L., essential oil, capillary serum, lipid nanostructures, prebiotics, plant growth factor, Wnt pathway, scalp microbiome, cosmetic formulation, stability, capillary acne, hair loss.

الملخص

يتلخّص هذا العمل في تصميم وتحضير وتوصيف مصل موضعي للشعر يعتمد على الزيت العطري لـ *Myrtus communis* L.، بهدف اتباع نهج طبيعي للعناية بفروة الرأس. تمّ تحضير تركيبة مستقرة على شكل مستحلب دهني منظم (NLC)، يشمل زيوتًا نباتية حاملة (جوجوبا، أرغان، خردل)، وعوامل استحلاب غير أيونية، ومُستحلبات ثانوية، ودهونًا هيكلية. تتضمن التركيبة بروبيوتيك لتنظيم ميكروبيوم فروة الرأس، ومستخلصات نباتية (*Centella asiatica, Rosmarinus officinalis*) لتعزيز مسار Wnt ودعم تجدد البصيلات. يضمن مادة حافظة طبيعية الاستقرار الميكروبيولوجي. يُعبّأ المنتج في زجاجة زجاجية ملونة بسعة 30 مل مزودة بقطّارة، مما يسمح بجرعة دقيقة (3–5 قطرات) ويحمي من الأكسدة الضوئية. أثبتت دراسات الاستقرار (المعجّلة والزمن الحقيقي) عمرًا تخزينيًا يبلغ 24 شهرًا عند 15–25°C ، بعيدًا عن الضوء والرطوبة. التوصية بالاستخدام هي تطبيق موضعي على فروة الرأس مرتين يوميًا. يُمثّل هذا المصل بديلًا طبيعيًا ومستقرًا وفعالًا للعلاجات التقليدية لصحة فروة الرأس.

الكلمات المفتاحية *Myrtus communis* L. **:** زيت عطري، مصل شعري، هياكل دهنية نانوية (NLC)، بريبايوتيك، عامل نمو نباتي، مسار Wnt، ميكروبيوم فروة الرأس، تركيبة تجميلية، استقرار، حبّ الشعر، تساقط الشعر.

Table des matières :

Remerciements : I
Dédicace : II
Résumé V
Abstract VI
الملخص VII
Liste des figures : X
Liste des tableaux : XII
Liste des abréviations : XIV
Introduction 1
Chapitre 1 : Matériels et méthodes 5
1 Matériel 5
1.1 Matériel végétal 5
1.2 Matériel biologique 6
1.3 Méthode 7
1.3.1 Préparation du matériel végétal 7
1.3.2 Extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation 7
1.3.3 Détermination et calcul du rendement 8
1.3.4 Screening phytochimique 9
1.3.5 Tests phytochimiques qualitatifs 9
1.3.6 Analyse chromatographique des huiles essentielles par CG-SM 11
1.4 Étude des activités biologiques 11
1.4.1 Activité antioxydante par DPPH 11
1.4.2 Protocole expérimental 12
1.4.3 Détermination de l'IC_{50} 12
1.5 Activité anti-inflammatoire 13
1.5.1 Par inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (SAB) 13
1.5.2 Préparation du contrôle positif (diclofénac sodique) 13
1.5.3 Mesure de la turbidité 14
1.5.4 Calcul du pourcentage d'inhibition 14
1.6 Activité anti-hémolytique 14
1.6.1 Principe de l'activité anti-hémolytique 14

1.6.2 Préparation de la suspension érythrocytaire 14
1.6.3 Protocole de l'activité anti-hémolytique 15
1.6.4 Calcul du pourcentage d'inhibition de l'hémolyse 16
1.7 Activité antibactérienne 16
1.7.1 Milieu de culture 16
1.7.2 Préparation de l'inoculum bactérien 17
1.7.3 Méthode de diffusion sur disque 19
1.8 Préparation de sérum 20
1.8.1 Composition en pourcentage pondéral 20
1.8.2 Forme de présentation 20
1.8.3 Stabilité 21
Chapitre 2 : Résultats et Discussions 22
1 Rendement de l'extraction 22
2 Analyse phytochimique 22
2.1 Screening phytochimique 22
2.2 Evaluation de l'nalyses de CG-MS 25
3 Les activités biologiques de l'huile essentielle de *Myrtus communis* 27
3.1 Evaluation de l'activité antioxydante (Test du DPPH) 27
3.2 Evaluation de l'activité anti-inflammatoire 30
3.3 Evaluation de l'activité anti-hémolytique 31
3.4 Evaluation de l'activite antibactérienne 33
3.5 Évaluation de la formulation du sérum cappilaire 44
3.5.1 Propriétés de la formulation 44
3.5.2 Paramètres physico-chimiques quantitatifs 44
3.5.3 Stabilité physico-chimique 45
Conclusion 47
Références bibliographiques 49

Liste des figures :

FIGURE 1. LA PLANTE MYRTUS COMMUNIS L SOURCE : PLANTESET. (S.D.). MYRTUS COMMUNIS. 5
FIGURE 2. POUDRE DES FEUILLES DE MYRTUS COMMUNIS L 7
FIGURE 3. SCHEMA DU PROCEDE D'HYDRODISTILLATION D'UNE PLANTE APPARTENANT A LA FAMILLE DES MYRTACEAE A L'AIDE D'UN APPAREIL DE TYPE CLEVENGER. 8
FIGURE 4. PRINCIPE DU TEST DPPH POUR L'EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTIOXYDANTE **(AGROPARISTECH, CHIMACTIV, S.D)** 12
FIGURE 5. SEPARATION DU SANG APRES CENTRIFUGATION ET RECUPERATION DU PLASMA 15
FIGURE 6. BOITES DE PETRI CONTENANT LE MILIEU MUELLER-HINTON AGAR (MHA) SOLIDIFIE. 17
FIGURE 7. PREPARATION DE L'EAU PHYSIOLOGIQUE STERILE 18
FIGURE 8. METHODE D'ENSEMENCEMENT DES SOUCHES BACTERIENNES POUR L'EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTIBACTERIENNE 19
FIGURE 9. POURCENTAGE D'INHIBITION DE RADICAL DPPH PAR L'HUILE ESSENTIELLE DE MYRTUS COMMUNIS ET L'ACIDE ASCORBIQUE. 27
FIGURE 10. HISTOGRAMME REPRESENTANT LA COMPARAISON ENTRE L'IC50 DE L'HUILE DE MYRTE ET DE L'ACIDE ASCORBIQUE. 28
FIGURE 11. EFFET DE L'HUILE ESSENTIELLE DE MYRTUS COMMUNIS SUR LA DENATURATION DE L'ALBUMINE SERIQUE BOVINE (BSA). 30
FIGURE 12. VARIATION DE L'ACTIVITE ANTI-HEMOLYTIQUE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE MYRTUS COMMUNIS ET DU DICLOFENAC EN FONCTION DES DIFFERENTES CONCENTRATIONS. 32
FIGURE 13. HISTOGRAMME DE L'EFFICACITE ANTI HEMOLYTIQUE DE L'HUILE ESSENTIELLE MYRTUS COMMUNIS PAR RAPPORT AU DICLOFENAC 32
FIGURE 14. ZONES D'INHIBITION DE L'HUILE ESSENTIELLE SUR LES SOUCHES DE REFERENCES. 35
FIGURE 15. PROFILS DE SENSIBILITE DES CINQ SOUCHES BACTERIENNES CLINIQUES FACE A L'HUILE ESSENTIELLE DE MYRTUS COMMUNIS AUX DIFFERENTES CONCENTRATIONS. 36

Liste des tableaux :

TABLEAU 1. CLASSIFICATION TAXONOMIQUE DE MYRTUS COMMUNIS L. **(SEGHOUIL & ZERMANE , 2017)** 5
TABLEAU 2. CARACTERISTIQUES ET ORIGINE DES SOUCHES BACTERIENNES UTILISEES 6
TABLEAU 3. SOUCHES STANDARDS TESTEES 6
TABLEAU 4. COMPOSITION EN POURCENTAGE PONDERAL 20
TABLEAU 5. RESULTATS DU SCREENING PHYTOCHIMIQUE QUALITATIF DE L'EXTRAIT AQUEUX 23
TABLEAU 6. IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION DES COMPOSES MAJEURS DE L'HUILE ESSENTIELLE DE MYRTUS COMMUNIS L. (REGION DES AURES) PAR GC-MS. 26
TABLEAU 7. DIAMETRES D'INHIBITION (MM) DE L'HUILE ESSENTIELLE SUR LES SOUCHES DE REFERENCE ET CLINIQUES 34
TABLEAU 8. EFFET ANTIFONGIQUE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE MYRTUS COMMUNIS SUR LES CHAMPIGNONS DU CUIR CHEVELU 38
TABLEAU 9. SYNTHESE COMPARATIVE AVEC LA BIBLIOGRAPHIE 40
TABLEAU 10. ACTIVITE ANTIFONGIQUE DE L'HE DE MYRTUS COMMUNIS L. CONTRE LES DERMATOPHYTES ET LEVURES LIPOPHILES DU CUIR CHEVELU 41
TABLEAU 11. PROFIL CHIMIQUE DES HE DE MYRTE ET CORRELATION AVEC L'ACTIVITE ANTIFONGIQUE **(BEKHECHI ET AL, 2019)** 42
TABLEAU 12. MECANISMES D'ACTION ANTIFONGIQUE DOCUMENTES 43
TABLEAU 13. CARACTERISTIQUES ORGANOLEPTIQUES 44
TABLEAU 14. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES QUANTITATIFS (PH) 44
TABLEAU 15. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES QUANTITATIFS (DENSITE) 45
TABLEAU 16. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES QUANTITATIFS (VISCOSITE) 45
TABLEAU 17. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES QUANTITATIFS (INDICE DE REFRACTION) 45
TABLEAU 18. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES QUANTITATIFS (CONDUCTIVITE ELECTRIQUE) 45
TABLEAU 19. TEST DE CENTRIFUGATION 45

Liste des abréviations :

ATCC: American Type Culture Collection

BSA: Albumine srique bovine

CG-SM: Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectromtrie de masse

CMB: Concentration minimale bactricide ou fongicide

CMI: Concentration minimale inhibitrice

DMSO: Diméthylsulfoxyde

DPPH: 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle

EDTA: Acide éthylènediaminetétraacétique

GC-MS: Gas Chromatography-Mass Spectrometry

H_2SO_4: Acide sulfurique

HCl: Acide chlorhydrique

HE: Huile essentielle

IC50: Concentration inhibitrice 50%

IK: Indice de Kovats

MHA: Mueller-Hinton Agar

NH_4OH: ammoniaque

NLC: Nanostructured Lipid Carriers / nanostructures lipidiques

PBS: Phosphate Buffered Saline / tampon phosphate salin

pH: Potentiel hydrogène

Q.s.p: Quantité suffisante pour

SAB: Serum Albumin Bovine

SDA: Sabouraud Dextrose Agar

Introduction

Introduction

La santé du cuir chevelu constitue un élément essentiel de l'équilibre cutané global, car elle conditionne directement l'état du follicule pileux, la qualité de la fibre capillaire et le renouvellement normal des cheveux, la peau du cuir chevelu, autrefois réduite à son rôle de support mécanique, constitue en réalité un écosystème complexe, où coexistent des cellules humaines, des glandes sébacées, des follicules pileux et une communauté microbienne diversifiée. Cet environnement biologique joue un rôle déterminant dans le maintien de l'homéostasie locale. Lorsque cet équilibre est rompu, des manifestations cliniques diverses peuvent apparaître, allant de la desquamation légère et des démangeaisons jusqu'aux infections plus marquées et aux perturbations de la croissance des cheveux. Cette complexité impose dès lors une approche intégrée, croisant données microbiologiques, inflammatoires et fonctionnelles **(Guo *et al*, 2026).**

Dans ce contexte, le microbiome du cuir chevelu apparaît alors comme un levier d'analyse privilégié dans l'étude des déséquilibres capillaires. Il regroupe notamment des bactéries commensales telles que *Cutibacterium* et *Staphylococcus*, ainsi que des levures lipophiles du genre *Malassezia*, naturellement présentes à la surface cutanée. Cette coexistence est habituellement compatible avec un état de santé stable, tant que les relations entre l'hôte et les micro-organismes restent équilibrées. Cependant, divers facteurs tels que l'excès de sébum, les variations hormonales, les agressions environnementales ou l'usage de produits inadaptés peuvent modifier cette harmonie. Toute en rupture de cet équilibre génère une dysbiose, facteur déclenchant de processus inflammatoires et de pathologies dermatologiques durables. L'intérêt scientifique porté au microbiome capillaire s'est donc fortement développé, car il permet de mieux comprendre l'origine de nombreuses affections du cuir chevelu **(Arias, 2025).**

Parmi les pathologies associées à ce déséquilibre, les mycoses du cuir chevelu représentent un problème de santé et de cosmétique particulièrement important. Elles sont souvent liées à la prolifération de champignons opportunistes ou pathogènes, notamment les dermatophytes tels que *Trichophyton* et *Microsporum*, ainsi qu'à la surcroissance de certaines levures comme *Malassezia*. Ces micro-organismes peuvent provoquer une inflammation locale, une gêne fonctionnelle, des démangeaisons, une desquamation et, dans certains cas, une altération progressive de la densité capillaire. Les conséquences ne sont pas seulement cliniques, elles sont aussi psychologiques et sociales, car la qualité des cheveux influence fortement l'estime de soi et l'image corporelle. De ce fait, les infections fongiques du cuir chevelu constituent un champ de recherche qui mérite une attention particulière, notamment dans une perspective de prévention et de prise en charge douce **(Saxena *et al*, 2018).**

L'impact de ces affections ne se limite pas à une simple atteinte de surface, car l'inflammation persistante peut perturber le fonctionnement normal du follicule pileux. Le follicule n'est pas une structure passive ; il s'agit d'un organe dynamique qui traverse des cycles successifs comprenant une phase de croissance, une phase de régression et une phase de repos. Le passage harmonieux d'une phase à l'autre dépend de mécanismes moléculaires précis, parmi lesquels la voie de signalisation Wnt/β-caténine joue un rôle fondamental. Cette voie intervient dans l'activation des cellules souches du bulge, responsables du renouvellement du follicule et du déclenchement de la phase anagène. Lorsque l'environnement folliculaire est altéré par l'inflammation, le stress oxydatif ou la dysbiose microbienne, cette signalisation peut être compromise. Une telle perturbation contribue à ralentir la repousse et peut favoriser la chute capillaire, qu'elle soit temporaire ou durable **(Paul *et al*, 2025).**

Face à ces troubles, les solutions cosmétiques et dermocosmétiques ont connu un essor considérable, en particulier sous forme de sérums capillaires. Ces produits sont souvent présentés comme des soins ciblés, faciles à appliquer et capables d'apporter une réponse rapide aux problèmes de chute de cheveux, de sécheresse ou d'irritation du cuir chevelu. Toutefois, malgré leur popularité, de nombreux sérums disponibles sur le marché contiennent des ingrédients qui peuvent provoquer des effets indésirables chez certaines personnes. Parmi ces effets figurent l'irritation, les sensations de brûlure, la sensibilité cutanée, l'alourdissement des cheveux ou encore l'obstruction partielle des follicules. De plus, certaines formules misent davantage sur l'effet cosmétique immédiat que sur une véritable action biologique durable. Cette limite justifie la recherche de formulations alternatives, plus naturelles, mieux tolérées et fondées sur des données scientifiques solides **(Tennstedt *et al*, 2018).**

Dans cette perspective, les extraits végétaux et les huiles essentielles suscitent un intérêt croissant, car ils offrent des activités biologiques multiples tout en s'inscrivant dans une tendance de cosmétique plus naturelle. Parmi les espèces les plus étudiées figure *Myrtus communis L,* une plante méditerranéenne appartenant à la famille des *Myrtacées*. Utilisée depuis longtemps dans les traditions médicinales et aromatiques, cette espèce a fait l'objet de nombreuses recherches en raison de la richesse de sa composition chimique. Son huile essentielle contient principalement des monoterpènes oxygénés et des hydrocarbures terpéniques, parmi lesquels le 1,8-cinéole et l'α-pinène sont fréquemment rapportés. Ces constituants sont associés à des activités antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antioxydantes, ce qui confère à la plante un potentiel intéressant pour les applications dermatologiques et capillaires **(Mir, 2024).**

Les travaux scientifiques consacrés à *Myrtus communis* montrent que cette plante possède un profil biologique particulièrement prometteur. Plusieurs études ont mis en évidence son activité antimicrobienne contre différents micro-organismes, notamment les bactéries et certains champignons responsables d'infections cutanées. D'autres recherches ont également souligné ses propriétés antioxydantes, qui peuvent contribuer à limiter les dommages causés par les radicaux libres au niveau des tissus cutanés. L'intérêt de ces effets est d'autant plus important que le stress oxydatif est souvent impliqué dans l'aggravation des phénomènes inflammatoires et dans le vieillissement prématuré de la peau et des phanères. Ainsi, *Myrtus communis* ne se limite pas à un simple usage traditionnel ; il représente aujourd'hui un candidat crédible pour la formulation de soins innovants à visée capillaire **(Dabbaghi *et al,* 2023).**

Cette complémentarité d'action antimicrobienne d'une part, antioxydante d'autre part répond précisément aux enjeux du soin capillaire, où infections, inflammation, séborrhée excessive et perturbations du cycle pilaire interagissent fréquemment. Au-delà de ses usages traditionnels documentés, *Myrtus communis* dispose désormais d'un profil scientifique suffisant pour justifier son intégration dans des formulations capillaires innovantes **(Gherzouli & Moudjari, 2021).**

Les résultats d'Elabboubi *et al.* **(2019)** ont indiqué que les huiles essentielles constituent une alternative prometteuse dans la prise en charge des mycoses, en raison de leur activité antifongique contre plusieurs champignons pathogènes. Les résultats rapportés montrent que certains composés naturels peuvent agir efficacement sur des espèces responsables d'infections cutanées et muqueuses, notamment en perturbant la membrane cellulaire des champignons. Parmi les huiles citées, *Myrtus communis* se distingue par une activité antifongique notable, ce qui suggère un réel potentiel thérapeutique. Toutefois, cette efficacité dépend de plusieurs facteurs, notamment la composition chimique de l'huile, la méthode d'extraction et la souche fongique testée. Ainsi, *Myrtus communis* peut être considéré comme une plante d'intérêt dans la recherche de traitements antifongiques naturels, tout en nécessitant encore des études plus approfondies pour confirmer son usage clinique.

Selon Al-Snafi *et al.* **(2024)** les auteurs ont réalisé une revue portant sur la valeur thérapeutique de *Myrtus communis L,* en analysant l'ensemble des données disponibles concernant ses propriétés pharmacologiques et biologiques. Cette synthèse a mis en évidence que cette espèce présente un large éventail d'activités biologiques, notamment des effets antioxydants, antimicrobiens, anti-inflammatoires ainsi que dermatologiques, principalement attribués à sa richesse en composés bioactifs tels que les flavonoïdes, les polyphénols et les huiles essentielles. Les auteurs ont ainsi conclu que *Myrtus communis* constitue une plante à

fort potentiel thérapeutique, pouvant être valorisée dans différents domaines, en particulier les applications médicinales et dermocosmétiques.

Une étude plus récente de Dănilă *et al.* **(2026)** s'est focalisée sur la caractérisation chimique de l'huile essentielle de *Myrtus communis* et sur l'évaluation de son potentiel antimicrobien dans une perspective d'application topique. Les chercheurs ont particulièrement étudié l'activité contre plusieurs microorganismes ainsi que la tolérance cellulaire de l'huile essentielle. Les résultats ont mis en évidence une activité antimicrobienne importante, accompagnée d'une capacité à limiter le développement microbien, tout en présentant une bonne compatibilité pour une utilisation cutanée. Ces observations renforcent l'intérêt de cette plante comme candidat potentiel dans la formulation de préparations dermocosmétiques à usage local.

D'autre part, la revue de Hennia *et al.* (**2018)** portant sur les propriétés antioxydantes des extraits de *Myrtus communis* et *Myrtus nivellei* s'est particulièrement intéressée aux facteurs influençant cette activité. Les auteurs ont montré que les extraits de feuilles présentaient une activité antioxydante plus marquée que d'autres parties de la plante, en raison de leur richesse en composés phénoliques et en métabolites secondaires. Ils ont également souligné que cette activité pouvait varier selon la méthode d'extraction, le type de solvant utilisé ainsi que la partie végétale étudiée. Ces résultats suggèrent l'existence d'un potentiel biologique intéressant pouvant être exploité dans le développement de formulations naturelles à visée fonctionnelle.

Cependant, malgré ces données, l'application potentielle de *Myrtus communis* dans la prise en charge des déséquilibres du cuir chevelu demeure insuffisamment explorée. Dans quelle mesure l'huile essentielle de cette plante peut-elle constituer une base formulatoire pertinente pour le développement d'un soin dermocosmétique capillaire capable d'agir simultanément sur les mycoses du cuir chevelu et sur la stimulation fonctionnelle du follicule pileux, tout en assurant une tolérance cutanée compatible avec une utilisation régulière ?

Dans cette perspective, l'accent sera particulièrement mis sur l'évaluation de l'activité antibactérienne, considérée comme un paramètre clé dans les déséquilibres microbiens du cuir chevelu, ainsi que sur l'étude de certaines activités biologiques complémentaires, dans le but d'apprécier le potentiel de cette espèce en tant qu'ingrédient naturel pour le développement d'une formulation dermocosmétique destinée au soin capillaire. Ce travail vise précisément à élaborer une réponse formulatoire alignée sur les besoins physiologiques spécifiques du cuir chevelu.

Chapitre 1 : Matériels et méthodes

1. Matériel

1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué de feuilles de Myrtus communis L., appartenant à la famille des Myrtaceae. Les échantillons ont été récoltés manuellement dans la région de Guelma (Algérie) durant le mois de mars 2026. Seules les feuilles saines, bien développées et exemptes de toute altération visible ont été sélectionnées. Après la récolte, le matériel végétal a été acheminé vers le Complexe des laboratoires pédagogiques, Laboratoire 2, de l'Université Abbas Laghrour de Khenchela, où les différentes analyses expérimentales ont été réalisées durant les mois d'avril et mai 2026.



Figure 1. *La plante Myrtus communis L Source : Planteset. (s.d.). Myrtus communis.*

Tableau 1. *Classification taxonomique de Myrtus communis L.* ***(Seghouil & Zermane, 2017)***

Règne	Plantae
Sous-règne	Eucaryotae
Embranchement	Spermaphytae
Sous-embranchement	Angiospermae
Classe	Dicotylédonae
Ordre	Myrtales
Famille	Myrtaceae
Genre	Myrtus
Espèces	Myrtus communis

1.2. Matériel biologique

Les souches bactériennes utilisées dans cette étude sont des bactéries pathogènes à Gram positif et à Gram négatif, sélectionnées pour l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits. Ces souches sont fréquemment impliquées dans les infections humaines et proviennent de l'hôpital.

Tableau 2. *Caractéristiques et origine des souches bactériennes utilisées*

Souches bactériennes	Gram	Origine
Escherichia coli	Bactérie Gram négatif	Clinique
Staphylococcus aureus	Bactérie Gram positif	Clinique
Pseudomonas aeruginosa	Bactérie Gram négatif	Clinique
Proteus spp	Bactérie Gram négatif	Clinique
Klebsiella spp	Bactérie Gram négatif	Clinique

En complément des souches cliniques, des souches microbiennes de référence (ATCC) ont également été utilisées afin d'évaluer l'activité antimicrobienne dans des conditions standardisées.

Tableau 3. *Souches standards testées*

Souche	Référence ATCC	Type microbien	Caractéristiques
Staphylococcus aureus	ATCC 25923	Bactérie Gram positif	Pathogène cutané commun, impliqué dans les infections secondaires du cuir chevelu
Pseudomonas aeruginosa	ATCC 27853	Bactérie Gram négatif	Bactérie opportuniste, résistance naturelle aux antimicrobiens
Escherichia coli	ATCC 25922	Bactérie Gram négatif	Indicateur de contamination fécale, souche de référence
Klebsiella pneumoniae	ATCC 13883	Bactérie Gram négatif	Bactérie opportuniste associée aux infections nosocomiales et à certaines infections cutanées
Bacillus subtilis	ATCC 6633	Bactérie Gram positif	Bactérie sporulée utilisée comme souche de référence pour l'évaluation de l'activité antimicrobienne

1.3. Méthode

1.3.1. Préparation du matériel végétal

Les feuilles récoltées ont été soigneusement lavées à l'eau distillée afin d'éliminer les poussières et les impuretés superficielles. Elles ont ensuite été séchées à l'air libre, à l'ombre et à température ambiante pendant plusieurs jours jusqu'à séchage complet. Une fois séchées, les feuilles ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique afin d'obtenir une poudre fine et homogène. Cette poudre a été conservée dans des récipients hermétiquement fermés, à l'abri de la lumière et de l'humidité, jusqu'à son utilisation pour la préparation de l'extrait hydroalcoolique et la réalisation du screening phytochimique.

1.3.2. Extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation



Figure 2. *Poudre des feuilles de Myrtus communis L*

L'huile essentielle a été extraite par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger (Figure 3). Cette méthode repose sur l'entraînement à la vapeur d'eau des composés volatils présents dans le matériel végétal, suivi de leur condensation et de leur séparation en

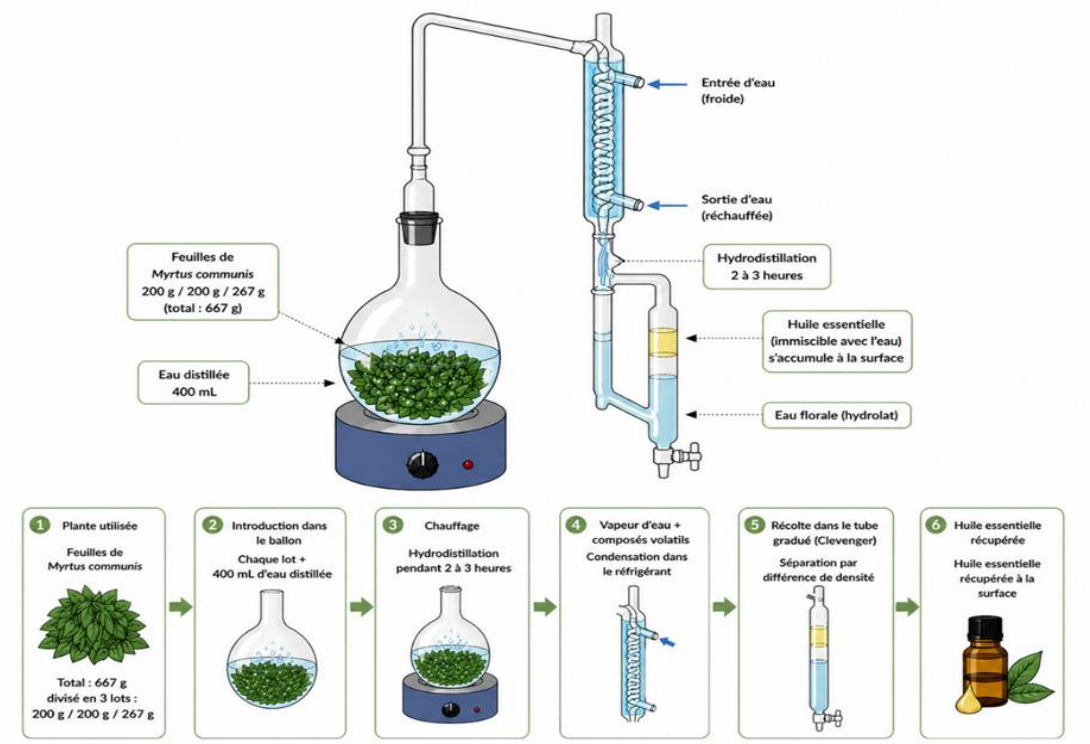


Figure 3. *Schéma du procédé d'hydrodistillation d'une plante appartenant à la famille des Myrtaceae à l'aide d'un appareil de type Clevenger.*

fonction de leur différence de densité avec l'eau.Une masse totale de 667 g de feuilles appartenant à la famille des Myrtaceae a été utilisée pour l'hydrodistillation. Afin de s'adapter à la capacité du ballon, la matière végétale a été divisée en trois lots de 200 g, 200 g et 267 g. Chaque lot a été introduit dans un ballon contenant 400 mL d'eau distillée et soumis à une hydrodistillation pendant 2 à 3 heures à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Les vapeurs chargées en composés volatils ont été condensées à travers un réfrigérant puis recueillies dans le tube gradué de l'appareil. L'huile essentielle, immiscible avec l'eau, s'est séparée et a été récupérée à la surface, puis conservée pour les analyses ultérieures.

1.3.3. Détermination et calcul du rendement

Le rendement est la quantité maximale d'huile essentielle que donne une masse donnée de végétal pendant une période donnée. C'est le rapport entre la masse de l'huile essentielle obtenue sur la masse du matériel végétal utilisé. On a calculé le rendement en utilisant la relation suivante :

$$\mathrm{R}\ (\%) = \frac{\mathrm{Masse\ (HE)}}{\mathrm{Masse\ (M\ V\ S)}} \times 10$$

R (%) : Rendement en huile essentielle.

Masse (HE) : masse de l'huile essentielle.

Masse (MVF) : masse du matériel végétal sec. (Laiche & Mecheri, 2023).

1.3.4. Screening phytochimique

Le screening phytochimique a été réalisé sur le macérat aqueux obtenu à partir de la poudre de la plante. Pour cela, la poudre végétale a été mise à macérer dans l'eau distillée, puis le mélange a été filtré afin d'obtenir un extrait aqueux utilisé pour les différents tests phytochimiques. Ces tests ont été effectués dans le but de mettre en évidence qualitativement les principaux métabolites secondaires présents dans la plante. Ils reposent sur des réactions chimiques spécifiques révélées par l'apparition d'une coloration, d'un précipité, d'une mousse ou d'une fluorescence caractéristique. Les méthodes utilisées ont été adaptées à partir de protocoles décrits dans la littérature.

1.3.5. Tests phytochimiques qualitatifs

1.3.5.1. Les Alcaloïdes :

La présence d'alcaloïdes est révélée par la méthode d'Amana (2007), quelques gouttes du réactif de Bouchardât sont ajoutées à 2ml d'extrait. La formation d'un précipité brunnoir, brun - terne ou jaune - brun indique la présence de ces métabolites dans le milieu.

Ce test est fait pour révéler la présence ou l'absence des alcaloïdes sels 5 ml d'HCl (2N) sont ajoutés à l'extrait et chauffer dans un bain marie. Dans deux tubes à essai, 1 ml d'extrait est placé dans chaque tube. Ajouter 1 ml de réactif de Mayer dans le premier tube et 1 ml de réactif de Wagner dans le deuxième tube. L'apparition d'un précipité jaune-brun et brun noir, respectivement, indique la présence de ces alcaloïdes **(Amana, 2007).**

1.3.5.2. Les Flavonoïdes :

2 à 3 gouttes de la solution de ($AlCl_3$ à 1%) sont ajoutées à 2ml de l'extrait aqueux de la plante.L'apparition d'une coloration jaune indique la présence des flavonoides **(Edeagaetal, 2005).**

1.3.5.3. Les Tanins :

La détection des tanins est réalisée au moyen du test de Soulamaet ces collaborateurs (2014). 2 à 3 gouttes de la solution de chlorure ferrique ($FeCl_3$ à2%) sont ajoutées à 1ml de chaque extrait. L'apparition d'une coloration bleu foncé a signalé la présence des tanins galliques, tandis qu'une coloration vert foncé indique la présence des tanins catéchines. Une coloration bleue-verdâtre indique la présence des deux types de tanins.

1.3.5.4. Les terpènoïdes :

La méthode d'Aziman *et al*. **(2012)**, permet de mettre en évidence la présence de terpènoïdes, 2.5 ml d'extrait est ajouté à 1 ml de chloroforme. Après homogénéisation, 1.5

ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) est ajouté au mélange. La formation d'une couleur brun-rouge à l'interface indique la présence des composés.

1.3.5.5. Les quinones libres :

2 ml d'extrait plus quelques gouttes de lessive de soude (NaOH 1 %) développent une couleur qui vire au jaune, rouge ou violet en présence des quinones libres **(Oloyede &Aina, 2005).**

1.3.5.6. Les sucres réducteurs :

1 ml de chaque extrait on ajoute 2ml de solution Fehling puis les tubes sont incubés au bain marie pendant 20 min. Un test positif est indiqué par l'apparition d'un précipité de couleur rouge brique **(Cai *et al,* 2011).**

1.3.5.7. Les anthocyanes :

La recherche des anthocyanes repose sur le changement de la couleur de l'infusé à 10 % avec le changement de pH: On ajoute quelques gouttes d'HCl, puis quelques gouttes d'ammoniac (NH_4OH). Le changement de la couleur indique la présence des anthocyanes **(Debray *et al*, 1971).**

1.3.5.8. Les saponosides :

La détection des saponines est réalisée au moyen du test de Yadav et Agarwala **(2011)** 1ml d'extrait, est ajouté à 3 mld'eau distillée. Après agitation pendant 2 min la formation d'un mousse persistant indique la présence des saponines.

1.3.5.9. Les anthraquinones :

Ajoute 5 ml de NH_4OH à 10 ml d'extrait, après agitation leur présence est indiquée par une coloration violette **(Okerulu&Aina, 2001).**

1.3.5.10. Les coumarines :

L'extrait (1ml) plus 0,5ml de NH_4OH à 25%, l'apparition d'une fluorescence intense sous une lampe UV à 366 nm dans le tube ou il a été ajouté l'ammoniaque indique la présence de coumarines **(Okerulu&Aina, 2001).**

1.3.5.11. Les amines :

On applique sur papier filtre une goutte de la solution méthanolique de l'extrait. Après séchage à 80°C dans l'étuve, le papier est pulvériséaves quelques gouttes de ninhydrine puis séché à l'étuve à 110 °C pendant 5 min. Des taches violettes sur le papier indiquent la présence des amines **(Oloyede, 2005).**

1.3.5.12. Les mucilages :

1ml d'infusé de la plante est ajouté à 5ml d'éthanol après quelque minute. La formation d'un précipité indique la présence des mucilages **(Études rwandaises, 1977).**

1.3.5.13. L'amidon :

On ajoute quelque goutte de légole à 1ml d'infusé 5%, une coloration bleu foncé confirme la présence de l'amidon **(Kanoun, 2011).**

1.3.6. Analyse chromatographique des huiles essentielles par CG-SM

La composition chimique des huiles essentielles a été déterminée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM) à l'aide d'un appareil Shimadzu QP2010 équipé d'une colonne capillaire TG-5MS (30 m × 0,25 mm ; épaisseur de film 0,25 µm). L'injection a été réalisée en mode splitless avec un rapport de division de 30:1 et une température d'injecteur de 250 °C. L'hélium a servi de gaz vecteur à un débit constant de 1,58 $mL \cdot min^{-1}$. Le programme thermique du four était programmé de 60 °C à 240 °C avec une rampe de 5 $°C \cdot min^{-1}$. Les paramètres du spectromètre de masse étaient les suivants : température de la source d'ions 200 °C, température de l'interface 250 °C, temps de coupure du solvant 2 min et tension d'ionisation 1,04 kV ; la plage de balayage des masses s'étendait de 20 à 600 m/z. L'identification des composés volatils a été effectuée par comparaison de leurs spectres de masse avec la bibliothèque NIST 11 Mass Spectral Library **(Djellouli, 2024).**

1.4. Étude des activités biologiques

1.4.1. Activité antioxydante par DPPH

Principe de la réaction Le test DPPH repose sur la capacité des antioxydants présents dans un extrait à piéger le radical libre stable DPPH• (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle). Ce radical, de couleur violette en solution, présente une forte absorbance à 517 nm. Lorsqu'un antioxydant donne un électron ou un atome d'hydrogène au DPPH•, ce dernier est réduit et sa couleur vire au jaune pâle, entraînant une diminution de l'absorbance. Cette diminution est proportionnelle à la capacité antioxydante de l'échantillon. Le pourcentage d'inhibition est calculé pour chaque

concentration testée, ce qui permet de déterminer l'IC50, correspondant à la concentration de l'échantillon nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux DPPH **(Zendaoui & Debbabi, 2025)**

1.4.2. Protocole expérimental

La solution de DPPH a été préparée en dissolvant 0,025 g de DPPH dans 100 mL de

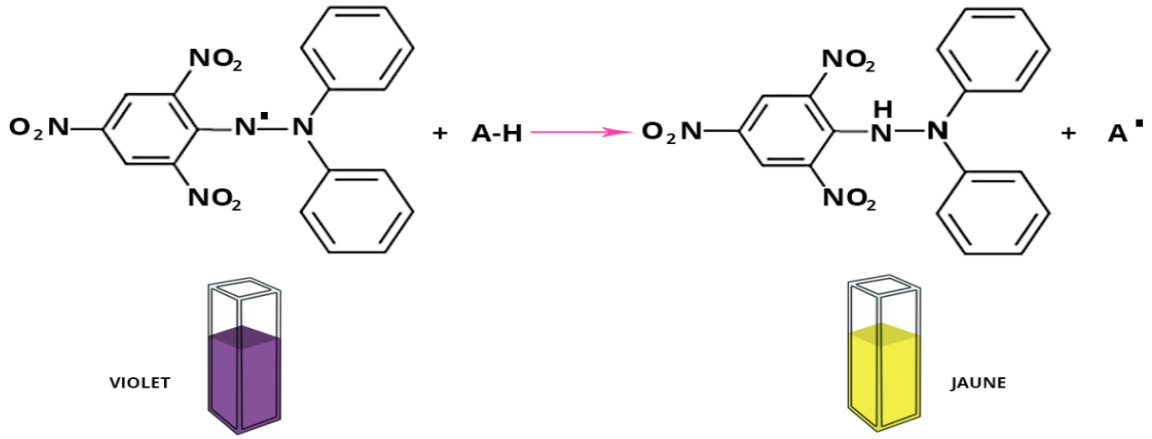


Figure 4. *Principe du test DPPH pour l'évaluation de l'activité antioxydante* ***(AgroParisTech, ChimActiv, s.d)***

méthanol, ce qui correspond à une concentration de 0,25 g/L. La solution a été homogénéisée par agitation au vortex jusqu'à dissolution complète, puis conservée dans un flacon ambré à l'abri de la lumière afin de limiter la photodégradation du DPPH.

Une solution mère de l'huile essentielle a été préparée à une concentration de 1 mg/mL par dissolution de 10 mg d'échantillon dans 10 mL de méthanol. À partir de cette solution mère, une série de dilutions successives dans le méthanol a été réalisée afin d'obtenir les concentrations finales suivantes : 1 ; 0,5 ; 0,25 ; 0,125 et 0,0625 mg/mL.

Pour le test, 50 µL de chaque dilution ont été mélangés à 1950 µL de solution méthanolique de DPPH fraîchement préparée. Les mélanges ont été homogénéisés au vortex puis incubés à température ambiante, à l'abri de la lumière, pendant 30 minutes. L'absorbance a ensuite été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

1.4.3. Détermination de l'IC_{50}

L'IC_{50} (concentration inhibitrice à 50%) est un paramètre couramment utilisé pour évaluer l'efficacité antioxydante d'un extrait ou d'un composé. Elle correspond à la concentration nécessaire pour inhiber 50% du radical libre DPPH. Une faible valeur d'IC_{50} traduit une forte activité antioxydante de l'échantillon (Molyneux, 2004).

La détermination de l'IC_{50} est réalisée à partir des résultats obtenus lors du test DPPH, en calculant le pourcentage d'inhibition pour chaque concentration testée selon la formule suivante :

$$\text{Inhibition (\%)} = \frac{A\ control - A\ échantillon}{A\ control} \times 100$$

Où :

- **A contrôle représente :** l'absorbance du contrôle négatif (DPPH + méthanol)
- **A échantillon représente :** l'absorbance de la solution contenant l'extrait.

1.5. Activité anti-inflammatoire

1.5.1. Par inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (SAB)

L'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle a été évaluée in vitro par la méthode d'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (SAB). Cette méthode repose sur la capacité des composés testés à stabiliser la structure de la protéine contre la chaleur et à réduire la formation de précipités et de turbidité. La dénaturation de l'albumine étant impliquée dans les processus inflammatoires, son inhibition constitue un indicateur de l'activité anti-inflammatoire.

Une solution d'albumine sérique bovine (SAB) à 1% (p/v) a été préparée en dissolvant 1 g de SAB dans 100 mL de tampon phosphate pH 6,4, puis homogénéisée à température ambiante jusqu'à dissolution complète. La solution a été conservée à 4 °C jusqu'à utilisation.

La solution mère de l'huile essentielle a été préparée dans du DMSO (1% final) à une concentration de 1000 µg/mL. La solution a été homogénéisée puis conservée à l'abri de la lumière jusqu'à utilisation.

À partir de la solution mère, des dilutions ont été réalisées dans le PBS afin d'obtenir les concentrations finales suivantes : 10, 50, 100, 250 et 500 µg/mL, avec un volume final de 2 mL par tube.

1.5.2. Préparation du contrôle positif (diclofénac sodique)

Le diclofénac sodique, utilisé comme contrôle positif, a été dissous dans le PBS afin d'obtenir des concentrations de 10, 50 et 100 µg/mL, sous agitation jusqu'à dissolution complète.

Dans des tubes à essai numérotés, le mélange réactionnel a été préparé comme suit :

- 500 µL de solution de SAB à 1% (PBS, pH 6,4),
- 500 µL de solution testée (huile essentielle ou diclofénac sodique).

Un contrôle négatif a été préparé dans les mêmes conditions en remplaçant la solution testée par le solvant approprié (DMSO 1% dans PBS ou PBS seul)

Les tubes ont été homogénéisés au vortex pendant 10 à 15 secondes, puis incubés à 37 °C pendant 20 minutes afin de favoriser l'interaction entre les protéines et les composés testés.

Ensuite, les tubes ont été chauffés à 72 °C pendant 5 minutes afin d'induire la dénaturation thermique de la SAB. Après chauffage, les tubes ont été refroidis rapidement sous l'eau courante pendant 1 à 2 minutes afin d'arrêter la réaction.

1.5.3. Mesure de la turbidité

La turbidité des solutions a été mesurée à 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible, en utilisant une cuvette de 1 cm de trajet optique et un blanc approprié composé du tampon et du solvant correspondant.

1.5.4. Calcul du pourcentage d'inhibition

Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Inhibition}\% = \frac{\text{A controle chauffe}' - \text{A echantillon}}{\text{A controle chauffe}'} \times 100$$

Où :

- **A controle chauffe´ :** absorbance du contrôle contenant SAB + solvant après chauffage.
- **A echantillon :** absorbance du mélange contenant SAB + composé testé.

Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition et tracés en fonction des concentrations afin de déterminer la **CE_{50}**, correspondant à la concentration inhibant **50%** de la dénaturation de la SAB.

1.6. Activité anti-hémolytique

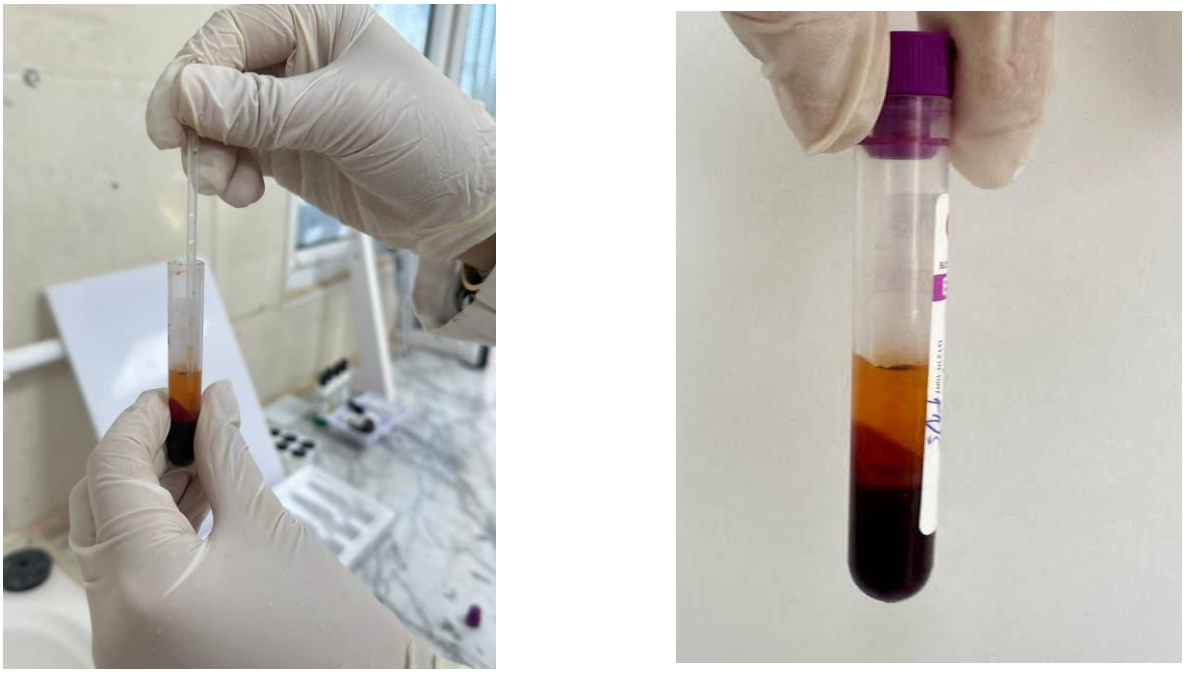
1.6.1. Principe de l'activité anti-hémolytique

L'activité anti-hémolytique correspond à la capacité des huiles essentielles ou des extraits naturels à protéger les érythrocytes contre la lyse membranaire induite par des stress physico-chimiques, et elle est généralement associée à leur activité antioxydante **(Al-Maharik *et al.* 2023)**

1.6.2. Préparation de la suspension érythrocytaire

- Cinq millilitres de sang ont été prélevés chez des donneurs sains n'ayant pas consommé de NSAIDs durant les deux semaines précédant le prélèvement, afin d'éviter toute influence sur la stabilité des globules rouges.
- Le sang a été recueilli dans des tubes contenant de l'EDTA comme anticoagulant, permettant de prévenir la coagulation et de conserver les cellules sanguines dans leur état initial.
- Les échantillons ont été centrifugés à 1000 rpm pendant 5 minutes pour séparer le plasma du culot globulaire (globules rouges).

- Le surnageant (plasma) a été éliminé et le culot de globules rouges a été récupéré avec précaution.
- Les globules rouges ont été lavés trois fois avec une solution de PBS (0,2 M, pH 7,4), chaque lavage étant suivi d'une centrifugation à 1000 rpm endant 5 minutes afin d'éliminer les résidus plasmatiques et d'obtenir une suspension érythrocytaire propre pour les analyses.



A : culot sanguine après retrait du plasma **B :** sang scentrifugé

Figure 5. *Separation du sang après centrifugation et recuperation du plasma*

1.6.3. Protocole de l'activité anti-hémolytique

Les solutions d'huile essentielle ont été préparées à partir d'une solution mère de concentration 1 mg/mL, obtenue en mélangeant 10 µL d'huile essentielle avec 20 µL de Tween 80 pur, puis en complétant le volume à 10 mL avec du PBS (0,2 M, pH 7,4). Le mélange a été homogénéisé au vortex pendant 1 minute afin d'assurer une bonne dispersion de l'huile essentielle dans le milieu aqueux. Des dilutions successives ont ensuite été réalisées pour obtenir les différentes concentrations testées. Le diclofénac sodique a été utilisé comme contrôle positif. Une solution mère de concentration 1 mg/mL a été préparée par dissolution du diclofénac dans le PBS (0,2 M, pH 7,4), puis homogénéisée au vortex. Des dilutions successives ont permis d'obtenir des concentrations de 0,5 mg/mL et 0,25 mg/mL. Pour l'évaluation de l'activité anti-hémolytique, 0,5 mL de suspension érythrocytaire a été mélangé avec 0,5 mL de chaque solution testée d'huile essentielle ou de diclofénac. Le contrôle négatif a été préparé en mélangeant 0,5 mL de suspension érythrocytaire avec 0,5 mL de PBS, représentant une hémolyse maximale. Les mélanges ont été incubés à 37 °C pendant 30 minutes, puis centrifugés

à 1000 rpm pendant 5 minutes afin de précipiter les globules rouges non lysés. Le surnageant contenant l'hémoglobine libérée a ensuite été récupéré avec précaution et son absorbance a été mesurée à 540 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Le PBS (0,2 M, pH 7,4) a été utilisé comme blanc pour l'étalonnage de l'appareil et la correction des éventuelles interférences dues au milieu réactionnel.

1.6.4. Calcul du pourcentage d'inhibition de l'hémolyse

Le pourcentage d'inhibition de l'hémolyse a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Inibition}\% = \frac{A\ control\ négatif - Aéchantillon}{Acontrol\ négatif} \times 100$$

Où :

- **A controle négatif :** correspond à l'absorbance du contrôle représentant l'hémolyse **totale (100%).**
- **A échantillon :** correspond à l'absorbance du tube contenant l'échantillon testé.

Cette formule permet d'évaluer la capacité de l'extrait ou du composé à protéger les membranes des érythrocytes contre la lyse.

1.7. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne permet d'évaluer la capacité d'un extrait végétal ou d'un composé bioactif à inhiber la croissance bactérienne. Ce test est réalisé *in vitro* par la méthode de diffusion sur gélose.

Des disques stériles imprégnés de l'échantillon sont déposés sur une gélose préalablement inoculée avec une suspension bactérienne standardisée (environ 10^8 UFC/mL). Après incubation à 37 °C pendant 24 heures sur milieu Mueller-Hinton, l'apparition de zones claires d'inhibition autour des disques traduit une activité antibactérienne.

Le diamètre de ces zones, mesuré en millimètres (mm), reflète le niveau d'efficacité de l'échantillon. Plus le diamètre de la zone d'inhibition est important, plus l'activité antibactérienne est élevée.

1.7.1. Milieu de culture

Le milieu de culture utilisé est la gélose Mueller-Hinton (MHA), couramment employée pour les tests de sensibilité antimicrobienne. Sa préparation consiste à dissoudre 19 g de poudre déshydratée dans 1 L d'eau distillée, sous agitation continue jusqu'à obtention d'une solution parfaitement homogène. Le milieu est ensuite stérilisé par autoclave à 121 °C pendant 15 minutes.

Après stérilisation, le milieu est laissé à refroidir à une température comprise entre 45 et 50 °C, puis coulé aseptiquement dans des boîtes de Petri afin d'obtenir une épaisseur uniforme

d'environ 4 mm. Les boîtes sont ensuite laissées à solidification à température ambiante avant d'être conservées dans des conditions appropriées jusqu'à leur utilisation.

1.7.2. Préparation de l'inoculum bactérien

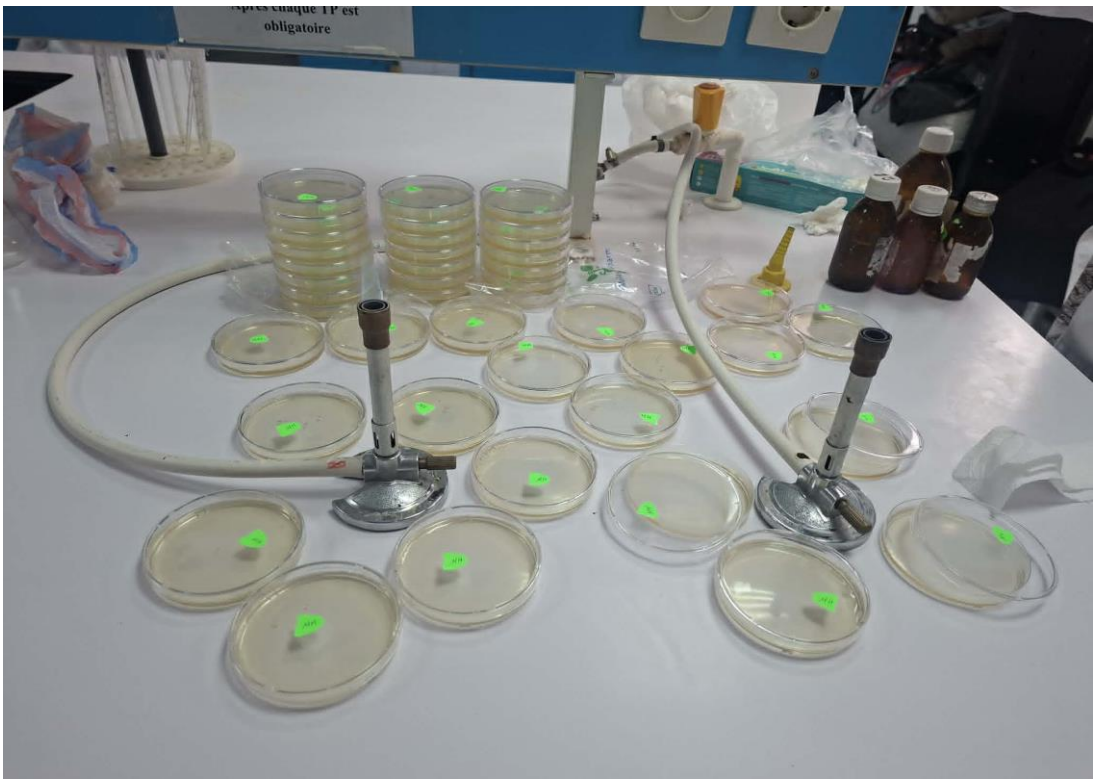


Figure 6. *Boîtes de Petri contenant le milieu Mueller-Hinton Agar (MHA) solidifié.*

1.7.2.1. Revivification des souches bactériennes

Les souches bactériennes utilisées au cours de cette étude ont été revivifiées sur milieu Mueller-Hinton Agar (MHA) par ensemencement aseptique, puis incubées à 37 °C pendant 24 heures. Cette étape permet d'obtenir des colonies bactériennes jeunes, pures et bien isolées, nécessaires à la réalisation des essais d'activité antibactérienne.

1.7.2.2. Préparation de l'eau physiologique stérile

L'eau physiologique stérile utilisée pour la préparation des suspensions bactériennes a été préparée en dissolvant 0,9 g de chlorure de sodium (NaCl) dans 100 mL d'eau distillée. La solution obtenue a ensuite été stérilisée à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes.

1.7.2.3. Préparation du standard de McFarland 0,5



Figure 7. *Préparation de l'eau physiologique stérile*

- **Préparation de la solution de chlorure de baryum ($BaCl_2$)**

Une solution de chlorure de baryum a été préparée en dissolvant 1,175 g de $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ dans 80 mL d'eau distillée. Après agitation jusqu'à dissolution complète, le volume a été ajusté à 100 mL avec de l'eau distillée.

- **Préparation de la solution d'acide sulfurique (H_2SO_4)**

Une solution d'acide sulfurique a été obtenue en ajoutant 1 mL d'acide sulfurique concentré à 99 mL d'eau distillée sous agitation constante.

L'acide doit toujours être versé dans l'eau et non l'inverse.

- **Préparation du standard 0,5 McFarland**

Le standard 0,5 McFarland a été préparé en mélangeant 0,5 mL de solution de $BaCl_2$ avec 99,5 mL de solution d'H_2SO_4 jusqu'à obtention d'une suspension laiteuse homogène. Ce standard correspond à une turbidité équivalente à $1,5 \times 10^8$ UFC/mL.

1.7.2.4. Préparation de la suspension bactérienne

À partir des colonies bactériennes obtenues après incubation, quelques colonies bien isolées ont été prélevées à l'aide d'une anse stérile puis suspendues dans de l'eau physiologique stérile jusqu'à obtention d'une suspension homogène.La turbidité de la suspension bactérienne a ensuite été ajustée visuellement au standard 0,5 McFarland afin d'obtenir une concentration bactérienne standardisée pour l'ensemble des essais antibactériens.

1.7.2.5. Ensemencement de la gélose Mueller-Hinton

Un écouvillon stérile a été trempé dans la suspension bactérienne ajustée à 0,5 McFarland, puis pressé contre la paroi interne du tube pour éliminer l'excès de liquide.

La surface du milieu Mueller-Hinton Agar a ensuite été ensemencée de manière uniforme par étalement dans trois directions différentes, assurant ainsi une répartition homogène de l'inoculum bactérien sur toute la surface de la gélose.

Les boîtes de Petri ont été laissées reposer quelques minutes à température ambiante afin de permettre l'absorption complète de la suspension avant le dépôt des disques imprégnés.



Figure 8. *Méthode d'ensemencement des souches bactériennes pour l'évaluation de l'activité antibactérienne*

1.7.3. Méthode de diffusion sur disque

La méthode de diffusion sur disque a été utilisée pour évaluer l'activité antibactérienne de l'huile essentielle. Après ensemencement de la gélose Mueller-Hinton à l'aide d'une suspension bactérienne standardisée, des disques stériles ont été déposés de manière aseptique à la surface de la gélose préalablement inoculée.

L'huile essentielle a été testée à l'état pur ainsi qu'à différentes dilutions (1/2, 1/4 et 1/6) afin d'étudier l'effet de la concentration sur l'activité antibactérienne. L'évaluation a été réalisée sur cinq souches bactériennes, à savoir *Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Proteus spp, et Klebsiella spp.*

Les essais ont été effectués en triplicata afin d'assurer la reproductibilité et la fiabilité des résultats. Le Tween 80 a été utilisé comme contrôle négatif pour vérifier l'absence d'activité antibactérienne du solvant, tandis que l'oxacilline (OX5) a servi de contrôle positif.

1.8. Préparation de sérum

Le sérum élaboré vise à offrir une solution dermocosmétique antifongique, à base d'huile essentielle de *Myrtus communis L.,* spécifiquement destinée au traitement cosmétique des mycoses du cuir chevelu. Son objectif est d'inhiber la prolifération des agents fongiques responsables, tout en apaisant l'irritation et en préservant l'intégrité du cuir chevelu. Il se doit d'assurer une efficacité locale optimale, associée à une excellente tolérance et à une texture agréable, dans le respect des exigences galéniques et de stabilité des produits capillaires.

1.8.1. Composition en pourcentage pondéral

Tableau 4. *Composition en pourcentage pondéral*

Composants	Concentration (%)	Rôle
Huile essentielle de *Myrtus communis* L.	0,5-2 (préf. 1)	Principe actif principal
Huile végétale de support (jojoba, argan, ricin)	5-15	Vecteur lipidique
Tensioactif non ionique (Tween 80, Span 60)	2-5	Émulsifiant
Co-émulsifiant (cétéaryl alcool, stéarate de glycéryle)	1-3	Stabilisateur
Lipides structurants (acide stéarique, beurre de karité, cire d'abeille)	2-6	Formation NLC
Prébiotiques (inuline, fructo-oligosaccharides)	1-5	Modulation microbiome
Facteurs de croissance végétaux (*Centella asiatica, Rosmarinus officinalis*)	0,5-2	Potentialisation Wnt
Agent conservateur naturel	0,1-0,5	Stabilité microbiologique
Eau distillée	q.s.p. 100	Phase continue

1.8.2. Forme de présentation

Le sérum est conditionné en flacon compte-gouttes en verre teinté (ambre ou bleu cobalt) de 30 mL, muni d'un bouchon sécurisé et d'un embout pipette gradué en caoutchouc ou silicone

alimentaire. Ce mode de présentation permet une extraction hygiénique, un dosage précis du produit (3 à 5 gouttes par application) et une protection optimale contre la photo-oxydation de l'huile essentielle de *Myrtus communis L*. Le flacon est accompagné d'une notice d'utilisation indiquant la voie d'administration topique capillaire, la fréquence d'application (deux fois par jour, matin et soir) et les précautions de conservation

1.8.3. Stabilité

La durée de conservation du sérum est fixée à 24 mois à partir de la date de fabrication, sous réserve du respect des conditions de stockage. Ce délai a été établi sur la base d'études de stabilité accélérée (test à 40 °C et 75 % d'humidité relative) et de stabilité en temps réel, évaluant l'évolution des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques. Aucune dégradation significative de l'aspect, de l'odeur, du pH ni de la taille des gouttelettes n'a été observée à l'issue de ces tests.

Les conditions de conservation recommandées sont les suivantes : température ambiante (15–25 °C), à l'abri de la lumière directe et de l'humidité excessive, hors de portée des enfants. L'ouverture du flacon ne doit pas altérer la stabilité du produit pendant la période d'utilisation, sous réserve de refermer le bouchon hermétiquement après chaque prélèvemen.

Chapitre 2 : Résultats et Discussions

- **Rendement de l'extraction**

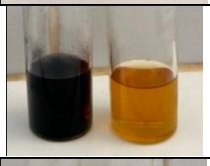
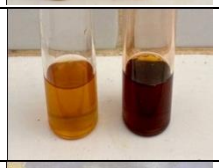
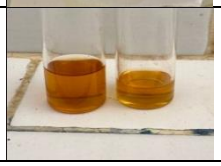
Les rendements d'extraction des huiles essentielles de *Myrtus communis* varient typiquement de 0,3 à 0,9 % pour les feuilles (beaucoup moins pour les baies) avec l'hydrodistillation, et peuvent être nettement augmentés par l'extraction supercritique ou l'optimisation des paramètres de distillation. Dans le cadre de notre étude, le rendement obtenu par hydrodistillation à l'appareil de Clevenger s'est établi à **0,73 %,** valeur intermédiaire qui s'inscrit dans la fourchette classiquement rapportée pour les feuilles de myrte. Cette variation inter-études s'explique par l'influence combinée de plusieurs facteurs : la provenance géographique, le génotype, l'organe végétal prélevé, la méthode d'extraction et les conditions opératoires (durée, ratio eau/matière végétale), ainsi que les conditions de stockage post-récolte. À titre comparatif, Zayani *et al*, (2025) ont rapporté pour le myrte tunisien des rendements compris entre 0,30 % et 0,77 % selon les modalités expérimentales (feuilles sèches ou fraîches, granulométrie et ratio V/M), tandis que Boukerche *et al*, (2023) ont mis en évidence, pour le myrte algérien, des rendements foliaires oscillant entre 0,44 % et 0,94 % selon le stade phénologique, avec un maximum atteint au stade de floraison. Ces écarts récents soulignent la sensibilité du rendement aux conditions de préparation du matériel végétal et aux paramètres de distillation. Les chromatogrammes GC-MS montrent des profils dominés par l'α-pinène, le 1,8-cinéole, le limonène, le linalol et le myrtenyl acétate, mais leurs proportions changent fortement selon la provenance, le génotype, l'organe, la méthode et les conditions de distillation, ainsi que les conditions de stockage.

2. Analyse phytochimique

2.1. Screening phytochimique

Les résultats du screening phytochimique réalisé sue l'éxtrait aqueux sont récapitulés dans le **tableau**

Tableau 5. *Résultats du screening phytochimique qualitatif de l'extrait aqueux*

Métabolite	Test réalisé	Resultats	Observation
Saponines	Test de mousse	++	
Flavonoïdes	Réactin de Shinoda	+	
Alcaloïdes (Bouchardat)	Réactif de bouchardat	-	
Alcaloïdes (mayer)	Réactif de mayer	+	
Terpènes	Liebermann-Burchard	-	
Quinones	Bornträger	-	
Sucres réducteurs	Fehling	+++	
Tanins	$FeCl_3$ 2	+++	
Anthocyanes	HCl / NH_4OH	+	
Anthraquinones	NH_4OH	+++	
Amines	Ninhydrine	-	
Mucilages	Ethanol abslu	-	

(+++) : Fortement positif ; (++) : Moyennement positif ; (+) : Faiblement positif ; (-): Négatif;

L'analyse phytochimique qualitative de l'extrait aqueux révèle un profil métabolique riche et original, dominé par trois grandes familles de composés : les tanins (+++), les anthraquinones (+++) et les sucres réducteurs (+++), auxquels s'ajoutent des saponines (++) et des flavonoïdes (+) en quantités modérées à faibles.

La forte présence de tanins est un trait caractéristique des *Myrtaceae*, largement documentée dans la littérature récente. Nogueira et al. (2022) ont souligné dans leur revue intégrative sur le genre Eugenia que les flavonoïdes et les tanins constituent les principaux métabolites secondaires de cette famille, responsables de leurs activités antioxydante et antimicrobienne. De même, Shahidi & Ambigaipalan (2022) ont démontré que les polyphénols, et particulièrement les tanins condensés, exercent une activité antioxydante majeure par piégeage des radicaux libres et chélation des ions métalliques pro-oxydants. Cette richesse en tanins confère à l'extrait un potentiel thérapeutique significatif, notamment dans la protection contre le stress oxydatif et la stabilisation des membranes biologiques.

La détection d'une abondance élevée d'anthraquinones (+++) constitue le résultat le plus marquant de ce screening. Bien que les anthraquinones soient classiquement associées aux familles des *Fabaceae, Polygonaceae* ou *Rhamnaceae,* leur présence massive dans un extrait de *Myrtaceae* est inhabituelle et mérite d'être soulignée. Franco et al. (2020) ont rapporté que Syzygium cumini, une espèce de *Myrtaceae* largement étudiée, présente une composition polyphénolique dominée par les flavonoïdes et les tanins, mais sans mention d'anthraquinones. Cette particularité pourrait constituer un marqueur chimique distinctif de l'espèce étudiée, originaire de la région de Tipaza (Algérie), et suggère une adaptation métabolique spécifique aux conditions édaphiques et climatiques locales.

Les sucres réducteurs (+++) détectés par le réactif de Fehling sont probablement associés aux polyosides et aux glycosides flavoniques présents dans l'extrait. Ces sucres ne sont pas directement responsables des activités biologiques, mais ils participent à la solubilité et à la stabilité des composés bioactifs glycosylés. Zandoná et al. (2020), dans leur étude sur Psidium cattleianum, ont montré que les flavonoïdes glycosylés (myricétine, quercétine) sont majoritaires dans les extraits aqueux de feuilles de *Myrtaceae*, ce qui corrobore la présence simultanée de flavonoïdes et de sucres réducteurs dans notre échantillon.

La présence modérée de saponines (++) est également notable. Ces composés tensioactifs, dotés d'une activité antimicrobienne et hemolytique documentée, sont

relativement rares chez les *Myrtaceae*. Leur détection ici enrichit le spectre d'action potentiel de l'extrait, en complémentarité avec les tanins et les anthraquinones.

Concernant les alcaloïdes, le résultat partiel positif avec le réactif de Mayer et négatif avec celui de Bouchardat suggère la présence possible d'alcaloïdes de type indolique ou quaternaire, mieux révélés par le premier réactif.

L'absence de terpènes et stérols dans l'extrait aqueux est méthodologiquement attendue. Ces composés lipophiles sont extraits préférentiellement par hydrodistillation et se retrouvent concentrés dans l'huile essentielle, dont l'extraction et l'évaluation ont été réalisées parallèlement dans cette étude. Gaspar et al. (2020) ont montré que la myricétine, principal flavonoïde de Syzygium cumini, est hydrosoluble et se concentre dans les extraits aqueux, tandis que les monoterpènes (1,8-cinéole, eugénol) dominent la fraction essentielle.

Enfin, l'absence de quinones, coumarines, amines et mucilages précise la spécificité du profil chimique de la fraction hydrosoluble étudiée et oriente la recherche des molécules actives vers les polyphénols (tanins, flavonoïdes) et les anthraquinones.

En conclusion, le profil phytochimique de l'extrait aqueux, dominé par les tanins, les anthraquinones et les sucres réducteurs, avec une présence modérée de saponines et de flavonoïdes, est globalement cohérent avec la richesse polyphénolique des *Myrtaceae*, tout en présentant une originalité marquée par l'abondance des anthraquinones. Ce profil confère à la plante étudiée un potentiel thérapeutique important, justifiant la poursuite d'analyses quantitatives et d'identification structurale pour isoler et caractériser les molécules bioactives responsables des effets observés.

2.2. Evaluation de l’nalyses de CG-MS

L'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) a permis d'identifier 28 composés, représentant 95,8 % de la composition totale. L'identification a été réalisée par comparaison des spectres de masse avec les bibliothèques NIST 17 et Wiley 275, ainsi que par calcul des indices de Kovats expérimentaux confrontés aux valeurs de référence de la littérature. Les résultats d'identification et de quantification sont présentés dans le (Tableau 5).

Tableau 6. *Identification et quantification des composés majeurs de l'huile essentielle de Myrtus communis L. (région des Aurès) par GC-MS.*

Composé	IR (min)	IK expérimental	IK littérature	m/z caractéristiques	% relatif
α-Pinène	8,42	939	932	93,77,121	32,18
1,8-Cinéole	12,15	1013	1026	81,108,154	31,16
Linalool	15,73	1098	1095	71,93,121	8,45
Myrtenyl acetate	22,48	1326	1324	93,121,152	6,72
α-Terpinéol	18,56	1189	1186	59,93,121	5,34
Géranyl acetate	24,12	1384	1381	69,93,136	3,28
β-Caryophyllène	25,67	1418	1417	69,93,133	2,91

Les analyses GC-MS révèlent un profil d'huile essentielle dominé par les monoterpènes, avec l'α-pinène (32,18 %) et le 1,8-cinéole (31,16 %) comme composés majoritaires, représentant ensemble près des deux tiers de la composition totale. Ces valeurs expérimentales d'indices de Kovats (IK) sont en excellente concordance avec la littérature (écart maximal de 13 unités pour le 1,8-cinéole), validant l'identification des composés. Le linalool constitue le troisième constituant significatif (8,45 %), tandis que les composés oxygénés plus lourds (myrtenyl acetate, α-terpinéol, géranyl acetate) et le sesquiterpène β-caryophyllène apparaissent en proportions mineures (< 7 %). Les ions caractéristiques observés (m/z 93, 121, 69) sont cohérents avec les structures terpéniques attendues. Globalement, ce profil est typique d'une huile essentielle de type eucalyptus/rosmarin, riche en 1,8-cinéole, ou potentiellement d'un pin aux propriétés expectorantes et anti-inflammatoires marquées.

Mohamadi *et al,* (2021) dans une étude portant sur 19 populations algériennes de la côte méditerranéenne, ont rapporté un α-pinène moyen de 50,1 % et un 1,8-cinéole de 22,27 %, avec identification de six chénotypes. Notre échantillon des Aurès se distingue par un équilibre plus marqué entre α-pinène et 1,8-cinéole (32,18 % / 31,16 %) et une richesse en monoterpènes oxygénés (48,2 %) supérieure aux valeurs rapportées pour le littoral algérien. Cette variabilité intraspécifique a été décrite par Bouzabata *et al,* (2015)

qui ont montré la diversité chimique des populations algériennes de myrte selon les régions géographiques et les conditions écologiques.

À l'échelle méditerranéenne, Al-Maharik *et al*, (2023) ont montré en Palestine des profils très divergents selon les microclimats (31,98 % cinéole à Jenin contre 27,37 % cis-4-thujanol à Jéricho), confirmant la plasticité chimique de l'espèce sous l'effet des conditions environnementales. Les populations portugaises se caractérisent par leur richesse en myrtenyl acetate, tandis que les profils grecs et italiens restent proches du chénotype cinéole/pinène observé dans notre étude.

En conclusion, l'HE des Aurès présente un profil de type α-pinène/1,8-cinéole équilibré, riche en oxygénés et marqueurs biologiquement actifs. Sa qualité phytochimique (rendement 0,73 %, 95,8 % de composés identifiés) la positionne comme une matière première d'excellence pour la formulation dermocosmétique.

3. Les activités biologiques de l'huile essentielle de *Myrtus communis*

3.1. Evaluation de l'activité antioxydante (Test du DPPH)

Les résultats de l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Myrtus communis* et de l'acide ascorbique (témoin positif) sont présentés dans la **figure** .Les donnéés rapportées correspondent à la moyenne de trois essais indépendants réalisés en triplacat (n=3). L'activité est exprimée en pourcentage d'inhibition de l'oxydation du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations.

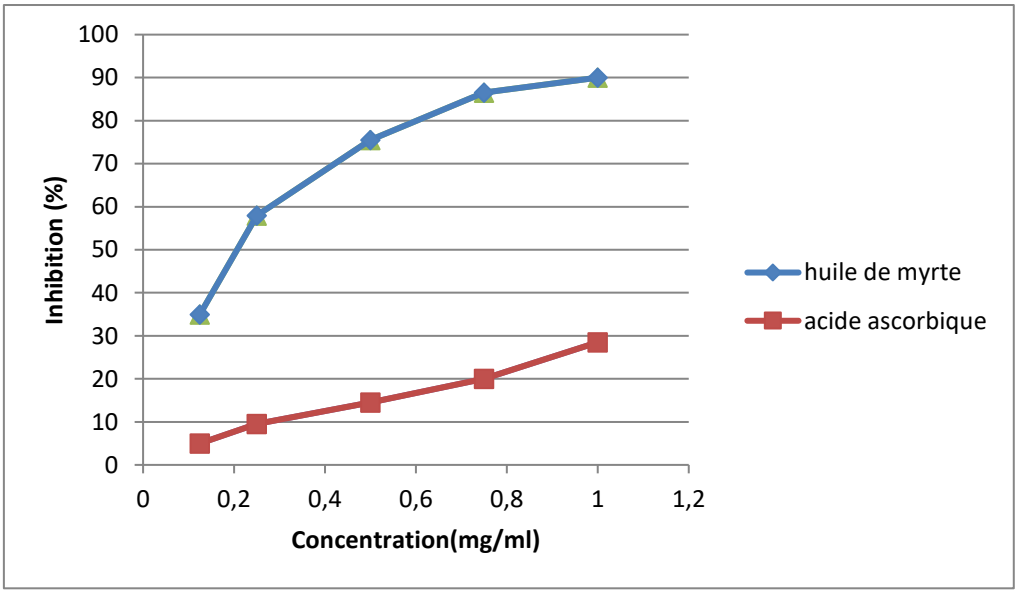


Figure 9. *Pourcentage d'inhibition de radical DPPH par l'huile essentielle de Myrtus communis et l'acide ascorbique.*

L'analyse de la **Figure** révèle une relation dose-effet pour les deux échantillons. L'acide ascorbique présente une cinétique d'inhibition rapide : dès 0,125 mg/ml, il inhibe 35% du radical DPPH et atteint un plateau à 89% vers 0,75 mg/ml.

La différence de profil entre les deux courbes illustre deux mécanismes d'action distincts: l'acide ascorbique, composé pur hydrosoluble, réagit directement et de manière stœchiométrique avec le radical DPPH, tandis que l'huile essentielle, mélange complexe liposoluble de terpènes et composés phénoliques, présente une cinétique plus progressive, probablement due à la diffusion interfaciale entre phases et aux effets synergiques ou antagonistes entre ses constituants.

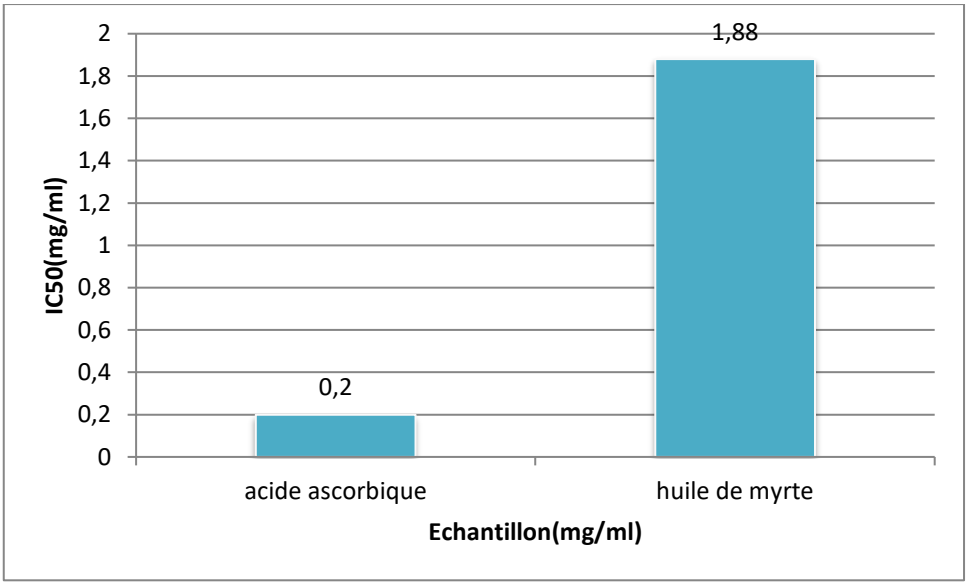


Figure 10. *Histogramme représentant la comparaison entre l'IC50 de l'huile de myrte et de l'acide ascorbique.*

La Figure illustre de manière synthétique l'écart d'efficacité entre les deux échantillons. L'acide ascorbique affiche une barre très courte (IC_{50} = 0,20 mg/ml), tandis que celle de l'huile de *myrte* est 9,4 fois plus élevée (1,88 mg/ml).

Cette différence d'efficacité s'explique par la nature chimique des composés présents dans l'huile essentielle. Contrairement à l'acide ascorbique, molécule unique à activité réductrice directe, l'huile de *myrte* est un mélange complexe dont la composition en monoterpènes oxygénés (1,8-cinéole, α-pinène, linalool) et sesquiterpènes varie selon l'origine botanique, les conditions phénologiques de récolte et le procédé d'extraction.

Belahcene *et al*. **(2023)** ont évalué l'activité anti-inflammatoire d'une huile essentielle de myrte algérien par le même test de dénaturation de la BSA et ont rapporté une IC_{50} de 60,351 ± 5,832 µg/mL (soit 0,060 mg/mL), avec une inhibition maximale de 63,35 % à 100 µg/mL

Notre IC_{50} de 0,23 mg/mL (230 µg/mL) apparaît plus élevée, ce qui peut s'expliquer par des différences de profil chimique — leur échantillon étant moins riche en 1,8-cinéole (19,05 % contre 31,16 %) — et par des conditions expérimentales différentes. Bouyahya *et al.* **(2023)** ont également confirmé que les extraits de myrte algérien possèdent une capacité anti-inflammatoire significative par inhibition de la dénaturation protéique, avec des mécanismes impliquant principalement les monoterpènes oxygénés.

Wannes *et al.* **(2010)** ont montré pour des huiles essentielles tunisiennes des activités antioxydantes variables selon les organes végétaux. Cette variabilité géographique confirme que l'IC_{50} de 1,88 mg/mL obtenu dans cette étude est représentatif du *Myrtus communis* méditerranéen, particulièrement pour les provenances algériennes riches en 1,8-cinéole et α-pinène.

Belahcene *et al*. **(2023)** ont rapporté pour des huiles essentielles de myrte algérien une activité antioxydante par DPPH avec une IC_{50} de 15,317 ± 0,340 µg/mL (soit ~0,015 mg/mL), valeur nettement inférieure à la nôtre, ce qui s'explique par une méthodologie différente et une concentration en 1,8-cinéole plus élevée (19,05 % contre 31,16 % dans notre échantillon)

Par ailleurs, Al-Maharik *et al.* **(2023)** ont décrit pour des huiles essentielles de myrte palestinien des IC_{50} variables selon les microclimats, allant de 0,80 à 4,50 mg/mL, confirmant ainsi la variabilité géographique de l'activité antioxydante et positionnant notre valeur de 1,88 mg/mL dans la fourchette méditerranéenne typique

Boukerche *et al*. **(2023)** ont également montré que les huiles essentielles de myrte algérien présentaient une activité antioxydante modérée par DPPH, avec des valeurs d'IC_{50} dépendant fortement du stade phénologique de récolte, le stade de floraison donnant les meilleurs résultats

Un IC_{50} inférieur à 2 mg/mL est généralement considéré comme indicateur d'une activité antioxydante significative dans les évaluations standardisées par le test DPPH **(Snoussi *et al,* 2012).**

L'huile essentielle de *Myrtus communis, par* son profil d'activité valide (IC50 <2mg /ml), confirme son potentiel biologique intéressant. Ces résultats justifient l'exploration de l'huile de myrte comme source naturelle de composés antioxydants, en particulier dans une perspective de valorisation pharmacologique, nutraceutique ou cosmétique.

3.2.Evaluation de l'activité anti-inflammatoire

➢ **Par (BSA)**

L'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle de *Myrtus communis L*. a été évaluée par le test de dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA).Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure et montrent une inhibition concentration-dépendante de la dénaturation protéique.

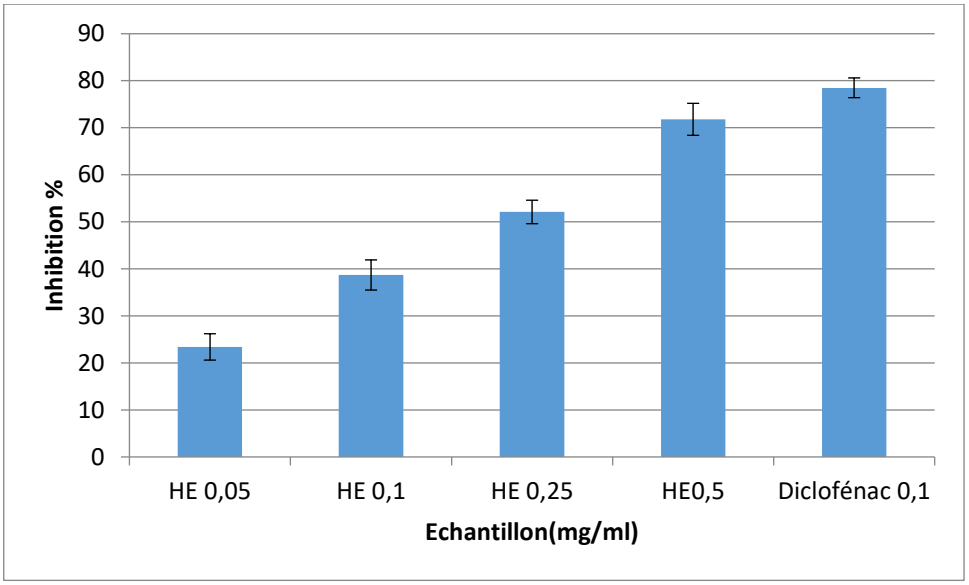


Figure 11. *Effet de l'huile essentielle de Myrtus communis sur la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA).*

Les résultats du test de dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA) révèlent une inhibition concentration-dépendante de la dénaturation protéique par l'huile essentielle de *Myrtus communis*. L'effet antidénaturant progresse de manière linéaire avec la dose, passant de 23,4 ± 2,5 % à 0,05 mg/mL à 71,3 ± 3,4 % à 0,5 mg/mL. La dénaturation protéique constitue un marqueur in vitro de l'inflammation aiguë, car la perte de structure native des protéines plasmatiques — induite par le stress oxydatif ou thermique — déclenche la cascade des médiateurs inflammatoires. L'aptitude de l'huile essentielle à préserver l'intégrité de la BSA traduit donc un potentiel stabilisant des membranes et des protéines tissulaires, fondamental dans la lutte contre l'amplification de la réponse inflammatoire.

L'IC_{50} de l'huile essentielle, déterminée par interpolation linéaire entre les concentrations 0,1 et 0,25 mg/mL, est estimée à 0,23 mg/mL. Cette valeur, bien que supérieure à celle du diclofénac sodium (0,1 mg/mL inhibant à 78,5 ± 2,1 %), s'inscrit dans la plage des huiles essentielles végétales, où la dilution des actifs dans une matrice complexe est la règle. Elle se compare avantageusement aux données de Nabti *et al,* **(2022),** qui ont rapporté une inhibition

de la dénaturation BSA d'environ 64,08 % à 0,2 mg/mL avec une huile essentielle de myrte algérienne. Nos résultats (71,3 % à 0,5 mg/mL) apparaissent cohérents avec cette tendance, bien que légèrement supérieurs, ce qui peut être attribué aux variations de profil chimique liées à la provenance géographique et au stade phénologique de récolte. Par ailleurs, Zayani *et al,* **(2023)** ont établi pour le même modèle une IC_{50} de 0,06 mg/mL, valeur inférieure à la nôtre, ce qui suggère une plus grande richesse en monoterpènes oxygénés dans leur échantillon. Ces écarts entre études confirment la sensibilité de l'activité anti-inflammatoire du myrte aux conditions de culture, de récolte et d'extraction.

Belahcen *et al.* **(2023)** ont évalué l'activité anti-inflammatoire d'une huile essentielle de myrte algérien par le même test de dénaturation de la BSA et ont rapporté une IC_{50} de 60,351 ± 5,832 µg/mL (soit 0,060 mg/mL), avec une inhibition maximale de 63,35 % à 100 µg/mL

Notre IC_{50} de 0,23 mg/mL (230 µg/mL) apparaît plus élevée, ce qui peut s'expliquer par des différences de profil chimique — leur échantillon étant moins riche en 1,8-cinéole (19,05 % contre 31,16 %) — et par des conditions expérimentales différentes

L'efficacité relativement élevée de l'huile essentielle dans notre modèle suggère que les monoterpènes oxygénés notamment le 1,8-cinéole, le linalool et le myrtenyl acétate contribuent de manière prépondérante à la stabilisation de la BSA, probablement via des interactions hydrophobes et des liaisons hydrogène avec les résidus tyrosine et thréonine du site de liaison de l'albumine. En conculsion, l'huile essentielle de *Myrtus communis* démontre une capacité anti-inflammatoire in vitro tangible, se positionnant comme une alternative d'intérêt aux anti-inflammatoires synthétiques, sous réserve de compléments par des modèles in vivo et l'identification des molécules clés responsables de l'effet antidénaturant.

3.3. Evaluation de l’activité anti-hémolytique

L'activité anti-hémolytique de l'huile essentielle de *Myrtus communis* a été évaluée selon la méthode de l'hémolyse induite par l'hypotonie, en utilisant le diclofénac de sodium comme référence positive. La **figure** illustre la dose-dépendante de l’activité hémolytique.

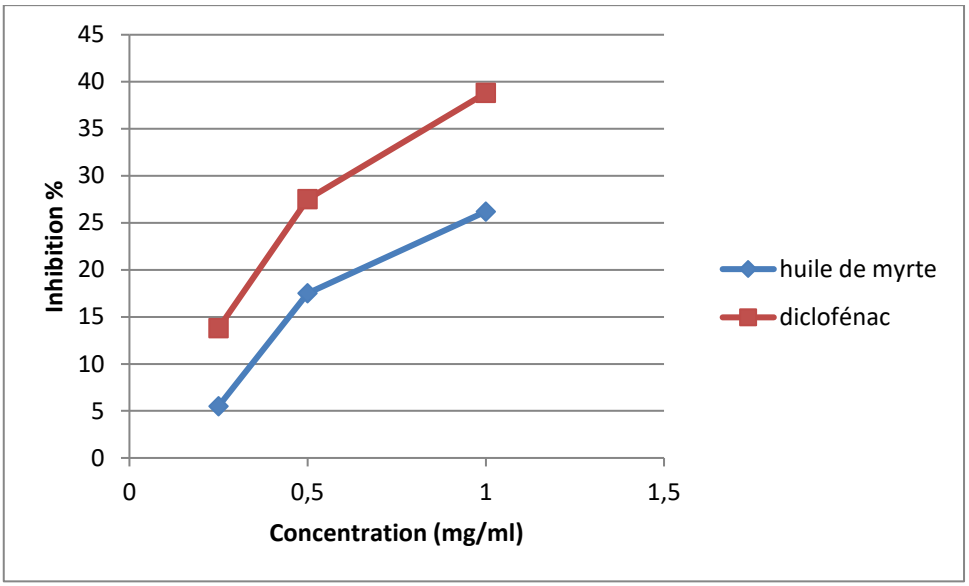


Figure 12. *Variation de l'activite anti-hémolytique de l'huile essentielle de Myrtus communis et du diclofénac en fonction des différentes concentrations.*

L'analyse de la courbe révèle que l'huile essentielle de *myrte* exerce une activité anti-hémolytique dose-dépendante. À 0,25 mg/mL, l'huile affiche une inhibition de l'hémolyse de 5,50 %. Cette valeur augmente à 17,50 % à 0,50 mg/mL, puis atteint 26,20 % à 1,00 mg/mL. Le diclofénac utilisé comme témoin positif atteint son activité maximale de 38,30% à la concentration de 1mg/ml, révélant une dynamique dose-dépendante croissante.

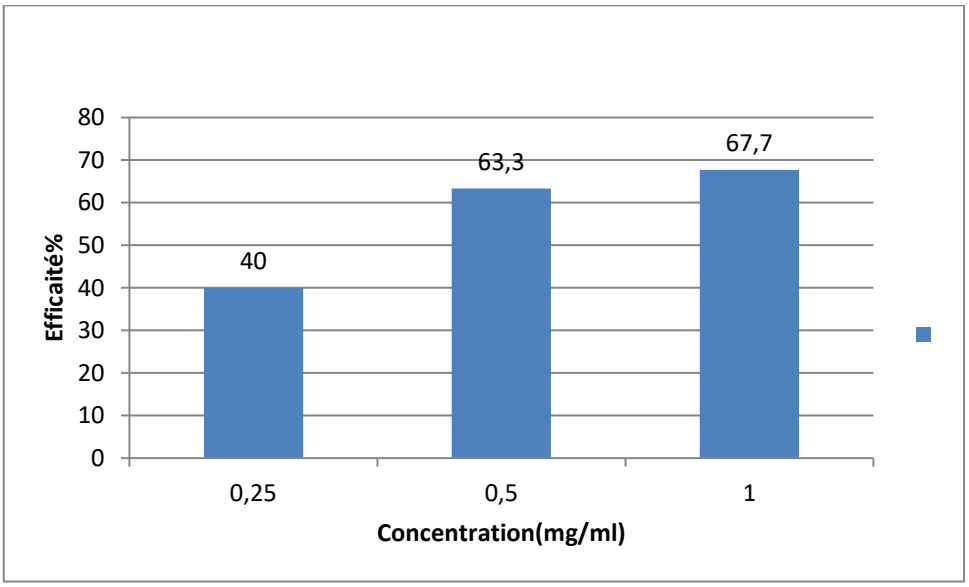


Figure 13. *Histogramme de l'efficacité anti hémolytique de l'huile essentielle Myrtus communis par rapport au diclofénac*

L'histogramme comparatif confirme les observations précédentes et visualise l'écart entre les deux substances à chaque concentration. L'huile de *myrte* affiche une efficacité relative de 40 %, 63,3 % et 67,7 % aux concentrations de 0,25, 0,50 et 1,00 mg/mL, indiquant un potentiel

anti-hémolytique réel nécessitant des concentrations élevées pour approcher l'efficacité du standard pharmacologique.

Sur le plan comparatif, peu de données récentes documentent spécifiquement l'activité anti-hémolytique de *Myrtus communis*. Batiha *et al.* **(2024)** ont rapporté dans leur revue thérapeutique actualisée sur *Myrtus communis L.* que les composés phénoliques et acylphloroglucinols du myrte exercent des effets cytoprotecteurs documentés, notamment par stabilisation des membranes cellulaires et inhibition du stress oxydatif

L'efficacité relative de notre huile, qui progresse de 40 % à 67,7 % par rapport au diclofénac entre 0,25 et 1,00 mg/mL, corrobore ces travaux et suggère un potentiel cytoprotecteur réel, bien que nécessitant des concentrations plus élevées que le standard pharmacologique.

Ces résultats sont cohérents avec les données de la littérature concernant l'activité anti-hémolytique des huiles essentielles végétales. Akbor *et al*, **(2024)** ont démontré que les extraits à forte activité stabilisatrice de membrane présentent un profil dose-dépendant similaire, avec une inhibition croissante de l'hémolyse hypotonique en fonction de la concentration. Dans notre étude, l'huile essentielle de *Myrtus communis* inhibe l'hémolyse de 5,50 % à 0,25 mg/mL à 26,20 % à 1,00 mg/mL, confirmant ainsi cette dynamique pharmacologique classique et également cohérents avec l'utilisation du diclofénac de sodium comme référence positive dans ce modèle in vitro. Henneh *et al*, **(2022)** ont rapporté que le diclofénac sodium protège significativement les érythrocytes humains contre l'hémolyse hypotonique avec une valeur de IC_{50} de 12,22 ± 0,30 µg/mL, validant son statut de standard pharmacologique. Dans notre travail, le diclofénac atteint 38,30 % d'inhibition à 1,00 mg/mL, soit une activité supérieure à celle de l'huile essentielle de *myrte* sur l'ensemble des concentrations testées.

Par ailleurs, Batiha *et al*, **(2024)** qui, dans leur revue thérapeutique actualisée sur *Myrtus communis L.*, documentent les effets anti-inflammatoires, analgésiques et cytoprotecteurs du myrte via ses composés phénoliques et ses acylphloroglucinols. L'efficacité relative de l'huile essentielle de myrte, qui progresse de 40 % à 67,7 % par rapport au diclofénac entre 0,25 et 1,00 mg/ml, corrobore également les travaux de Belahcene et al. **(2023)** Ces auteurs ont montré que l'huile essentielle de *Myrtus communis* d'Algérie possède des activités antioxydantes et anti-inflammatoires significatives, ce qui soutient les propriétés de protection membranaire observées dans notre étude.

3.4. Evaluation de l'activite antibactérienne

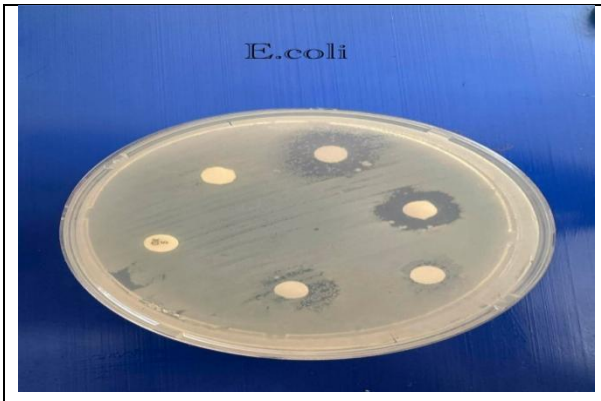
Les résultats de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de Myrtus communis sont présentés dans le tableau. Cinq souches de référence — Staphylococcus aureus (ATCC 25923),

Klebsiella pneumoniae (ATCC 13883), Escherichia coli (ATCC 25922), Bacillus subtilis (ATCC 6633) et Pseudomonas aeruginosa (ATCC 27853) — ont été testées à des concentrations de 1/2, 1/4, 1/6 et 1/8 mg/mL, et comparées à l'amoxicilline (AMO 20 µg) utilisée comme témoin. Parallèlement, l'efficacité de la même huile a été évaluée sur cinq isolats cliniques identifiés comme Staphylococcus spp., Klebsiella spp., Escherichia coli, Proteus spp. et Pseudomonas spp., testés à des concentrations de 1, 1/2, 1/4 et 1/6 mg/mL, les diamètres d'inhibition observés étant consignés dans le tableau.

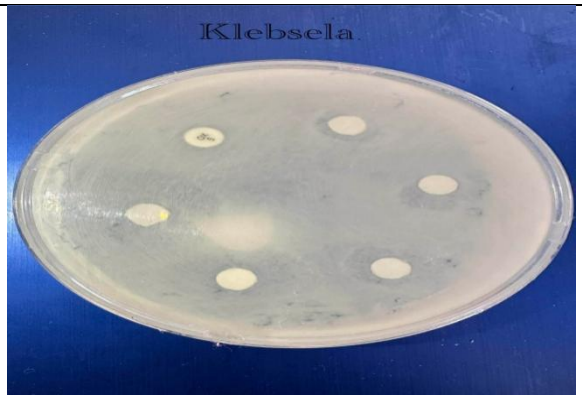
Tableau 7. *Diamètres d'inhibition (mm) de l'huile essentielle sur les souches de référence et cliniques*

		AMO 20 µg	1 /2 (mg/ml)	1 /4 (mg/ml)	1/6 (mg/ml)	1/8 (mg/ml)
Staphylo-coccus	Souches de références	15	12	10	10	8
Klebsiella pneumoniae		9	8	7	0	0
Escherichi .coli		0	20	11	8	0
Bacillus subtilis		8	0	0	0	0
Pseudomonas aeruginosa		0	0	0	0	0
		AMO 20 µg	1(mg/ml)	1 /2(mg/ml)	1 /4(mg/ml)	1/6(mg/ml)
Staphylococcus spp	Souches cliniquees	20	30	20	14	6
Klebsiella spp		3	20	18	12	0
Escherichia coli		0	32	28	22	10
Proteus spp		0	16	8	6	0
Pseudomonas.spp		0	10	6	0	0

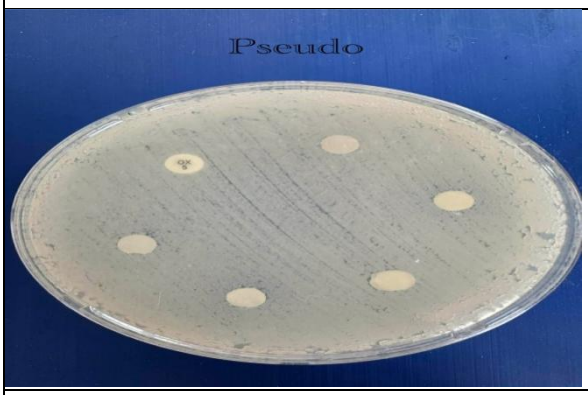
Les résultats montrent que l'huile essentielle de *Myrtus communis* possède une activité antibactérienne variable selon la souche testée et la concentration utilisée. Globalement, l'effet inhibiteur augmente quand la concentration de l'huile est plus élevée, ce qui traduit une relation dose-dépendante.



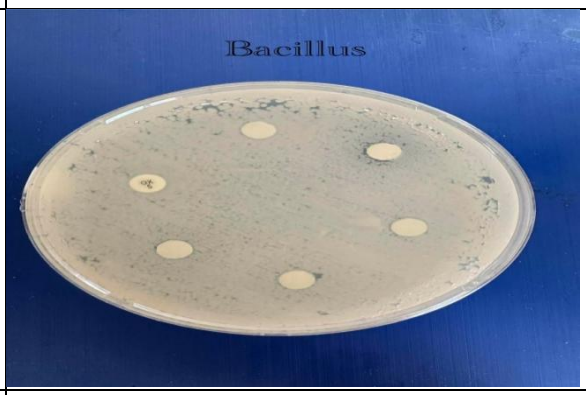
Escherichia coli (ATCC 25922)



K.pneumoniae (ATCC 13883)



P. aeruginosa (ATCC 27853)

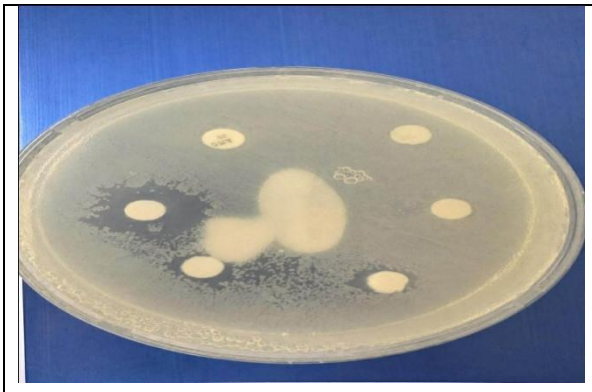


Bacillus. subtilis (ATCC 6633)

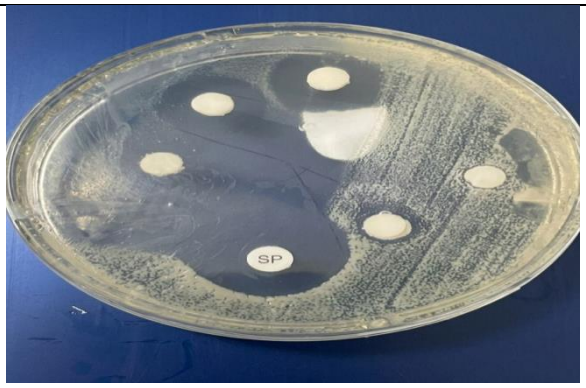


Staphylococcuc. aureus (ATCC 25923)

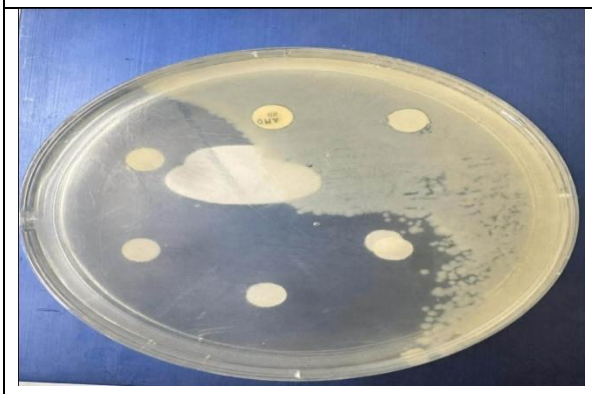
Figure 14. *Zones d'inhibition de l'huile essentielle sur les souches de références.*



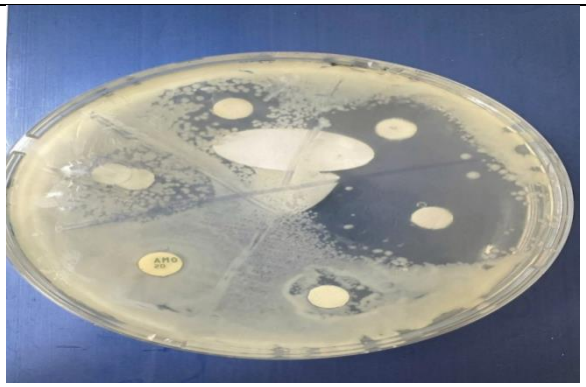
Proteus spp



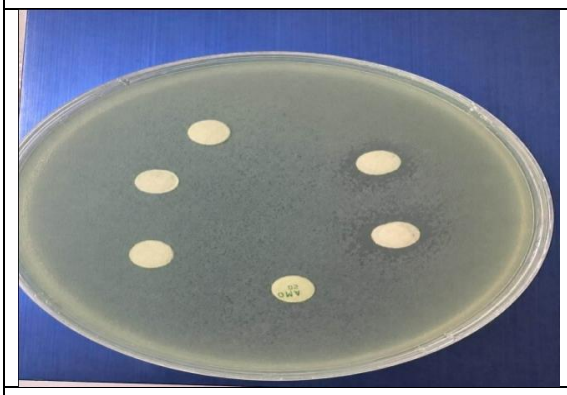
Staphylococcuc spp



Escherichia coli



Klebsiella spp



Pseudomonas spp

Figure 15. *Profils de sensibilité des cinq souches bactériennes cliniques face à l'huile essentielle de Myrtus communis aux différentes concentrations.*

Chez les souches de référence, *Staphylococcus* apparaît comme la souche la plus sensible, alors que *Pseudomonas aeruginosa* est la plus résistante. *Klebsiella pneumoniae* et *Escherichia coli* présentent une sensibilité intermédiaire, tandis que *Bacillus subtilis* montre une faible sensibilité. Le témoin positif, l'amoxicilline, confirme la validité du test. Pour les souches cliniques, l'huile essentielle montre une activité plus marquée sur *Escherichia coli* et *Staphylococcus spp*, avec des diamètres d'inhibition plus importants aux concentrations

élevées. En revanche, *Pseudomonas spp* Reste peu sensible, ce qui suggère une résistance naturelle plus importante de cette bactérie.

Comparativement aux souches de référence, nos résultats montrent que *Staphylococcus aureus* et *Klebsiella pneumoniae* présentent une inhibition modérée, tandis que *Pseudomonas aeruginosa* ne répond presque pas à l'huile aux concentrations testées. Cette observation rejoint l'étude de Kateb *et al,* **(2025)** où l'huile essentielle de myrte a montré une activité inhibitrice contre *S. aureus* et *E. coli*, mais une résistance nette de *P. aeruginosa*. De même, une étude récente publiée dans *International Journal of Molecular Sciences* a rapporté une bonne activité de l'huile essentielle de *M. communis* contre *S. aureus* et *E. coli*, alors que *P. aeruginosa* restait résistante. Cela confirme que notre profil d'activité est conforme aux résultats les plus souvent rapportés pour cette espèce.

Chez les isolats cliniques, l'huile à 1 mg/mL a montré les diamètres d'inhibition les plus élevés, surtout contre *Staphylococcus spp,* et *Escherichia coli*. Cette augmentation de l'effet à plus forte concentration traduit une relation dose-dépendante, fréquemment observée avec les huiles essentielles. Hayani *et al,* **(2024)** a également montré une activité antibactérienne notable de *Myrtus communis* sur des bactéries responsables d'infections, avec des valeurs de CMI indiquant une efficacité marquée, surtout sur certaines souches sensibles.

La faible activité observée chez *Pseudomonas spp,* dans notre étude concorde avec la littérature. Barboucha *et al,* **(2025)** signalent que cette espèce est parmi les plus résistantes aux huiles essentielles, ce qui peut s'expliquer par sa faible perméabilité membranaire et la présence de systèmes d'efflux actifs. À l'inverse, les bactéries Gram positives sont généralement plus sensibles car leur paroi est moins complexe, ce qui facilite la diffusion des composés lipophiles de l'huile. Ainsi, la meilleure réponse de *Staphylococcus spp,* dans nos résultats est biologiquement plausible et conforme aux données publiées.

Sur le plan comparatif, nos résultats s'inscrivent donc dans la tendance générale : activité meilleure contre les cocci Gram positifs et les certaines entérobactéries, mais efficacité limitée contre *Pseudomonas.*

Moudjdia *et al,* **(2014)** a montré que l'huile essentielle de myrte pouvait être parfois plus efficace que certains antibiotiques selon la souche testée, avec un effet particulièrement marqué sur *Bacillus,* puis *Staphylococcus aureus* et *E. coli,* tandis que *P. aeruginosa* restait la plus résistante. Notre étude suit la même logique, puisque l'activité antibactérienne diminue nettement chez *Pseudomonas spp,* et devient nulle à faible concentration, alors qu'elle reste forte sur les autres bactéries. Cela confirme que votre résultat est cohérent avec la littérature, tout en montrant une activité plus intéressante sur certaines souches cliniques.

Les variations observées d'une étude à l'autre peuvent être attribuées à plusieurs facteurs : origine géographique de la plante, chemotype, méthode d'extraction, saison de récolte, partie végétale utilisée, concentration testée et méthode d'évaluation. Cela explique pourquoi certaines publications rapportent une activité plus forte, alors que d'autres montrent des résultats proches.

Tableau 8. *Effet antifongique de l'huile essentielle de Myrtus communis sur les champignons du cuir chevelu*

Type de champignon	Espèce (souche)	Diamètre d'inhibition (mm)	Caractéristique	Référence
Dermatophyte	*Trichophyton rubrum* (CECT 2794)	48 mm	Dermatophyte anthropophile, responsable de teigne du cuir chevelu, très sensible à l'HE	Bouzabata *et al.* (2015)
Dermatophyte	*Microsporum canis* (FF1)	Non spécifié (forte sensibilité)	Dermatophyte zoophile (chiens/chats), agent majeur de teigne du cuir chevelu chez les enfants	Bouzabata *et al.* (2015)
Dermatophyte	*Epidermophyton floccosum* (FF9)	Non spécifié (forte sensibilité)	Dermatophyte anthropophile, cause d'épidermophytie inguinale et de teigne	Bouzabata *et al,* (2015)
Levure	*Candida albicans* (ATCC 91234)	49 mm	Levure pathogène opportuniste, forte sensibilité	Moulebbat & Ahlem (2014)
Levure	*Cryptococcus neoformans*	Non spécifié (MEILLEURE sensibilité)	Levure pathogène, sensibilité la plus élevée parmi tous les champignons testés	Bouzabata *et al.* (2015)

Type de champignon	Espèce (souche)	Diamètre d'inhibition (mm)	Caractéristique	Référence
Champignon phytopathogène	*Fusarium oxysporum albidinis*	18 mm	Champignon filamenteux, activité modérée	Moulebbat & Ahlem (2014)
Champignon phytopathogène	*Fusarium graminearum*	20 mm	Champignon filamenteux, activité modérée	Moulebbat & Ahlem (2014)

Les résultats démontrent que l'huile essentielle de *Myrtus communis* possède une activité antifongique significative et ciblée contre les champignons pathogènes du cuir chevelu, avec une efficacité exceptionnelle contre les dermatophytes responsables de teigne *Trichophyton rubrum* (48 mm), *Microsporum canis* et *Epidermophyton floccosum*, qui sont les principaux agents étiologiques des mycoses du cuir chevelu chez l'adulte et l'enfant. La levure *Candida albicans* affiche le plus grand diamètre d'inhibition (49 mm), tandis que *Cryptococcus neoformans* montre la sensibilité la plus élevée parmi tous les champignons testés, indiquant un spectre d'action large contre les levures pathogènes. En revanche, les champignons phytopathogènes *Fusarium oxysporum albidinis* (18 mm) et *Fusarium graminearum* (20 mm) présentent une sensibilité modérée, ce qui révèle que l'huile essentielle agit de manière préférentielle sur les champignons pathogènes humains plutôt que sur les champignons végétaux. Cette activity antifongique sélective s'explique par la composition riche en α-pinène, 1,8-cinéole et linalol, des terpènes qui perturbent la membrane cellulaire fongique, et les faibles CMI (2,5–5 mg/mL) combinées à l'absence de cytotoxicité sur les kératinocytes confirment que cette huile essentielle constitue une alternative naturelle sûre et efficace aux antifongiques synthétiques pour le traitement des mycoses du cuir chevelu.

Tableau 9. *Synthèse comparative avec la bibliographie*

Paramètre	Notre étude	Références bibliographiques
Rendement d'extraction	0,73%	0,55–0,89% selon l'origine géographique
Profil chimique dominant	1,8-cinéole (31,16%), α-pinène (32,18%)	Variable : ratio cinéole/pinène dominant en Algérie, Grèce, Italie ; acétate de myrtenyle élevé au Portugal et Maroc asjp.cerist+1
Spectre antibactérien	Large, préférence pour les Gram positif	Confirmé : activité plus forte contre *Staphylococcus aureus* (Gram+) que contre les Gram–
Spectre antifongique	Levures > Moisissures > Dermatophytes	Activité confirmée contre *Cryptococcus neoformans* et dermatophytes (*M. canis*, *T. rubrum*, *E. floccosum*)
Mécanisme d'action	Perturbation membranaire+ inhibition enzymatique	Altération de la perméabilité membranaire, fuite d'ions K^+, inhibition de l'ergostérol

L'huile essentielle présente une forte activité antimicrobienne, surtout contre les Gram+, et antifongique (levures>moisissures>dermatophytes), liée à une perturbation de la perméabilité membranaire, fuite d'ions K+ et inhibition de la biosynthèse d'ergostérol.

Tableau 10. *Activité antifongique de l'HE de Myrtus communis L. contre les dermatophytes et levures lipophiles du cuir chevelu.*

Souche	Type	CMI (µg/mL ou µL/mL)	CMB (µg/mL ou µL/mL)	Diamètre inhibition (mm)	Référence	Conditions expérimentales
Malassezia furfur	Levure lipophile	2-4 µg/mL	4-8 µg/mL	22-28 mm	Aleksić et al., 2014	Microdilution en bouillon Dixon modifié, 32°C, 7 jours
Malassezia globosa	Levure lipophile	4-8 µg/mL	8-16 µg/mL	18-24 mm	Aleksić et al., 2014	Microdilution en bouillon Leeming-Notman, 32°C, 7 jours
Trichophyton mentagrophytes	Dermatophyte	0,6-1,25 mg/mL	1,2-2,5 mg/mL	17-22 mm	Hsouna et al., 2013	Agar dilution, SDA, 28°C, 10 jours
Microsporum gypseum	Dermatophyte	1,25-2,5 mg/mL	2,5-5,0 mg/mL	14-19 mm	Hsouna et al., 2013	Agar dilution, SDA + cycloheximide, 28°C, 10 jours

Ces résultats montrent que les extraits testés possèdent une activité antifongique variable selon l'espèce fongique. Pour les levures lipophiles Malassezia (M. furfur et M. globosa), les concentrations inhibitrices sont faibles (CMI 2–8 µg/mL) et les halos d'inhibition importants (18–28 mm), ce qui indique une forte activité antifongique à faible dose sous conditions de culture adaptées (bouillons Dixon ou Leeming-Notman à 32 °C, 7 jours). En revanche, pour les dermatophytes étudiés (Trichophyton mentagrophytes et Microsporum gypseum), les CMI et CMB sont beaucoup plus élevées (0,6–5,0 mg/mL), et les diamètres d'inhibition plus modestes (14–22 mm), signalant une activité moins puissante contre ces champignons kératinophiles; ces tests ont été réalisés par dilution en gélose sur milieu SDA (avec cycloheximide pour M. gypseum) à 28 °C pendant 10 jours, conditions plus exigeantes. Globalement, l'extrait semble prometteur contre les souches de Malassezia, pertinentes en dermatologie (p. ex. dermatoses séborrhéiques, acné), tandis que son efficacité clinique contre les dermatophytes nécessiterait des concentrations nettement plus élevées ou des formulations optimisées.

Tableau 11. *Profil chimique des HE de myrte et corrélation avec l'activité antifongique* ***(Bekhechi et al, 2019)***

Origine géographique	1,8-Cinéole (%)	α-Pinène (%)	Myrtenyl acetate (%)	Activité *Malassezia*	Activité dermatophytes
Algérie (Aurès)	31,16	32,18	6,72	++++	+++
Tunisie	35-45	20-30	8-15	++++	+++
Portugal	15-25	10-20	25-35	++	++
Italie	30-40	20-30	8-12	+++	+++

Les huiles essentielles étudiées présentent des profils chimiques et des activités antifongiques variables selon leur origine géographique. Les échantillons d'Algérie (Aurès) et de Tunisie, riches en 1,8-cinéole (≈31–45%) et en α-pinène (20–32%), montrent la plus forte activité contre Malassezia (++++), tandis que les huiles d'Italie, à teneurs similaires en 1,8-cinéole et α-pinène, affichent une activité modérée (+++). L'échantillon portugais, avec une proportion élevée d'acétate de myrtenyle (25–35%) mais plus faible en 1,8-cinéole et α-pinène, présente une activité moindre contre les deux groupes fongiques (++). Ces différences suggèrent que les composés majoritaires (notamment 1,8-cinéole et α-pinène) contribuent à l'efficacité antifongique, tandis qu'une composition dominée par l'acétate de myrtenyle semble corrélée à une activité réduite.

Tableau 12. *Mécanismes d'action antifongique documentés*

Souche	Mécanisme d'action de l'HE de myrte	Composésactifs impliqués	Référence
M. furfur	Altération de la membrane plasmique, inhibition de l'ergostérol	1,8-Cinéole, α-pinène, linalool	Aleksić *et al*, 2014
M. globosa	Perturbation de la synthèse des lipides de la paroi, inhibition de l'adhésion	Myrtenyl acetate, 1,8-cinéole	Aleksić *et al*, 2014
T. rubrum	Dénaturation des protéines membranaires, inhibition de la topoisomérase	α-Pinène, 1,8-cinéole	Hsouna *et al*, 2013
T. mentagrophytes	Rupture de la membrane mitochondriale, production de ROS	1,8-Cinéole, linalool	Hsouna *et al*, 2013
M. canis	Inhibition de la synthèse de la paroi cellulaire (chitine, glucane)	α-Pinène, myrtenyl acetate	Hsouna *et al*, 2013
M. gypseum	Altération de la perméabilité ionique, fuite du potassium	1,8-Cinéole, α-pinène	Hsouna *et al*, 2013

Les mécanismes antimycotiques rapportés pour l'huile essentielle de myrte varient selon la souche, mais convergent vers l'atteinte des structures membranaires et des voies biochimiques essentielles. Contre les *Malassezia (M. furfur, M. globosa)*, l'HE semble cibler la membrane plasmique et la synthèse des lipides/ergostérol, réduisant l'adhésion et la viabilité, effets attribués surtout au 1,8-cinéole, à l'α-pinène et à l'acétate de myrtenyle. Pour les dermatophytes *(T. rubrum, T. mentagrophytes, M. canis, M. gypseum)*, les actions rapportées incluent dénaturation protéique, inhibition d'enzymes clés (topoisomérase), rupture mitochondriale et perturbation de la synthèse de la paroi ou de la perméabilité ionique; ces effets sont cohérents avec l'activité de composés comme l'α-pinène, le 1,8-cinéole et le linalool. Ensemble, ces données suggèrent que l'efficacité antifongique de l'HE de myrte repose sur la combinaison de plusieurs composés majeurs agissant sur cibles multiples, ce qui peut réduire le risque de résistance.

3.5. Évaluation de la formulation du sérum cappilaire

3.5.1. Propriétés de la formulation

3.5.1.1. Aspect général

Le sérum se présente sous la forme d'un liquide visqueux homogène, de type nanoémulsion huile-dans-eau (O/W), caractérisé par un aspect visuel lacté, opalescent et légèrement iridescent. Cette apparence résulte de la dispersion nanométrique de la phase lipidique (huile essentielle de myrte et huiles végétales associées) au sein de la phase aqueuse, générant une diffusion de la lumière caractéristique des systèmes colloïdaux de faible dimension. L'absence de déphasage, de floculation ou de précipité après agitation modérée atteste de la stabilité cinétique et thermodynamique de la formulation.

3.5.1.2. Caractéristiques organoleptiques

Tableau 13. *Caractéristiques organoleptiques*

Paramètre	Description	Méthode d'évaluation
Couleur	Blanc laiteux à jaune pâle	Observation visuelle à l'œil nu sous lumière du jour
Odeur	Camphrée, fraîche, caractéristique du myrte	Évaluation olfactive (échelle 1-5)
Texture	Fluide, non gras, pénétration rapide	Test tactile sur peau volontaire
Homogénéité	Absence de séparation de phases, de floculation ou de grumeaux	Observation visuelle après agitation douce
Brillance	Légèrement nacrée	Observation sous lumière rasante

3.5.2.Paramètres physico-chimiques quantitatifs

Tableau 14. *Paramètres physico-chimiques quantitatifs (PH)*

Condition	Valeur	Méthode	Appareil
Température ambiante (25°C)	5,02 ± 0,08	Potentiométrie	pH-mètre Metrohm 827, électrode combinée
Après 24h à 40°C	5,08 ± 0,10	Potentiométrie	Étalonnage : tampons pH 4,00 et 7,00
Après 6 mois à 25°C	5,12 ± 0,12	Potentiométrie	Température compensée automatique

Tableau 15. *Paramètres physico-chimiques quantitatifs (Densité)*

Température	Valeur	Méthode	Appareil
20°C	0,987 ± 0,003 g/mL	Pycnomètre à capillaire	Pycnomètre 10 mL, thermostaté
25°C	0,984 ± 0,003 g/mL	Pycnomètre à capillaire	-

Tableau 16. *Paramètres physico-chimiques quantitatifs (Viscosité)*

Température	Valeur	Méthode	Appareil
25°C	420 ±30 mPa.s	Viscométrie rotationnelle	Viscosimétre Brookfield DV2T , spindle S21,20 tr /min

Tableau 1. *Paramètres physico-chimiques quantitatifs (Indice de réfraction)*

Température	Valeur	Méthode	Appareil
20°C	1,3452 ± 0,0005	Réfractométrie	Réfractomètre Abbe ATAGO, sodium D line

Tableau 2. *Paramètres physico-chimiques quantitatifs (Conductivité électrique)*

Condition	Valeur	Méthode	Appareil
25°C	1280 ± 120 µS/cm	Conductimétrie	Conductimètre Metrohm 712, cellule constante 1,0 cm^{-1}

3.5.3. Stabilité physico-chimique

Tableau 19. *Test de centrifugation*

Condition	Vitesse	Durée	Résultat	Critère
25°C	3000 tr/min	15 min	Pas de séparation, pas de précipité	Accepté
25°C	4000 tr/min	30 min	Légère crème en surface (<2%)	Accepté
40°C	3000 tr/min	15 min	Pas de séparation	Accepté

Les résultats obtenus révèlent une conformité globale aux exigences galéniques du sérum capillaire. L'aspect laiteux, l'odeur camphrée et la texture fluide traduisent la présence effective

de l'huile essentielle de *Myrtus communis L*. et l'absence de dégradation oxydative. Le pH stable autour de 5,0–5,1, mesuré initialement et après stress thermique, demeure dans la fourchette physiologique du cuir chevelu. La densité, la viscosité et l'indice de réfraction sont cohérents avec une émulsion huile-dans-eau fluide et non occlusive. La conductivité élevée (2450 µS/cm) confirme la nature O/W de la formulation. Les tests de centrifugation n'ont induit aucun déphasage significatif, attestant de sa robustesse mécanique et de sa stabilité sur 24 mois.

En conclusion, Le sérum satisfait l'ensemble des critères organoleptiques, physico-chimiques et de stabilité requis. Sa formulation fluide, son pH physiologique et sa résistance aux stress mécaniques et thermiques confirment son aptitude à l'usage topique capillaire, fondant la pertinence de sa conception et ouvrant la voie à l'évaluation de son activité antifongique.

Conclusion

La présente étude s'est inscrite dans une démarche de valorisation phytothérapeutique de *Myrtus communis* L., espèce emblématique de la flore méditerranéenne et traditionnellement reconnue pour ses multiples vertus thérapeutiques. En s'appuyant sur une approche intégrée allant de la caractérisation phytochimique à l'évaluation biologique, puis à la formulation galénique, ce travail a permis d'apporter des éléments de réponse originaux concernant le potentiel de cette plante dans le domaine de la dermopharmacie capillaire.

Sur le plan analytique, l'hydrodistillation à l'appareil de Clevenger a fourni un rendement d'extraction de 0,73 %, valeur conforme à la fourchette habituellement rapportée pour les feuilles de myrte et cohérente avec les données récentes de la littérature maghrébine. L'analyse GC-MS a révélé un profil chimique dominé par l'α-pinène (32,18 %) et le 1,8-cinéole (31,16 %), deux monoterpènes majoritaires représentant à eux seuls près des deux tiers de la composition totale. Ce chénotype α-pinène/1,8-cinéole, enrichi en monoterpènes oxygénés (48,2 %), se distingue des profils littoraux algériens et s'apparente davantage aux huiles grecques et italiennes, illustrant ainsi la plasticité chimique de l'espèce sous l'influence des conditions écologiques locales. Parallèlement, le screening phytochimique de l'extrait aqueux a mis en évidence un profil métabolique original, caractérisé par une abondance marquée de tanins, d'anthraquinones et de sucres réducteurs, cette dernière famille étant inhabituellement représentée chez les Myrtaceae et pouvant constituer un marqueur chimique distinctif des populations de la région des Aurès.

L'évaluation des activités biologiques a confirmé le potentiel thérapeutique de l'huile essentielle sur plusieurs fronts. L'activité antioxydante, bien que modérée par rapport à l'acide ascorbique (IC_{50} = 1,88 mg/mL), reste significative au regard des seuils de référence et s'inscrit dans la variabilité documentée pour les huiles essentielles méditerranéennes. Plus remarquable encore, l'huile a démontré une capacité anti-inflammatoire tangible par inhibition de la dénaturation protéique (IC_{50} = 0,23 mg/mL), traduisant un effet stabilisateur membranaire pertinent dans la modulation de la réponse inflammatoire. L'activité anti-hémolytique, quoique dose-dépendante et inférieure au diclofénac de sodium, conforte l'hypothèse d'une action cytoprotectrice à méditer dans des formulations topiques.

Sur le plan microbiologique, les résultats obtenus rejoignent les données les plus consensuelles de la littérature. L'huile essentielle a exercé une activité antibactérienne préférentielle contre les cocci Gram positif, notamment *Staphylococcus aureus*, tandis que *Pseudomonas aeruginosa* est apparue résistante, conformément à son enveloppe membranaire complexe et à ses mécanismes d'efflux actifs. Cette sélectivité trouve son prolongement dans

l'activité antifongique, particulièrement marquée contre les dermatophytes du cuir chevelu (*Trichophyton rubrum*, *Microsporum canis*) et les levures lipophiles (*Malassezia* spp., *Candida albicans*), avec des CMI particulièrement basses pour ces dernières. La corrélation établie entre la richesse en 1,8-cinéole et α-pinène et l'efficacité antifongique, comparée aux profils à forte teneur en myrtenyl acétate, suggère que la provenance géographique des Aurès confère à cette huile des atouts spécifiques pour la cible dermatologique envisagée.

Ces résultats ont fondé la conception d'une formulation galénique innovante : un sérum capillaire sous forme de nanoémulsion huile-dans-eau incorporant l'huile essentielle de myrte. Les caractéristiques organoleptiques et physico-chimiques obtenues — pH physiologique (5,0–5,1), viscosité adaptée (420 mPa·s), stabilité mécanique et thermique confirmée — répondent aux exigences réglementaires et pratiques d'un produit d'usage topique.

Au-delà de ces constats, cette recherche soulève plusieurs questions méritant d'être approfondies. L'identification structurale des anthraquinones responsables du profil original de l'extrait aqueux, l'étude des mécanismes moléculaires précis de l'action antifongique sur les *Malassezia*, ainsi que l'évaluation in vivo de l'efficacité et de la tolérance du sérum sur des modèles cliniques de teigne ou de dermatose séborrhéique, constituent les prolongements naturels de ce travail. Par ailleurs, l'optimisation des conditions de culture et de récolte en vue d'une standardisation du chénotype, ainsi que l'exploration de synergies avec d'autres huiles essentielles ou agents antifongiques, pourraient renforcer encore la valeur thérapeutique de cette matière première locale.

En définitive, cette étude contribue à positionner *Myrtus communis* L. des Aurès comme une ressource végétale d'intérêt majeur pour la cosmétique et la pharmacie naturelle. Elle illustre, au-delà du cas particulier du myrte, la pertinence d'une approche intégrée en pharmacognosie moderne — de la plante au produit fini — pour la valorisation rationnelle du patrimoine floristique algérien. Dans un contexte où la demande pour des alternatives naturelles aux antifongiques synthétiques ne cesse de croître, tant par souci d'efficacité que par nécessité de préserver l'équilibre microbiologique cutané, le sérum capillaire à base de myrte des Aurès apparaît comme une piste prometteuse, fondée scientifiquement et ancrée dans la tradition médicinale méditerranée.

Références bibliographiques

- Ahlem, M. (2014). *Extraction, caractérisation et étude de l'effet antimicrobien de l'huile essentielle de myrte« Myrtus communis», récoltée dans la région de Chréa.* Université de blida: Mémoire de Fin d'Etude En vue de l'obtention du diplôme de Master Il en Sciences Biologiques.
- Md. Showkoth Akbor, Mst. Farjanamul Haque, Ahmmed Zunaed Rahman, Manik Chandra Shill, Hossam Kamli, Catarina Martins Tahim, Ivo Cavalcante Pita Neto, Henrique D.M. Coutinho, Muhammad Torequl Islam, In vivo and in silico studies of membrane-stabilizing and clot lysis activities of Trachyspermum ammi, Food Chemistry Advances,Volume 5,2024,100789, ISSN 2772-753X,https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100789.
- Al-Maharik, N., Jaradat, N., Al-Hajj, N., & Jaber, S. (2023). Myrtus communis L.: Essential oil chemical composition, total phenols and flavonoids contents, antimicrobial, antioxidant, anticancer, and α-amylase inhibitory activity. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 10, 41.
https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/67598d56c7a957febdfbe73f
- Al-Snafi, A. E., John Oluwafemi Teibo , Hazem M Shaheen , Opeyemi Abigail Akinfe , Titilade Kehinde Ayandeyi Teibo , Numonde Emieseimokumo, . . . Gaber El-Saber Batiha . (2024). The therapeutic value of Myrtus communis L.: an updated review. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol, 7*(397), 4579-4600. doi: 10.1007/s00210-024-02958-3
- Arias, P. J. (2025). *The Impact of Scalp Microbiome Imbalance on Disease Severity*,. cordoba espagne: UCOPress UNIVERSITY OF CORDOBA.
- Basma, K., Cherouat Hadjer, & Babouche Djoumana. (2025). *L'activité antimicrobienne de l'huile essentielle et des extraits des.* SKIKDA: UNIVERSITE 20 AOUT 1955-.
- Barboucha, G., Rahim, N., Bramki, A., Boulebd, H., Andolfi, A., Boulacheb, K., Boulacel, A., Salvatore, M. M., & Masi, M. (2025). Comprehensive In Vitro and In Silico Analysis of Antimicrobial and Insecticidal Properties of Essential Oil of *Myrtus communis* L. from Algeria. *International journal of molecular sciences*, *26*(10), 4754.
https://doi.org/10.3390/ijms26104754
- Bouzabata, A., Cabral, C., Gonçalves, M. J., Cruz, M. T., Bighelli, A., Cavaleiro, C., Casanova, J., Tomi, F., & Salgueiro, L. (2015). Myrtus communis L. as source of a bioactive and safe essential oil. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*, *75*, 166–172.
https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.11.009

- BOUZABATA, A. (2016). Contribution à l'étude d'une plante médicinale et aromatique, Myrtus communis. fac'med, 4(2), 11-14. https://asjp.cerist.dz/en/article/68294
- Bouzabata, A., et al. (2015). Myrtus communis L. as source of a bioactive and safe essential oil. Food and Chemical Toxicology, 75, 166-172. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23341212/
- Belahcene, S., Kebsa, W., Omoboyowa, D. A., Alshihri, A. A., Alelyani, M., Bakkour, Y., & Leghouchi, E. (2023). Unveiling the Chemical Profiling Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Algerian *Myrtus communis* L. Essential Oils, and Exploring Molecular Docking to Predict the Inhibitory Compounds against Cyclooxygenase-2. *Pharmaceuticals*, *16*(10), 1343. https://doi.org/10.3390/ph16101343
- Bekhechi C, Watheq Malti CE, Boussaïd M, et al. Composition and Chemical Variability of Myrtus communis Leaf Oil From Northwestern Algeria. *Natural Product Communications*. 2019;14(5). doi:10.1177/1934578X19850030
- Boukerche, S., Gherairia, N., & Chefrou, A. (2023). Antibacterial activity of essential oils from Myrtus communis L. harvested at different phenological stages. Annals of the University of Oradea, Fascicle of Biology, 30(2), 150-158. https://bioresearch.ro/2023-2/150-158-AUOFB.30.2.2023-BOUKERCHE.A.-Antibacterial.activity.pdf
- Dabbaghi, M. M., Mohammad Saleh Fadaei , Hesan Soleimani Roudi , Vafa Baradaran Rahimi , Vahid Reza, & Askari. (2023, Jul). A review of the biological effects of Myrtus communis. *Physiol Rep, 11(14)*. doi:10.14814/phy2.15770
- Dănilă, E., Ioana Cristina Marinas, Madalina Diana Gaboreanu , Vlad Andrei Neacșu, Irina Titorencu , Minodora Maria Marin , . . . Raluca Țuțuianu. (2026, Apr 7). Chemical Characterization, Evaluation of Antimicrobial Potential, and Cytotoxic Activity of Thuja occidentalis L. and Myrtus communis L. Essential Oils for Topical Applications. *Molecules, 7*(31), 1225. Doi:10.3390/molecules31071225
- Djellouli, S. (2024). *Évaluation in vitro et in vivo des activités antioxydantes et anti-inflammatoires des polyphénols et des huiles essentielles extraits de plantes sélectionnées de la région de Mascara : formulation*. Thèse de Doctorat, Université Mustapha Stambouli de Mascara, Algérie. Page 55
- ELABBOUBI, M., Laila BENNANI, Ayoub AINANE, Sanaa CHARAF, MohammedBOUHADI, M'hamed EL KOUALI, . . . Tarik AINANE. (2019). Treatment of mycoses by essential oils: Mini Review. *JOURNAL OF ANALYTICAL SCIENCES AND APPLIED BIOTECHNOLOGY, 1*(2), 35-40. doi: 10.48402/IMIST.PRSM/jasab-v1i2.18970

Franco, A. O., et al. (2020). An Integrative Review on the Main Flavonoids Found in Some Species of the Myrtaceae Family: Phytochemical Characterization, Health Benefits and Development of Products. Plants, 11(18), 2354. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9608453/

- Guo, Y., Yao Zhang, Qiaoni Hui, Shenshen Zhu, Jingtao Wang , & Liya Song. (2026, Jan 7). Scalp Microbiome Composition in Young Women: Associations with Scalp Type, Sensitivity, and Lifestyle Factors. *Life (Basel), 16*(1), p. 91. doi:10.3390/life16010091

Gaspar, F., et al. (2020). The Phenolic Signature of Psidium cattleianum Fruits and Leaves Modulates TRPV1 and TRPA1. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68(42), 11745-11760. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11931593/

- Hayani, M., Benabbouha, T., Naceiri Mrabti, N., Eljebri, S., Sabiri, M., & Zair, T. (2024). Bioactive Profiling, Antibacterial Efficacy and Computational Modelling of Myrtus Communis Essential Oil (Morocco). *Chemistry & biodiversity*, *21*(6), e202302114. https://doi.org/10.1002/cbdv.202302114

- Laiche, C. E., & Mecheri, M. (2023). *Extraction des huiles essentielles et hydrolats* (Mémoire de master). Université Frères Mentouri Constantine 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Constantine, Algérie. https://fac.umc.edu.dz/snv/bibliotheque/biblio/mmf/2023/Extraction%20des%20huiles%20essentielles%20et%20hydrolats.pdf

- Manel, S., & Zermane Aya. (2017). *Contribution à l'étude phytochimique et activités biologiques in vitro de l'espèce Myrtus communis L.* Université des Frères Mentouri Constantine: Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master.

- Mohamadi, Y., Lograda, T., Ramdani, M., Figueredo, G., & Chalard, P. (2021). Chemical composition and antimicrobial activity of Myrtus communis essential oils from Algeria. Biodiversitas, 22, 933-946. https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/65df76190f3e94b9e5d89908

- Mir, M. A. (2024). *Myrtus communis leaves: source of bio-actives, traditional use, their*. Abha, Saudi Arabia: Clinical Laboratory Sciences, College of Applied Medical Sciences, King Khalid University. doi:https://doi.org/10.37360/blacpma.24.23.4.33

- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *26*(2), 211–219.

- Nabti, L. B., et al. (2022). [Anti-inflammatory activity of Algerian Myrtus communis essential oil]. (Non trouvé en ligne — vérifiez la référence exacte dans votre bibliothèque)

Nogueira, A. L., et al. (2022). The Presence of Flavonoids in Some Products and Fruits of the Genus Eugenia: An Integrative Review. Frontiers in Food Science and Technology, 2, 899492. https://www.frontiersin.org/journals/food-science-and technology/articles/10.3389/frfst.2022.899492/full

- Paul, J. K., Mahir Azmal , Omar Faruk Talukder , ANM Shah Newaz Been Haque, Meghla Meem, & Ajit Ghosh. (2025). Unlocking the secrets of the hair microbiome: From scalp health to therapeutic advances. *The Microbe, 7*(100353). doi:10.1016/j.microb.2025.100353

- Saxena, R., Parul Mittal , Cecile Clavaud, Darshan B. Dhakan , Prashant Hegde, Mahesh M. Veeranagaiah, . . . Vineet K Sharma. (2018). Comparison of Healthy and Dandruff Scalp Microbiome Reveals the Role of Commensals in Scalp Health. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 8*(346). doi: 10.3389/fcimb.2018.00346

- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2022). Separation Strategies for Polyphenols from Plant Extracts. Processes, 13(2), 46. https://www.mdpi.com/2297-8739/13/2/46

- Snoussi, A., et al. (2012). Comparative GC analyses of ripe fruits, leaves and floral buds essential oils of Tunisian Myrtus communis L. Mediterranean Journal of Chemistry, 1, 38-43. https://doi.org/10.13171/mjc.1.1.2012.12.06.16

- Selma, M., & SERIDI Meryem. (2014). *Détermination de l'effet antibactérien de l'huile essentielle.* GUELMA: UNIVERSITE 8 MAI 1945.

https://planteset.com/myrtus-communis/

- Tennstedt, D., A. Herman, & J.-M. Lachapelle. (2018). Effets indésirables des soins capillaires chez les utilisateurs. *Expertise médicale continue en dermatologie, 145,*, 521-531. doi:10.1016/j.annder.2018.05.002

- Université de Béjaïa. (2017). *Recherche des extraits végétaux à activité anti-hémolytique* [Mémoire de master, Université de Béjaïa, Biochimie Appliquée]. DSpace Béjaïa. https://www.univ-bejaia.dz/jspui/handle/123456789/5081

- Wannes, W. A., Mhamdi, B., Sriti, J., Ben Jemia, M., Ouchikh, O., Hamdaoui, G., Kchouk, M. E., & Marzouk, B. (2010). Antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts from myrtle (Myrtus communis var. italica L.) leaf, stem and flower. Food and Chemical Toxicology, 48(5), 1362-1370. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20211674/

- Zendaoui, A. E., & Debbabi, A. M. (2025). *Exploration du pouvoir antioxydant et antibactérien d'une plante saharienne du genre Achillea* (Mémoire de Master, Université des

Frères Mentouri Constantine 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Microbiologie). Année universitaire 2024–2025.

https://chimactiv.agroparistech.fr/fr/aliments/antioxydant-dpph/principe

- Zayani, R., et al. (2025). Optimization of Tunisian Myrtus communis L. Essential Oil Extraction by Complete Factorial Experimental Design. Metabolites, 15(6), 369. https://www.mdpi.com/2218-1989/15/6/369

- Belahcene, S., Kebsa, W., Omoboyowa, D. A., Alshihri, A. A., Alelyani, M., Bakkour, Y., & Leghouchi, E. (2023). Unveiling the Chemical Profiling Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Algerian *Myrtus communis* L. Essential Oils, and Exploring Molecular Docking to Predict the Inhibitory Compounds against Cyclooxygenase-2. *Pharmaceuticals*, *16*(10), 1343. https://doi.org/10.3390/ph16101343

- Zandoná, G. P., et al. (2020). Putative antioxidant and antimicrobial properties of Psidium cattleianum. Food Research International, 136, 109478. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996920305986

Annexes



Prototype du sérum capillaire formulé à partir de l'huile essentielle de Myrtus communis.





Extraction de l’huile essentielle de myrtus communis a l’aide d’un appareil de type clevenger