

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة مولاي الطاهر، سعيدة

Université MOULAY Tahar, Saida



كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème

Évaluation De l'Activité Conservatrice De l'Huile Essentielle De *Matricaria Chamomilla* Par Rapport Aux Conservateurs Synthétiques Dans Les Formulations Cosmétiques

Présenté par :

M^{lle} : Mohammedi Hiba Belkais

M^{lle} : Serat Aicha Djihane

Soutenu Le : 28 /06/2026

Devant le jury composé de :

Présidente

M^{me} .Hammou Bakhta

MCB Université Dr.moulay Tahar-Saida

Examineur

Mr.Baghdadi Mohammed

MCB Université Dr.moulay Tahar-Saida

Rapporteur

Mr. Zeragui Bankaddour

MCB Université Dr.moulay Tahar-Saida

Année universitaire 2025/2026

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة مولاي الطاهر، سعيدة

Université MOULAY Tahar, Saida



كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème

Évaluation De l'Activité Conservatrice De l'Huile Essentielle De *Matricaria Chamomilla* Par Rapport Aux Conservateurs Synthétiques Dans Les Formulations Cosmétiques

Présenté par :

M^{lle} : Mohammedi Hiba Belkais

M^{lle} : Serat Aicha Djihane

Soutenu Le : 28 /06/2026

Devant le jury composé de :

Présidente

M^{me} .Hammou Bakhta

MCB Université Dr.moulay Tahar-Saida

Examineur

Mr.Baghdadi Mohammed

MCB Université Dr.moulay Tahar-Saida

Rapporteur

Mr. Zeragui Bankaddour

MCB Université Dr.moulay Tahar-Saida

Année universitaire 2025/2026

Remerciements

Au commencement, nous louons Dieu, Le Tout-Puissant, pour les bienfaits qu'Il nous a accordés : la force, la patience et la détermination. Nous Le remercions également de nous avoir facilité les moyens nécessaires à la réalisation de ce travail modeste, en tirant profit des ressources disponibles.

Nous exprimons notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadrante,

Dr. Zeragui Benkaddour, pour ses orientations scientifiques précises, son accompagnement précieux, ainsi que la confiance qu'elle nous a témoignée tout au long de ce travail, ce qui a été pour nous une véritable source de motivation.

Nous tenons également à remercier chaleureusement:

Dr. Hammou Bakhta , qui nous a fait l'honneur de présider le jury,

Dr. Baghdadi Mohamed , pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour leurs remarques constructives.

Nous n'oublions pas d'adresser nos remerciements aux ingénieurs du laboratoire pour leur soutien technique.

Enfin, nous remercions l'ensemble des enseignants de la Faculté du Dr Moulay Tahar, ainsi que toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réussite de ce projet

Dédicace

Louange à Allah au commencement et à la fin

Aucun chemin n'arrive à son terme, aucun effort n'aboutit, aucune réussite ne s'accomplit sans Sa grâce.

Me voici à l'aube de l'obtention de mon diplôme fière de cette réussite et reconnaissante envers Allah qui m'a accordé la force et la volonté d'atteindre cet objectif.

Aujourd'hui, je couronne les derniers instants de ce parcours. Après des années d'efforts de persévérance et de sacrifices au service du savoir et de mes rêves, je récolte enfin les fruits de mon travail. Ces années ont porté les espoirs de longues nuits et sont devenues aujourd'hui une source de fierté et de bonheur.

Ô Allah, à Toi la louange lorsque Tu agrées, et à Toi la louange après l'agrément, car c'est grâce à Toi que ce succès a été possible.

Avec tout mon amour et ma fierté, je dédie cette réussite et ce diplôme :

À moi-même

Pour mon ambition ma patience et ma détermination ; celle qui a commencé avec un rêve et qui l'achève aujourd'hui par une réussite.

À mon cher père « Abdellah mohammedi

dont je porte le nom avec fierté ; celui qui a ôté les épines de mon chemin pour me faciliter la voie du savoir, mon soutien après Allah, celui qui m'a appris que la volonté permet d'accomplir l'impossible et qui a semé dans mon cœur l'amour de la connaissance.

À ma chère mère Youssef moubaraka

À qui Allah a accordé une place si élevée et sous les pieds de laquelle se trouve le Paradis ; celle qui m'a nourrie, protégée et accompagnée par ses prières sincères. Grâce à ses invocations, cette réussite est devenue réalité. Elle demeure le baume de mes blessures et la source de ma force.

À mon grand-père youssef saed

Que Dieu lui accorde Sa miséricorde et fasse du Paradis sa demeure éternelle. Sa joie face à ma réussite était immense et restera gravée dans mon cœur.

À mon frère Khalifa et à mes sœurs Allaa et Ghadir et ma cousine Marwa

Qui ont toujours illuminé mon chemin et partagé avec moi chaque étape de cette aventure.

À ma chère partenaire, Sirat Djehane Aïcha

Je tiens à t'adresser mes sincères remerciements et toute ma gratitude pour les efforts, le sérieux et l'engagement dont tu as fait preuve tout au long de la réalisation de ce travail. Tu as été une excellente partenaire, partageant avec moi les défis, les moments difficiles ainsi que les joies de cette réussite. Grâce à notre coopération, notre persévérance et notre esprit d'équipe, nous avons pu atteindre cet objectif. Je suis fière du chemin parcouru ensemble et je te souhaite un avenir rempli de succès, d'épanouissement et de belles réalisations.

À tous ceux qui ont été un soutien précieux durant ce parcours : mes amis, compagnons des moments difficiles et des années passées ensemble.

À ceux qui m'ont offert leurs conseils sincères, leur affection et leur présence : **Hayat, Zineb, Hadjer, Nouzha et Inès.**

À mon cher chat, Louloua.

Enfin, les mots ne suffisent pas pour exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à cette réussite. Cet hommage est une modeste preuve d'amour et de reconnaissance envers tous ceux qui ont partagé mon chemin, cru en moi lorsque je doutais de moi-même et relevé ma tête lorsque la fatigue pesait sur mes épaules.

Merci à vous tous.

Dédicace

À Dieu le Tout-Puissant

Je remercie le Seigneur de m'avoir accordé la force, la patience et la volonté d'accomplir ce travail.
Ma gratitude est infinie pour Ses bienfaits innombrables et pour avoir éclairé mon chemin.

À moi-même

À cette âme qui a lutté, résisté et patienté face aux rigueurs de ce chemin. À moi-même, qui ai veillé de longues nuits, défié chaque moment de doute et traversé les ponts de la fatigue sans jamais rompre ni reculer. Je me dédie cet accomplissement en hommage à ma persévérance, en foi de ma propre résilience, et en reconnaissance de chaque pas franchi avec fermeté vers ce rêve. Merci d'avoir été si forte et de n'avoir jamais abandonné. Aujourd'hui, tu as pleinement le droit d'être fière et de savourer ton succès.

À ma chère mère, "Moulai Houria"

Ma source infinie d'amour, ma boussole et mon refuge chaleureux. Aucun mot ne saurait exprimer ma gratitude pour tes sacrifices, tes prières quotidiennes et ton soutien inconditionnel. Tu es mon pilier et mon repère.

À mon cher père, "Serat Habib"

Mon modèle, ma fierté et mon abri sûr. Merci de m'avoir appris la valeur du travail acharné, de la persévérance et de l'honnêteté, et de m'avoir toujours poussée à viser plus haut.

À ma chère grand-mère , "Moulai Slamet"

Que Dieu prolonge ta vie, te guérisse, te préserve et te garde en bonne santé. Merci d'avoir été là pour moi ; par tes prières sincères et ta tendresse infinie, tu as été mon moteur constant vers la réussite. Que Dieu te préserve comme une couronne sur ma tête.

À mon cher frère, "Serat Mohamed Soufi"

Mon champion, ma force et ma source de fierté. Merci pour ton soutien constant, ton énergie positive et ta détermination qui m'inspire au quotidien.

À ma petite sœur et le sourire de notre maison, "Ritaj Slamet"

La joie de notre foyer et le battement de mon cœur. Merci pour tes éclats de rire qui ont su dissiper la fatigue de mes longues nuits de veille. Je prie Dieu de te voir un jour atteindre les plus hauts sommets.

À ma grande famille, les familles "Serat" et "Moulai"

Un hommage chaleureux, empreint d'amour et de gratitude, à tous les membres de ma famille sans exception, du plus grand au plus petit. Merci pour votre présence bienveillante, vos encouragements continus et votre affection qui m'a entourée et protégée tout au long de ce parcours.

À la mémoire de nos chers grands-pères regrettés, "Moulai Abdelkarim" et "Serat Merzouge"

À vos âmes pieuses, pures et généreuses qui nous ont quittés. Bien que vous ne soyez plus là aujourd'hui pour partager mon bonheur, votre souvenir et votre noble héritage restent gravés à jamais dans mon cœur. Que Dieu vous accueille dans Son vaste paradis.

À ma chère binôme, "Mohammedi Hiba Belkais"

Un grand merci du fond du cœur à ma compagne de route, ma brillante collaboratrice et mon amie. Merci pour cette collaboration fructueuse, pour ton sérieux, et pour ta constance à mes côtés dans les moments de stress et de responsabilité. Ce succès est le fruit de notre effort commun.

À mes fidèles amies, "Hayat" et "Zineb"

Qui ont illuminé mes journées par leur présence, leur joie de vivre et leur soutien indéfectible. Merci d'avoir été de véritables piliers dans les moments difficiles et les partenaires de mes joies. Votre amitié est un trésor inestimable.

Serat Aicha Djihane

Tabel des matières

<i>Résumé.....</i>	<i>I</i>
<i>Liste des abréviations.....</i>	<i>II</i>
<i>Liste des tableaux.....</i>	<i>III</i>
<i>Liste des figures.....</i>	<i>IV</i>
<i>Introduction Générale.....</i>	<i>2</i>

Partie 1 : synthèse bibliographique

Chapitre I Les huiles essentielles et leur rôle dans les produits cosmétique

1 Les huiles essentielles.....	7
2 La composition chimique.....	8
3 Mode extraction.....	10
3.1. Extraction par hydrodistillation.....	10
3-2. Hydrodistillation par appareil de type Clevenger.....	11
3-3. L'hydro diffusion.....	12
3.4. Extraction par micro-ondes.....	12
3.5 L'extraction par solvant.....	13
3.6 Extraction des huiles essentielles par CO ₂ supercritique.....	14
3.7 Distillation par entraînement à la vapeur.....	15
4. Conditions de conservation des huiles essentielles.....	16
5. Utilisation des huiles essentielles dans divers secteurs.....	17

Chapitre II Les activités biologiques, cosmétiques et pharmacologiques des huiles essentielles

.....	20
1. Les activités biologiques.....	20
1.1. Activité antimicrobienne.....	20
1.2. Activité antifongique.....	21
1.3. Activité antivirale.....	22
1.4.les activité antioxydantes.....	22

1.5. Activité anti-inflammatoire.....	23
1.6. Activité pharmacologique.....	23
1.7. Activité antiseptique.....	23
2. Utilisation cosmétique, sécurité et cadre réglementaire des huiles essentielles.....	24
2.1. Utilisation de l'huile essentielle dans les formulations cosmétiques.....	24
2.1.1. Applications dermatologiques.....	24
2.1.2. Applications capillaires.....	24
2.1.3. Systèmes modernes de délivrance et conservation.....	25
2.2. Toxicologie des huiles essentielles.....	25
2.2.1. Risques cutanés et biologiques.....	26
2.2.2. Facteurs influençant la toxicité.....	26
2.3. Cadre réglementaire et exigences légales.....	27
2.3.1. Statut juridique et définition du produit.....	27
2.3.2. Évaluation de la sécurité (RSPC).....	27
2.3.3. Maîtrise des allergènes et obligations d'étiquetage.....	27
2.3.4. Critères de qualité, pureté et traçabilité.....	27
2.3.5. Normes de fabrication et maîtrise de la phototoxicité.....	28
2.3.6. Responsabilité et Bonnes Pratiques de Fabrication (BPF).....	29

Chapitre III Caractéristiques botaniques, écologiques et usages traditionnels de *Matricaria chamomilla* L

1 Présentation de la plante étudiée.....	30
1.1 Description botanique et morphologique.....	31
1.2 Classification systématique (Taxonomie).....	32
1.3 Noms vernaculaires et étymologie.....	33
1.3.1. Noms vernaculaires.....	33
1.3.2. Étymologie.....	33
1.4 Exigences édapho-climatiques et culture.....	34

1.5 Distribution géographique et habitat naturel.....	34
1.6 Importance ethnobotanique et usages traditionnels.....	35

PARTIE II : Matériel et Méthodes

2. Matériel.....	39
2.1 Matériel végétal.....	39
2.1.1 Zone de récolte.....	39
2.1.2. Récolte du matériel végétal.....	40
2.2 Matériel biologique.....	40
2.2.1. Microorganismes.....	40
2.2 Matériel biologique.....	41
2.2.1. Microorganismes.....	41
2.2.2. Globules rouges humaines.....	42
3. Méthodes.....	42
3.1 Extraction des huiles essentielles.....	42
3.2 Détermination et calcul du rendement.....	43
3.3. Activité antioxydante totale (TCA).....	43
3.4. Méthodologie d'évaluation de la cytotoxicité (test d'hémolyse).....	44
3.5. Evaluation de l'activité antimicrobienne.....	45
3.5. Préparation de l'inoculum.....	45
a. Préparation des pré-cultures.....	45
b. Préparation de la suspension bactérienne.....	46
3.5.2 Activité antibactérienne.....	46
3.5.3. Détermination des concentrations minimales bactéricides (CMB).....	47
3.6. Évaluation de l'efficacité conservatrice (Challenge Test).....	47

PARTIE III : Résultats et discussion.....50

1. Rendement en huile essentielle de Matricariachamomilla.....	50
2. La capacité antioxydante totale (CAT) de l'huile essentielle de Matricariachamomilla.....	51

3. Effet hémolytique.....	53
4.Évaluation de l'activité antibactérienne.....	56
5. Efficacité conservatrice des huiles essentielles dans le shampoing (Test deChallenge).....	58
Conclusion.....	63
Références.....	65
Annexes.....	77

Abstract

With the growing interest in replacing synthetic preservatives with safer and more sustainable natural alternatives in the cosmetic industry, this study aimed to evaluate the potential of *Matricaria chamomilla* essential oil as a natural preservative in cosmetic formulations. The essential oil was extracted from the aerial parts of the plant by hydrodistillation, yielding 1.36%, which indicates an efficient extraction process. Antioxidant evaluation revealed a total antioxidant capacity of 12.34 mg GAE/g dry matter, demonstrating the oil's ability to scavenge free radicals and reduce oxidative degradation, thereby contributing to the stability of cosmetic products.

The cytotoxicity assessment performed on human erythrocytes showed a concentration-dependent hemolytic effect. Higher concentrations induced significant hemolysis, whereas lower concentrations exhibited reduced toxicity, highlighting the importance of determining safe and effective levels of incorporation in cosmetic formulations.

The antibacterial activity of the essential oil was evaluated against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Enterobacter cloacae* using the broth microdilution method. The results demonstrated a strong inhibitory effect, particularly against *Staphylococcus aureus*, with a minimum inhibitory concentration (MIC) of 11.5 µg/mL, while *Escherichia coli* and *Enterobacter cloacae* exhibited MIC values of 46 µg/mL. Minimum bactericidal concentration (MBC) analysis confirmed the bactericidal potential of the essential oil, with Gram-positive bacteria showing greater susceptibility than Gram-negative bacteria.

To assess its preservative efficacy, the essential oil was incorporated into a shampoo formulation and subjected to a challenge test. The results showed a significant reduction in microbial load throughout the storage period, especially against *Staphylococcus aureus* and Enterobacteriaceae. Compared with the preservative-free formulation, the shampoo containing the essential oil exhibited improved microbiological stability and demonstrated an effectiveness comparable to that of the reference synthetic preservative.

Overall, the findings indicate that *Matricaria chamomilla* essential oil possesses significant antioxidant and antimicrobial properties, making it a promising natural preservative for cosmetic applications. However, further optimization of its concentration is necessary to achieve an appropriate balance between preservative efficacy and biological safety.

keywords: *Matricaria chamomilla*, essential oil, natural preservative, antioxidant activity, antimicrobial activity, cytotoxicity, hemolysis, minimum inhibitory concentration (MIC), minimum bactericidal

Résumé

Dans le contexte de la recherche de conservateurs naturels destinés à remplacer les agents synthétiques utilisés dans l'industrie cosmétique, cette étude a porté sur l'évaluation du potentiel de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* comme conservateur naturel. L'huile essentielle a été extraite à partir des parties aériennes de la plante par hydrodistillation, avec un rendement de 1,36 %, indiquant une bonne efficacité du procédé d'extraction. L'évaluation de ses propriétés biologiques a révélé une activité antioxydante notable, avec une capacité antioxydante totale de 12,34 mg EAG/g MS, suggérant une aptitude à neutraliser les radicaux libres et à protéger les formulations cosmétiques contre les phénomènes d'oxydation.

L'étude de la cytotoxicité a montré que l'huile essentielle exerce un effet hémolytique dépendant de la concentration, les fortes concentrations induisant des taux d'hémolyse supérieurs à 80 %, tandis que les faibles concentrations présentent une toxicité plus limitée. Ces résultats soulignent l'importance de déterminer des concentrations d'utilisation adaptées afin de garantir la sécurité biologique du produit.

L'activité antibactérienne évaluée par la méthode de microdilution a mis en évidence une efficacité variable selon les souches bactériennes testées. L'huile essentielle a montré une activité particulièrement importante contre *Staphylococcus aureus* (CMI = 11,5 µg/mL), alors que les valeurs de CMI obtenues pour *Escherichia coli* et *Enterobacter cloacae* étaient de 46 µg/mL. Les rapports CMB/CMI indiquent un effet bactéricide pour l'ensemble des souches étudiées, avec une sensibilité plus marquée des bactéries Gram positif par rapport aux bactéries Gram négatif.

L'efficacité conservatrice de l'huile essentielle a été confirmée par un test de challenge réalisé dans une formulation de shampoing. Les résultats ont démontré une réduction significative de la charge microbienne au cours du stockage, particulièrement vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* et des entérobactéries. Comparativement à la formulation sans conservateur, le shampoing contenant l'huile essentielle a présenté une meilleure stabilité microbiologique, avec une efficacité proche de celle observée pour le conservateur synthétique de référence.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus démontrent que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* possède des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes intéressantes, lui conférant un fort potentiel en tant que conservateur naturel dans les formulations cosmétiques. Toutefois, son effet hémolytique à fortes concentrations nécessite une optimisation des doses d'incorporation afin d'assurer un équilibre entre efficacité conservatrice et innocuité biologique.

Mots-clés : *Matricaria chamomilla*, huile essentielle, conservateur naturel, activité antioxydante, activité antibactérienne, cytotoxicité, hémolyse, CMI, CMB, test de challenge, shampoing, cosmétique.

المخلص

في سياق البحث عن مواد حافظة طبيعية بديلة للمواد الاصطناعية المستخدمة في صناعة مستحضرات التجميل، ركزت هذه الدراسة على تقييم إمكانات زيت البابونج العطري كمادة حافظة طبيعية. تم استخلاص الزيت العطري من الأجزاء الهوائية للنبات بالتقطير المائي، بنسبة استخلاص بلغت 1.36%، مما يدل على كفاءة عالية لعملية الاستخلاص. وكشف تقييم خصائصه البيولوجية عن نشاط مضاد للأكسدة ملحوظ، حيث بلغت سعته الكلية المضادة للأكسدة 12.34 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غرام من الوزن الجاف، مما يشير إلى قدرته على معادلة الجذور الحرة وحماية مستحضرات التجميل من الأكسدة.

وأظهرت دراسات السمية الخلوية أن الزيت العطري يُظهر تأثيرًا مُحللاً للدم يعتمد على التركيز، حيث تُحفز التركيزات العالية معدلات انحلال دم تتجاوز 80%، بينما تُظهر التركيزات المنخفضة سمية أقل. تُبرز هذه النتائج أهمية تحديد تركيزات الاستخدام المناسبة لضمان السلامة البيولوجية للمنتج.

أظهر النشاط المضاد للبكتيريا، الذي تم تقييمه بطريقة التخفيف الدقيق، فعالية متفاوتة تبعًا لسلالات البكتيريا المختبرة. أظهر الزيت العطري فعالية ملحوظة بشكل خاص ضد المكورات العنقودية الذهبية (التركيز المثبط الأدنى = 11.5 ميكروغرام/مل)، بينما بلغت قيم التركيز المثبط الأدنى التي تم الحصول عليها للإشريكية القولونية والمعوية الكلوكية 46 ميكروغرام/مل. تشير نسب التركيز القاتل الأدنى/التركيز المثبط الأدنى إلى تأثير قاتل للبكتيريا لجميع السلالات التي تمت دراستها، مع حساسية أكبر للبكتيريا موجبة الغرام مقارنة بالبكتيريا سالبة الغرام.

تم تأكيد فعالية الزيت العطري كمادة حافظة من خلال اختبار التحدي الذي أُجري في تركيبة شامبو. أظهرت النتائج انخفاضًا ملحوظًا في الحمل الميكروبي أثناء التخزين، لا سيما فيما يتعلق بالمكورات العنقودية الذهبية والمعوية. بالمقارنة مع التركيبة الخالية من المواد الحافظة، أظهر الشامبو الذي يحتوي على الزيت العطري استقرارًا ميكروبيولوجيًا أفضل، مع فعالية قريبة من تلك التي لوحظت للمادة الحافظة الاصطناعية المرجعية.

بشكل عام، تُظهر النتائج المُتحصّل عليها أن زيت البابونج العطري يتمتع بخصائص مضادة للأكسدة ومضادة للميكروبات مثيرة للاهتمام، مما يمنحه إمكانات كبيرة كمادة حافظة طبيعية في تركيبات مستحضرات التجميل. مع ذلك، فإن تأثيره المُحلل للدم عند التركيزات العالية يستلزم تحسين جرعات إضافته لضمان التوازن بين فعالية المادة الحافظة والسلامة البيولوجية.

الكلمات المفتاحية: البابونج العطري، زيت عطري، مادة حافظة طبيعية، نشاط مضاد للأكسدة، نشاط مضاد للبكتيريا، سمية خلوية، انحلال الدم، الحد الأدنى للتركيز المثبط، الحد الأدنى للتركيز القاتل، اختبار التحدي، شامبو، مستحضرات تجميل.

Liste abrégées

AFNOR : Association Française de Normalisation

TCA : Total Antioxidant Capacity (Capacité Antioxydante Totale)

ROS : Reactive Oxygen Species (Espèces Réactives de l'Oxygène)

Mo⁶⁺ : Ion molybdène hexavalent

Mo⁵⁺ : Ion molybdène pentavalent

H₂SO₄ : Acide sulfurique

Na₃PO₄ : Phosphate trisodique

ISO : International Organization for Standardization (Organisation Internationale de Normalisation)

PBS : Phosphate Buffered Saline (Solution saline tamponnée au phosphate)

NaCl : Chlorure de sodium

KCl : Chlorure de potassium

Na₂HPO₄ : Phosphate disodique

KH₂PO₄ : Phosphate monopotassique

MgCl₂ : Chlorure de magnésium

DMSO : Diméthylsulfoxyde

D₀ : Diamètre de la zone d'inhibition à temps zéro (selon le contexte expérimental)

GN ; Nombre de générations microbiennes (Growth number) ou croissance nette selon le contexte

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice

CMB : Concentration Minimale Bactéricide

CLSI : Clinical and Laboratory Standards Institute

BN : Bouillon Nutritif

CO₂ : Dioxyde de carbone

Liste des tableaux

Tableau 01 : Résumé de la composition chimique et des propriétés physico-chimiques des huiles essentielles	9
Tableau 02 : Origine et caractéristique du matériel végétal.....	41
Tableau 03 : Origines des souches utilisées pour l'étude du pouvoir antimicrobien...	42
Tableau 04: Rendements massiques des huiles essentielles.....	50
Tableau 05 : Capacité antioxydante totale des huiles essentielles de plante Matricaria chamomilla.....	52
Tableau 06 : Concentrations minimales inhibitrices (CMI) et concentrations minimales bactéricides (CMB) (ug/mL) de l'huile essentielle de Matricaria chamomilla.....	75

Liste des figures

Figure 01: méthodes d'extraction des huiles essentielles	10
Figure 02 : Montage d'extraction par Hydrodistillation.....	11
Figure 03 : Extraction des huiles essentielles par solvant.....	14
Figure 04 : Montage d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau.....	16
Figure 06 : ChamomileMatricariachamomilla.....	32
Figure 07 : Description botanique et morphologique Matricariachamomilla	32
Figure 08 : Localisation de la zone de culture.....	40
Figure 09 : montage d'extractions de type clevenger.....	43
Figure 10 : repiquage secondaire a été réalisé sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose nutritive (GN)	46
Figure 11: préparations d'un échantillon de shampooing	48
Figure 12: Test de l'efficacité conservatrice dans le schampooing (challenge test).....	48
Figure 13 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour la détermination de la capacité antioxydante totale.....	52
Figure 14 : Effet de la concentration croissante de l'HE de Matricariachamomilla sur la perte de l'hémoglobine chez le globule rouge.....	55
Figure 15 : présente les résultats des CMI et des CMB de l'huile essentielle de Matricariachamomilla vis-à-vis des souches bactériennes.....	57
Figure 16 : Inhibition de la croissance d'Escherichia coli, des entérobactéries et de Staphylococcus aureus dans une formulation de shampooing.....	61

Introduction Générale

Les industries pharmaceutique et cosmétique connaissent actuellement une évolution importante, marquée par une transition progressive vers l'utilisation de substances naturelles en remplacement des composés chimiques synthétiques. Cette tendance s'inscrit dans une dynamique de développement durable et dans une prise de conscience croissante des consommateurs concernant la sécurité, la santé et l'impact environnemental des produits cosmétiques.

Traditionnellement, la conservation des produits cosmétiques repose sur l'utilisation de conservateurs synthétiques tels que les parabènes, le phénoxyéthanol et les libérateurs de formaldéhyde. Ces substances permettent d'inhiber la croissance des micro-organismes (bactéries, levures et moisissures) et d'assurer la stabilité microbiologique des formulations tout au long de leur utilisation **(Herman, 2013)**. Cependant, leur innocuité est aujourd'hui largement remise en question en raison de possibles effets indésirables, notamment des réactions allergiques cutanées et un potentiel rôle de perturbateurs endocriniens. Dans ce contexte, la recherche de conservateurs naturels plus sûrs et mieux tolérés est devenue une priorité dans le domaine de la cosmétique **(Cosmetic Ingredient Review, 2016)**.

Parmi les alternatives naturelles étudiées, les huiles essentielles occupent une place importante grâce à leurs nombreuses propriétés biologiques. Il s'agit de mélanges complexes de composés volatils, principalement des terpènes et des composés aromatiques, présentant des activités antimicrobiennes, antifongiques, anti-inflammatoires et antioxydantes **(Bakkali et al., 2008)**. Leur extraction peut être réalisée par différentes méthodes, allant des techniques traditionnelles comme l'hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger, jusqu'à des procédés plus modernes et écologiques tels que l'extraction assistée par micro-ondes ou au CO₂ supercritique, influençant directement la qualité et le rendement des huiles essentielles **(Dima & Dima, 2015)**.

Dans ce cadre, *Matricaria chamomilla* L. (camomille allemande) constitue une plante médicinale d'intérêt majeur grâce à sa richesse en composés bioactifs, notamment le chamazulène et l' α -bisabolol, reconnus pour leurs propriétés anti-inflammatoires, apaisantes et antimicrobiennes, ce qui lui confère un potentiel intéressant pour une utilisation comme conservateur naturel dans les formulations cosmétiques **(Al-Dabbagh et al., 2022)**.

Toutefois, l'utilisation des huiles essentielles comme alternatives aux conservateurs conventionnels nécessite une évaluation rigoureuse de leur efficacité antimicrobienne ainsi que de leur sécurité biologique. Leur utilisation est également encadrée par des réglementations strictes définissant les concentrations maximales autorisées afin de garantir la sécurité des consommateurs et d'éviter les effets indésirables **(Gutiérrez et al., 2021)**.

Ainsi, ce travail vise à évaluer la possibilité d'utiliser l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* comme conservateur naturel dans une formulation cosmétique. Cette étude comprend l'extraction de l'huile essentielle, l'évaluation de son activité antioxydante, de sa cytotoxicité et de son activité antimicrobienne, ainsi que son incorporation dans une formulation cosmétique modèle. Son efficacité conservatrice est ensuite comparée à celle d'un conservateur synthétique de référence à travers un test de challenge microbiologique (Challenge Test), conformément aux normes internationales **(Kunicka-Styczyńska et al., 2014)**.

Partie I : Synthèse Bibliographique

*Chapitre I : Les huiles essentielles et leur rôle dans les
produits cosmétiques*

Les huiles essentielles jouent un rôle central dans l'industrie des cosmétiques grâce à leurs propriétés naturelles uniques et à leur diversité d'effets biologiques sur la peau et les cheveux. Les huiles essentielles sont définies comme des mélanges complexes de composés volatils extraits de différentes parties des plantes, telles que les fleurs, les feuilles, les graines et les racines. Leur composition chimique, comprenant des terpènes, des phénols, des cétones et des esters, leur confère à la fois leur parfum caractéristique et leurs activités biologiques spécifiques **(Bakkali et al., 2008)**.

Depuis l'Antiquité, les huiles essentielles ont été utilisées à des fins thérapeutiques et esthétiques. Des civilisations telles que l'Égypte, l'Inde et la Chine s'appuyaient sur ces huiles pour renforcer la peau, apaiser les inflammations et améliorer le bien-être général, illustrant ainsi le lien historique entre la nature, la santé et la beauté **(Lis-Balchin, 2002)**.

Avec les avancées en chimie et en pharmacie, il est désormais possible d'analyser leur composition en détail et de comprendre leurs propriétés physico-chimiques telles que la densité, la solubilité et la volatilité, qui influencent leur comportement dans les formulations cosmétiques et leur stabilité au cours du stockage et de l'utilisation **(Tisserand & Young, 2014)**. Les huiles essentielles jouent également un rôle fonctionnel en protégeant les formulations cosmétiques grâce à leur activité antimicrobienne et antifongique, ainsi qu'à leur pouvoir antioxydant naturel, contribuant à prolonger la durée de conservation des produits. Elles apportent également des effets apaisants, adoucissants ou rafraîchissants sur la peau, selon le type d'huile et la manière dont elle est incorporée dans la formulation **(Hammer et al., 1999)**.

L'huile essentielle de camomille (*Matricaria chamomilla*) illustre parfaitement cette intégration des propriétés thérapeutiques et aromatiques dans les cosmétiques, offrant des effets anti-inflammatoires, une activité antioxydante et améliorant l'expérience sensorielle de l'utilisateur grâce à son parfum et sa texture **(McKay & Blumberg, 2006)**.

Parallèlement, l'utilisation des huiles essentielles nécessite le respect des aspects réglementaires et sécuritaires, incluant l'évaluation du risque d'allergie et des limites de dosage, afin de garantir des produits sûrs et efficaces conformes aux normes internationales **(European Commission, 2004)**.

Ainsi, les huiles essentielles constituent un lien entre la nature et les sciences modernes, permettant le développement de produits cosmétiques naturels alliant efficacité, sécurité et attrait sensoriel, faisant d'elles un ingrédient indispensable dans l'industrie cosmétique contemporaine.

1. Les huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des produits caractérisés par leur odeur, constitués d'un mélange complexe de substances aromatiques volatiles. Elles proviennent de matière première végétale botaniquement identifiées, et peuvent être extraites par distillation à la vapeur, extraction mécanique sans chaleur ou par distillation sèche **((Herbarom, 2022).)**

Les réservoirs sécréteurs des plantes, où se trouvent concentrées les huiles essentielles, peuvent se localiser dans les organes aériens (fleurs, feuilles, tiges et branches) ainsi que dans les structures souterraines (racines, rhizomes) **(Ladrôme Laboratoire, 2025)**

Les huiles essentielles renferment environ une centaine de molécules terpéniques et aromatiques, réputées pour leur activité biologique et leurs effets bénéfiques possibles sur la santé au quotidien. **(Pranarôm, 2024)**

D'un point de vue physiologique, les huiles essentielles font partie des métabolites secondaires. À la différence des métabolites primaires, indispensables à la croissance et aux fonctions de base de la plante, les métabolites secondaires jouent un rôle essentiel dans les interactions de la plante avec son environnement. Ils servent notamment de moyens de défense contre les herbivores et les agents pathogènes, ou encore d'attractifs pour les pollinisateurs, contribuant ainsi à la survie et à la reproduction de l'espèce. **(Futura-Sciences, 2024).**

La biogenèse des huiles essentielles repose sur des voies métaboliques spécifiques qui permettent à la plante de produire ses composés aromatiques à partir de précurseurs simples. La première voie, dite du mévalonate (MVA) et du méthylérythritol phosphate (MEP), conduit à la formation des terpènes, qui représentent la majorité des molécules des huiles

essentielles. La seconde voie, celle du shikimate, permet la synthèse des composés phénoliques et aromatiques. Ces voies sont finement régulées, et leur expression varie selon les tissus, les stades de développement et les conditions environnementales, ce qui explique la grande diversité chimique entre les huiles essentielles.(Al-Saffar, A., et al. 2024).

2. La composition chimique

Le tableau 01 présente une synthèse des principaux constituants chimiques des huiles essentielles ainsi que leurs propriétés physico-chimiques. Ces caractéristiques déterminent leur qualité, leur stabilité, leurs propriétés biologiques et leurs applications thérapeutiques. Les huiles essentielles sont constituées principalement de composés aromatiques et terpéniques, auxquels s'ajoutent d'autres substances présentes à l'état de traces. Elles se distinguent également par des propriétés physiques et chimiques spécifiques, utilisées comme critères de contrôle de qualité et d'authenticité.

Tableau 01 : Résumé de la composition chimique et des propriétés physico-chimiques des huiles essentielles

Rubrique	Éléments principaux	Caractéristiques essentielles	Références
Composition chimique	Composés aromatiques	Eugénol, anéthol, vanilline ; propriétés antimicrobiennes et antifongiques.	Hurtel (2006) ; Tabanca et al. (2005) ; Prakash et al. (2024)
	Terpènes	Constitués d'unités isoprènes ; responsables des arômes des huiles essentielles.	Arnaud et al. (2022)
	Monoterpènes (C10)	Désinfectants et antiseptiques ; fréquents dans les agrumes et conifères.	Betsara (2024)
	Sesquiterpènes (C15)	Anti-inflammatoires, calmants, décongestionnants et anti-allergiques.	Huiles & Sens (2024)
	Composés d'origines diverses	Participent aux arômes fruités et à l'activité biologique.	Bruneton (1999) ; Bouriah et al. (2021) ; Petrelli (2026)
Propriétés physiques	État et aspect	Liquides, incolores à jaune ambré.	Abdelmohsen & Elmaidomy (2025)
	Densité	Généralement comprise entre 0,759 et 1,096.	Ouis (2015)
	Indice de réfraction	Entre 1,46 et 1,52.	Ouis (2015)
	Pouvoir rotatoire	Dépend de l'activité optique des molécules.	Ouis (2015)
Propriétés chimiques	Indice d'acide	Évalue les acides libres et l'altération.	Ouis (2015)
	Indice d'ester	Mesure la teneur en esters aromatiques.	Ouis (2015)
	Indice de carbonyle	Détermine les aldéhydes et cétones.	Ouis (2015)
	Indice d'iode	Indique le degré d'insaturation.	Ouis (2015)
Solubilité et stabilité	Solubilité	Peu solubles dans l'eau, solubles dans les solvants organiques.	Foudil Cherif (2005)
	Stabilité	Sensibles à la lumière, à la chaleur et à l'oxydation.	Foudil Cherif (2005)
	Conservation	Stockage à l'abri de l'air, de la lumière et de la chaleur.	Foudil Cherif (2005)
Composition globale	Diversité moléculaire	Contiennent généralement 20 à 60 composés.	Abdelmohsen & Elmaidomy (2025)
	Constituants majoritaires	Représentent 20 à 70 % de la composition totale.	Abdelmohsen & Elmaidomy (2025)
	Constituants mineurs	Essentiels pour l'arôme et l'activité thérapeutique.	Abdelmohsen & Elmaidomy (2025)

3. Mode extraction

L'extraction est une opération unitaire de transfert de matière qui consiste à séparer des substances d'une phase liquide à une autre, ou d'une phase solide à une phase liquide. Et Les principaux paramètres à prendre en compte dans les opérations fondamentales d'extraction de matières premières naturelles aromatiques sont : La volatilité; La solubilité; La taille et la forme des molécules; L'adsorption (sarra mansouri 2018) **Figure 01**

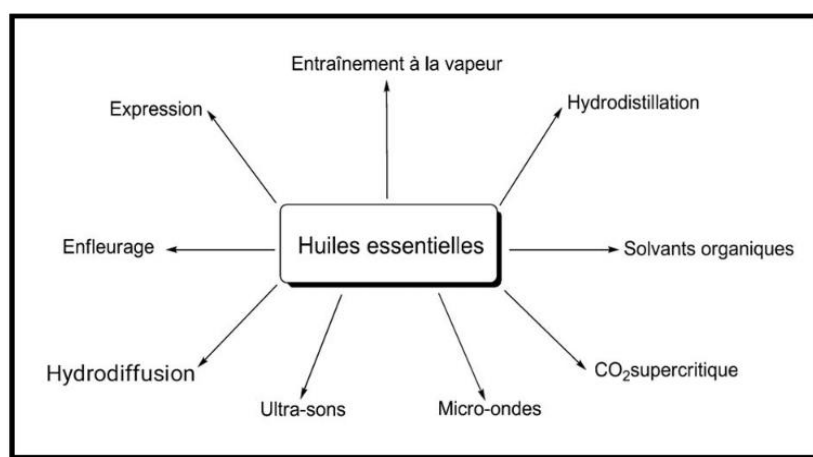


Figure 01 méthodes d'extraction des huiles essentielles **Ouis, 2015**

3.1. Extraction par hydrodistillation :

Cette technique est considérée comme la plus simple et c'est aussi l'une des plus anciennes techniques utilisées. Elle consiste à placer directement le matériel végétal dans un alambic contenant de l'eau, puis à chauffer l'ensemble jusqu'à ébullition. Les vapeurs formées sont ensuite refroidies dans un réfrigérant, ce qui permet leur condensation. L'huile essentielle se sépare alors de l'hydrolat grâce à la différence de densité. Dans la plupart des cas, l'huile essentielle est plus légère que l'eau, ce qui fait qu'elle flotte à la surface de l'hydrolat (à l'exception de quelques cas rares). (piochon, 2008) **Figure 02**

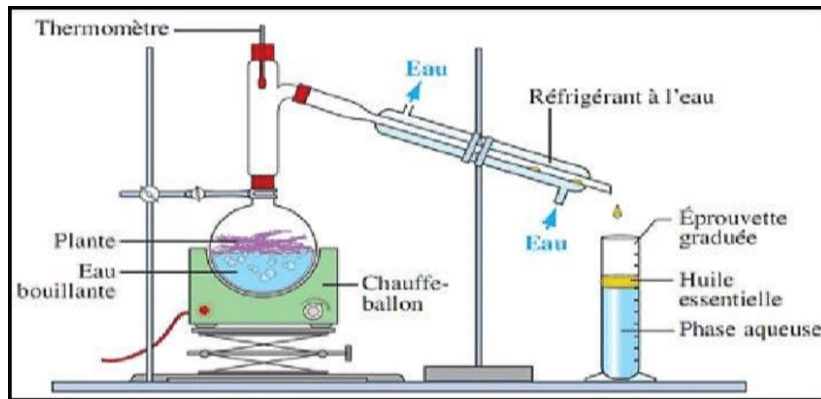


Figure 02 Montage d'extraction par Hydrodistillation

3-2. Hydrodistillation par appareil de type Clevenger

L'hydrodistillation par appareil de type Clevenger constitue l'une des méthodes traditionnelles les plus utilisées pour l'extraction des huiles essentielles à partir des plantes aromatiques. Cette technique consiste à placer le matériel végétal broyé dans un ballon contenant de l'eau, puis à porter le mélange à ébullition. La vapeur d'eau entraîne les composés volatils qui se condensent dans un réfrigérant, permettant ensuite la séparation de l'huile essentielle par décantation. Cette méthode présente l'avantage de ne pas nécessiter l'utilisation de solvants organiques, ce qui réduit les coûts et facilite son application à l'échelle du laboratoire.(Okoh et al., 2021.)

Le rendement et la qualité de l'huile essentielle obtenue par hydrodistillation dépendent de plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique de la plante, la partie végétale utilisée, les conditions de séchage ainsi que les paramètres d'extraction tels que le rapport matière/eau, la température et la durée d'extraction. En général, cette technique nécessite un temps d'extraction relativement long, pouvant atteindre environ trois heures pour certaines espèces végétales.(Olascuaga-Castillo et al., 2024 ; Filly et al., 2019.)

Malgré sa simplicité et sa large utilisation, l'hydrodistillation par appareil de Clevenger présente certaines limites, telles qu'une faible efficacité énergétique et une possible altération de la qualité de l'huile essentielle due à des phénomènes d'hydrolyse ou d'oxydation liés à la durée d'extraction et à la quantité d'eau utilisée. La cinétique d'extraction se déroule généralement en trois étapes : une phase rapide initiale correspondant à l'extraction de l'huile facilement accessible, suivie d'une phase plus lente due à la diffusion des composés à travers

les tissus végétaux, puis une phase de plateau indiquant la fin du processus d'extraction. (Olascuaga-Castillo et al., 2024 ; Karimnejad & Ghavam, 2024.)

3-3. L'hydro diffusion :

L'hydro diffusion est une technique d'extraction des huiles essentielles où la vapeur d'eau traverse la biomasse de haut en bas, contrairement à la distillation classique (**Bassereau et al., 2007**)

La vapeur utilisée est saturée et humide, chauffant les plantes sans risque de surchauffe. La biomasse est placée sur un treillis métallique parallélépipédique, garantissant une répartition homogène et une exposition uniforme à la vapeur.

Pendant le processus, les huiles essentielles sont séparées et condensées sous la grille, tandis que l'eau peut être récupérée et renvoyée à la chaudière pour réutilisation. (**Zelie Triaux, 2019**) Cette configuration préserve la qualité des composés volatils.

L'hydro diffusion présente plusieurs avantages : elle réduit la consommation de vapeur, diminue le temps d'extraction et améliore le rendement des huiles essentielles.

Brevetée par SCHMIDT SA en 1981, elle est souvent qualifiée de co-distillation descendante, combinant distillation à la vapeur et disposition optimisée de la biomasse.

Ce procédé moderne assure une extraction efficace et homogène, tout en préservant les substances volatiles et en étant économique

3.4. Extraction par micro-ondes

Au début des années 1990, une nouvelle technique d'extraction des huiles essentielles a été développée : l'hydrodistillation assistée par micro-ondes sous vide. Dans ce procédé, la matière végétale est soumise à un chauffage par micro-ondes dans une enceinte fermée maintenue sous pression réduite. La vapeur d'eau générée à partir de l'eau naturellement contenue dans les tissus végétaux entraîne les composés volatils, permettant ainsi leur récupération (**Zenasni, 2014**).

Cette méthode fait partie des techniques d'extraction dites « vertes », dont l'objectif est de diminuer la consommation d'énergie, de réduire l'utilisation de solvants et de raccourcir la durée des procédés d'extraction. Les micro-ondes, qui sont des ondes électromagnétiques

capables de pénétrer profondément dans les tissus végétaux, provoquent un échauffement interne rapide favorisant la rupture des structures cellulaires et la libération des composés aromatiques (**Azrifirwan et al., 2024**).

Au fil des années, plusieurs variantes de cette technologie ont été développées, notamment l'hydrodistillation assistée par micro-ondes (MAHD), l'extraction sans solvant par micro-ondes (SFME) et l'extraction par micro-ondes in situ (IMWAE) (**Gonzalez-Rivera et al., 2021**).

Les études comparatives ont démontré les performances remarquables de cette technique. Dans le cas du romarin, le temps d'extraction est réduit de manière significative, passant d'environ 120 minutes avec la distillation conventionnelle à seulement 5 à 15 minutes avec l'extraction assistée par micro-ondes. De plus, la consommation énergétique est considérablement diminuée, pouvant être jusqu'à dix fois inférieure à celle observée lors d'une distillation traditionnelle (**Hashemi Gahrui, 2025**).

Par ailleurs, la qualité des huiles essentielles obtenues est généralement préservée, voire améliorée. Une étude réalisée sur la cannelle a montré que les extraits obtenus par cette méthode présentent des teneurs plus élevées en composés phénoliques et en flavonoïdes. En conséquence, les huiles essentielles extraites par micro-ondes affichent une activité antioxydante supérieure à celle des huiles obtenues par les méthodes conventionnelles (**Rahman et al., 2025**).

Enfin, cette technique présente un intérêt environnemental important. Grâce à sa faible consommation énergétique et à la réduction du temps d'extraction, elle contribue à diminuer les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) associées au procédé, ce qui en fait une alternative plus durable aux méthodes traditionnelles d'extraction des huiles essentielles (**Wiley, 2025**).

3.5 L'extraction par solvant

L'extraction par solvant volatil est une technique classique pour obtenir les composés aromatiques des plantes. Elle consiste à mettre la matière végétale en contact avec un solvant volatil, généralement apolaire, ayant une affinité avec les huiles essentielles (**Beneteaud, 2011 ; Lamamra, 2018**)

Cette extraction se fait par des étapes majeures :

- a. **Macération / lavage** : La plante est lavée plusieurs fois avec le solvant, à chaud ou froid selon sa fragilité (Fernandez & Chemat, 2012)
- b. **Récupération du solvant**: Après distillation, on obtient la concrète, riche en composés aromatiques et en cires ((Belaiche, 2018).)
- c. **Obtention de l'absolue** : La concrète est dissoute dans l'alcool, agité à 30-60 °C, réfrigérée à -5/-10 °C pour précipiter les cires, puis l'alcool est évaporé pour obtenir l'absolue (Meyer-Warnod, 1984 ; Nixon & McCaw, 2001)

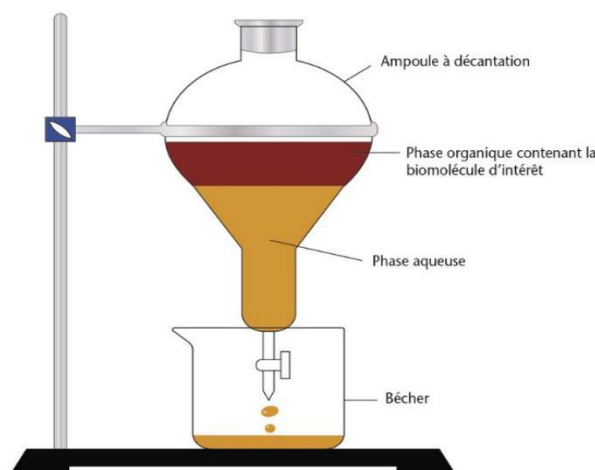


Figure 03 : Extraction des huiles essentielles par solvant.

3.6 Extraction des huiles essentielles par CO₂ supercritique

L'extraction des huiles essentielles avec le CO₂ supercritique (à 31°C et 73 bars) permet d'obtenir des huiles de haute qualité sans altérer leurs propriétés. Le CO₂ est utilisé en boucle avec des échangeurs de chaleur, un compresseur et un détendeur pour assurer une extraction optimale (de Souza, A.T., et al., 2008).

Après l'extraction, l'extraît est séparé du CO₂ par détente (Lagunez Rivera, L., 2006). Bien que cette méthode soit rapide et efficace, son coût élevé et la complexité de l'équipement limitent son adoption industrielle (Bouras, 2018).

3.7 Distillation par entraînement à la vapeur :

Constitue une technique essentielle pour l'extraction des huiles essentielles. Dans ce procédé, la matière végétale est disposée dans un alambic sur une grille perforée, sans entrer en contact direct avec l'eau en ébullition. Un flux de vapeur d'eau saturée traverse alors le végétal, provoquant la rupture des cellules et la libération des composés aromatiques volatils. Ces substances sont entraînées avec la vapeur hors de la matrice végétale, puis condensées. Le mélange obtenu est ensuite recueilli dans un essencier, où il se sépare en deux phases distinctes en raison de leur différence de densité : une phase aqueuse appelée hydrolat et une phase organique correspondant à l'huile essentielle. **(Bouras M., 2018)**

Contrairement à la distillation à l'eau, cette méthode se caractérise par l'absence de contact direct entre le liquide et la plante. La vapeur est générée dans une chaudière indépendante avant de circuler à travers le matériau végétal. Cette particularité permet de réduire les réactions indésirables, telles que l'hydrolyse ou l'altération des composés aromatiques, garantissant ainsi une meilleure qualité du produit final. Elle est particulièrement adaptée aux huiles localisées dans les structures superficielles des plantes, tandis que celles situées plus en profondeur exigent une durée d'extraction plus longue et une quantité de vapeur plus importante. **(Lucchesi, M.-E, 2005)**

Par ailleurs, ce procédé ne requiert aucune étape de macération préalable, la plante étant directement soumise au passage de la vapeur. Cela favorise une extraction rapide et performante des composés volatils. Dans de nombreux cas, une grande proportion de ces substances (pouvant atteindre 95 %) est récupérée en un temps relativement court, notamment dans les procédés industriels comme l'extraction de l'huile essentielle de lavande. Les huiles obtenues se distinguent par une qualité olfactive élevée, riches en fractions légères appelées notes de tête. Toutefois, dans le domaine de l'aromathérapie, il est possible de prolonger la durée de distillation afin d'obtenir une composition aromatique plus complète. **(Aroma-Zone, 2024)**

Enfin, cette technique compte parmi les plus anciennes méthodes d'extraction, remontant au IX^e siècle et attribuée aux savants arabes. Elle repose sur le principe du transport des molécules volatiles par la vapeur d'eau, suivi de leur condensation et de leur séparation. La phase aqueuse issue de ce processus contient des composés solubles dans l'eau et est

désignée sous le nom d'hydrolat, ce qui confère à cette méthode l'avantage de produire à la fois une huile essentielle et des co-produits valorisables. (Purescence Aroma, s.d.) **Figure 04**

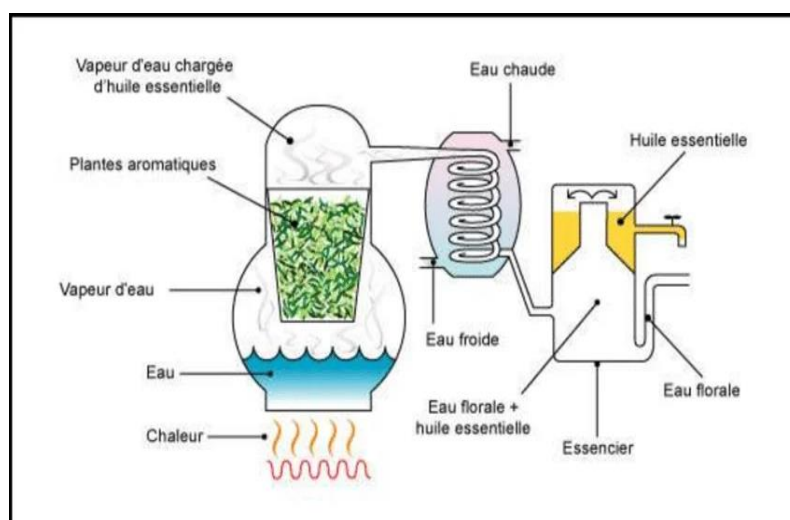


Figure 04 Montage d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau

4. Conditions de conservation des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des substances volatiles et fragiles dont la composition chimique peut se modifier au cours du temps, notamment après environ un an de stockage (**Lobstein, 1983**). Afin de préserver leur qualité, leur stabilité et leurs propriétés thérapeutiques, plusieurs conditions de conservation doivent être respectées.

Tout d'abord, le choix du conditionnement est primordial. Les huiles essentielles doivent être conservées dans des flacons en verre teinté ou en aluminium, matériaux qui les protègent efficacement contre la lumière et l'air, deux facteurs susceptibles d'altérer leur composition chimique (**Longevialle, 1981 ; Mayer, 2012**).

Ensuite, les conditions de température jouent un rôle important dans leur conservation. Il est recommandé de stocker les huiles essentielles à température ambiante, idéalement inférieure à 20 °C, afin de limiter les risques de dégradation liés aux variations thermiques (**Mayer, 2012**).

Par ailleurs, le contact avec l'air doit être réduit au minimum. Les flacons doivent être soigneusement refermés après chaque utilisation afin d'éviter l'évaporation des composés aromatiques et les phénomènes d'oxydation (**Mayer, 2012**).

La conservation des huiles essentielles est également encadrée par des normes spécifiques. La norme **AFNOR NF T 75-001 (1996)** définit les exigences relatives à l'emballage et au stockage des huiles essentielles, tandis que la norme NF T 75-002 (1996) précise les règles concernant le marquage des récipients qui les contiennent.

Enfin, l'ajout d'antioxydants peut contribuer à améliorer la stabilité des huiles essentielles au cours du stockage. À titre d'exemple, l'acide citrique est utilisé pour les huiles essentielles destinées à l'alimentation, alors que l'EDTA (éthylènediaminetétraacétique) est employé pour celles qui ne sont pas destinées à un usage alimentaire (**Lobstein, 1983**).

5.Utilisation des huiles essentielles dans divers secteurs

Les huiles essentielles (HE) sont largement utilisées dans divers secteurs grâce à leurs propriétés thérapeutiques, aromatiques et antimicrobiennes. En pharmacie, elles entrent dans la composition de nombreux médicaments et préparations destinées à soulager différents troubles tout en améliorant leur goût. Dans les domaines de la parfumerie et de la cosmétologie, elles sont incorporées dans les parfums, les produits capillaires et les soins de la peau pour leurs fragrances et leurs effets bénéfiques. Les HE occupent également une place importante en aromathérapie et en médecine alternative, où elles sont utilisées pour leurs propriétés anti-inflammatoires, analgésiques et relaxantes. Dans l'industrie agroalimentaire, elles servent à aromatiser les aliments et à prolonger leur durée de conservation grâce à leur activité antimicrobienne. Enfin, elles sont largement employées dans les produits d'hygiène et d'entretien, tels que les savons, les déodorants, les lessives et les détergents, en raison de leurs propriétés antiseptiques, désodorisantes et parfumantes (**Amarti et al., 2010 ; Bakkali et al., 2008 ; Bekhechi, 2010**).

Les huiles essentielles exercent leurs effets biologiques grâce à la diversité de leurs composés chimiques. Ces molécules agissent principalement sur les membranes cellulaires des micro-organismes en modifiant leur perméabilité. Cette action est due à la nature lipophile des composés terpéniques qui leur permet de s'insérer dans la bicouche lipidique des membranes (**Benyahia, 2023**).

Étude phytochimique et évaluation des activités biologiques des huiles essentielles de deux plantes médicinales. Mémoire de master, Université Frères Mentouri, Constantine, Algérie. Les huiles essentielles se distinguent par leur capacité à cibler simultanément plusieurs structures cellulaires. Elles agissent notamment sur la paroi cellulaire, la membrane cytoplasmique ainsi que sur divers systèmes enzymatiques intracellulaires. Cette multiplicité des mécanismes d'action réduit considérablement la capacité des micro-organismes à développer des résistances (**Burt, 2004 ; Nazzaro et al., 2013**).

En définitive, ce chapitre a permis d'explorer les huiles essentielles sous leurs différents aspects, depuis leur origine naturelle jusqu'à leurs applications multiples dans divers secteurs. Issues des plantes aromatiques, elles se caractérisent par une composition chimique riche et diversifiée, responsable de leurs nombreuses propriétés biologiques.

L'analyse de leurs caractéristiques physico-chimiques ainsi que des principales voies de biosynthèse a montré que leur composition dépend fortement de facteurs internes et externes, ce qui explique la variabilité observée d'une huile à une autre. Cette complexité nécessite ainsi des méthodes de contrôle rigoureuses afin de garantir leur qualité et leur authenticité.

Par ailleurs, l'étude des différentes techniques d'extraction a mis en évidence l'évolution des procédés vers des approches plus performantes et respectueuses de l'environnement, permettant d'optimiser le rendement tout en préservant les composés actifs.

Enfin, les huiles essentielles se révèlent être des substances naturelles polyvalentes, mais sensibles, dont l'utilisation requiert des conditions de conservation appropriées et un encadrement strict. Leur importance croissante dans les domaines cosmétique, pharmaceutique et industriel confirme leur rôle central dans le développement de produits naturels innovants et efficaces.

***Chapitre II Les activités biologiques, cosmétiques et
pharmacologiques des huiles essentielles***

Les huiles essentielles sont des substances naturelles extraites de plantes aromatiques, qui suscitent un intérêt croissant dans les domaines scientifique, médical et industriel. Grâce à leur composition chimique riche et complexe, elles présentent de nombreuses activités biologiques telles que les effets antibactériens, antifongiques, antiviraux, antioxydants et anti-inflammatoires. Elles occupent également une place importante en pharmacie et en cosmétique, tout en nécessitant une utilisation prudente en raison de leurs possibles effets toxiques et de la nécessité d'un encadrement réglementaire strict.

1. Les activités biologiques

Les huiles essentielles présentent une grande variété de propriétés biologiques, notamment des activités antitoxiques, antivirales, antioxydantes, antiparasitaires et même antitumorales. Ces effets bénéfiques sont principalement liés à la composition chimique des huiles, en particulier à la nature des molécules aromatiques qu'elles contiennent, ainsi qu'aux interactions synergiques possibles entre ces constituants. Ces synergies peuvent renforcer l'efficacité globale de l'huile essentielle sur l'organisme. (Favier, A. 2020)

1.1. Activité antimicrobienne :

Actuellement, l'utilisation inappropriée et irrationnelle des antibiotiques a conduit à l'émergence de populations microbiennes résistantes. Les bactéries pathogènes utilisent différentes stratégies telles que la modification des sites cibles, l'expulsion active des médicaments et la dégradation enzymatique pour développer une résistance intrinsèque aux antibiotiques. Par conséquent, il y a eu un intérêt croissant pour l'exploitation des plantes médicinales, car 25 à 50% des produits pharmaceutiques actuels en sont dérivés. Les extraits bruts de plantes médicinales offrent une source alternative d'agents modifiant la résistance en raison de la diversité des métabolites secondaires qu'ils contiennent, y compris les alcaloïdes, les tanins et les polyphénols. Ces métabolites présentent des propriétés antimicrobiennes potentielles et peuvent

modifier la résistance. Par conséquent, les plantes médicinales peuvent non seulement tuer les micro-organismes, mais également interférer avec des événements clés du processus pathogène, réduisant ainsi la capacité des bactéries, des champignons et des virus à développer une résistance aux plantes médicinales (**Gupta et Birdi, 2017**)

1.2. Activité antifongique

Dans le domaine phytosanitaire et agro-alimentaire, les huiles essentielles ou leurs composés actifs pourraient également être employés comme agents de protection contre les champignons phytopathogènes et les microorganismes envahissant la denrée alimentaire. (**Le Lis-Balchin M, 2003**).

Huiles essentielles agissent sur un large spectre de moisissure et de levure en inhibant la croissance des levures et la germination des spores, l'élongation du mycélium, la sporulation et la production de toxines chez les moisissures. L'étude de l'effet fongicide et fongistatique des huiles essentielles vis-à-vis de champignons pathogènes a fait l'objet de plusieurs travaux (**Karaman, S., et al, 2001**), (**Duarte, M.C.T., et al, 2005**). Comme pour l'activité antibactérienne, le pouvoir antifongique est attribué à la présence de certaines fonctions chimiques dans la composition des HE. L'action antifongique de ces composées est due à une augmentation de la perméabilité de la membrane plasmique suivie d'une rupture de celle-ci entraînant une fuite du contenu cytoplasmique et donc la mort de la levure. En effet, les composés terpéniques des huiles essentielles et plus précisément leurs groupements fonctionnels tels que les phénols et les aldéhydes réagissent avec les enzymes membranaires et dégradent la membrane plasmique des levures. Ils ont constaté également que les alcools et les lactones sesquiterpéniques avaient une activité antifongique.

1.3. Activité antivirale

Les huiles essentielles présentent une activité antivirale intéressante contre divers types de virus, notamment ceux à enveloppe. Cette propriété est attribuée à certains composés volatils comme les terpènes, les alcools et les phénols, qui peuvent altérer l'enveloppe virale, bloquer la réplication du génome viral ou inhiber la pénétration du virus dans la cellule hôte **(Muñoz et al., 2021)**. Des huiles telles que celles de *Thymus vulgaris*, *Cinnamomezeylanicum* ou encore *Eucalyptus globules* ont montré une efficacité notable contre des virus tels que l'herpès, la grippe ou encore le corona virus humain. Ces huiles peuvent agir par désactivation direct du virion, mais aussi par modulation de la réponse immunitaire, renforçant ainsi la protection de l'organisme.

1.4.les activité antioxydantes

Le déséquilibre des processus homéostatiques entre les oxydants et les anti-oxydants dans l'organisme, qui est causé par les radicaux libres, conduit au stress oxydatif. Le stress oxydatif est considéré comme la principale cause du vieillissement et d'une grande variété des maladies humaines, telles que les cancers, le diabète, les troubles neurodégénératifs, l'athérosclérose, l'ischémie cérébrale etc. Les antioxydants sont des substances qui retardent, empêchent ou inhibent de manière significative les dommages oxydatifs causés aux molécules cibles **(Lee et al., 2020)** Les propriétés antioxydantes in vitro des huiles essentiel de des plantes médicinales ont été déterminées en utilisant le test de piégeage des radicaux libres DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) et les résultats ont révélé une forte activité avec la valeur de la concentration inhibitrice demi-maximale (IC50) de 8,24-12,42 µg/Ml **(Keyvan et al., 2016)**. Le test de photo chimiluminescence (PLC), évaluant l'activité antioxydante du composé en présence du radical anion superoxyde, espèces réactives de l'oxygène (ROS), également générées dans le corps humain, a déterminé le fort effet antioxydant des huiles essentiel a été réalisée par M. Rezgui et al **(Rezgui et al., 2020)**.

1.5. Activité anti-inflammatoire

L'inflammation est un phénomène réactionnel mis en œuvre par l'organisme chaque fois que l'intégrité de ses constantes morphologiques et biologiques est menacée à diverses agressions qui peuvent être d'origine physique, chimique, biologique (réponse immunitaire) ou infectieuse. **(Geng et al, 2014), (Qi Lia et al, 2017), (Du et al, 2018)**

Les signes de ce processus sont : chaleur, rougeur, douleur, œdème. **(Yougbaré-Ziébrou et al, 2016)**

1.6. Activité pharmacologique

Malgré l'évolution de l'industrie pharmaceutique moderne, l'usage des huiles essentielles en médecine n'a jamais été totalement abandonné. Bien au contraire, elles sont aujourd'hui reconnues comme un réservoir naturel de molécules bioactives présentant un intérêt thérapeutique important, notamment pour leurs propriétés anti-inflammatoires, antiseptiques, antioxydantes, insecticides et désodorisantes **(Silva et al., 2020)**. Elles sont largement utilisées dans la fabrication de produits pharmaceutiques tels que les sirops, gouttes, gélules, ainsi que dans la préparation d'infusions médicinales, comme celles à base de verveine, menthe ou thym. Ces huiles interviennent aussi dans divers traitements traditionnels et modernes, renforçant leur rôle dans la prévention et le soulagement de plusieurs pathologies.

1.7. Activité antiseptique

Les huiles essentielles sont reconnues pour leurs propriétés antiseptiques à large spectre, agissant efficacement contre des infections bactériennes et fongiques. En phytothérapie, elles sont utilisées pour prévenir et traiter les maladies infectieuses, qu'elles soient d'origine bactérienne comme les infections endo canalaire ou fongique comme celles affectant la flore vaginale ou la peau **(Sharmeen et al., 2020)**.

Certaines huiles présentent également des effets cytotoxiques, ce qui renforce leur potentiel comme agents antiseptiques naturels, comparables aux désinfectants chimiques. Leur efficacité contre des pathogènes résistants fait d'elles des alternatives prometteuses dans la lutte contre les infections.

2. Utilisation cosmétique, sécurité et cadre réglementaire des huiles essentielles

2.1. Utilisation de l'huile essentielle dans les formulations cosmétiques

Les huiles essentielles sont largement utilisées dans l'industrie cosmétique en raison de leurs propriétés biologiques et de leur origine naturelle. Elles sont incorporées dans diverses formulations afin d'améliorer les propriétés fonctionnelles et sensorielles des produits cosmétiques. **(Javed et al., 2024).**

2.1.1. Applications dermatologiques

L'huile essentielle est utilisée comme ingrédient actif dans les produits destinés aux soins cutanés grâce à ses propriétés apaisantes, anti-inflammatoires et régénératrices. Elle est notamment intégrée dans les crèmes et lotions destinées aux peaux sensibles afin de réduire les rougeurs et les irritations cutanées. Son utilisation est également rapportée dans certaines formulations destinées au soulagement des manifestations inflammatoires telles que l'eczéma.

2.1.2. Applications capillaires

Dans le domaine capillaire, l'huile essentielle est incorporée dans les shampooings, après-shampooings et autres soins capillaires. Elle est appréciée pour ses propriétés purifiantes, adoucissantes et rafraîchissantes. Certaines huiles essentielles sont particulièrement utilisées dans les produits destinés aux cheveux clairs en raison de leur effet embellissant et apaisant sur le cuir chevelu.

2.1.3. Systèmes modernes de délivrance et conservation

Les recherches récentes s'orientent vers l'utilisation de systèmes de vectorisation avancés, notamment les nanoémulsions, afin d'améliorer l'incorporation des huiles essentielles dans les formulations cosmétiques. Ces technologies permettent d'augmenter leur stabilité face à l'oxydation, d'améliorer leur biodisponibilité cutanée et de favoriser leur pénétration dans les couches superficielles de la peau. Par ailleurs, les propriétés antimicrobiennes de certaines huiles essentielles permettent leur utilisation comme agents de conservation naturels ou bioconservateurs dans les produits cosmétiques. **Figure 05**



Figure 05: Préparation d'une formulation cosmétique contenant des huiles essentielles en laboratoire

2.2. Toxicologie des huiles essentielles

Bien qu'elles soient d'origine naturelle, les huiles essentielles sont constituées de mélanges complexes de molécules bioactives pouvant présenter certains risques toxicologiques. Leur utilisation en cosmétique nécessite donc une évaluation rigoureuse afin de garantir la sécurité du consommateur.

2.2.1. Risques cutanés et biologiques

Selon l'EDQM, l'origine naturelle d'une substance ne garantit pas son innocuité. Les huiles essentielles peuvent provoquer différents effets indésirables :

- L'irritation et la dermocausticité, principalement associées aux phénols et aux aldéhydes aromatiques **(Bakkali et al., 2008)**.
- La photosensibilisation, observée notamment avec les huiles essentielles d'agrumes riches en furocoumarines sous l'action des rayonnements ultraviolets (IFRA).
- La sensibilisation allergique, pouvant survenir après des applications répétées ou l'utilisation de concentrations élevées. **(Normes IFRA)**.

2.2.2. Facteurs influençant la toxicité

La sécurité d'emploi des huiles essentielles dépend de plusieurs paramètres :

- La nature chimique des constituants majoritaires et leur profil chromatographique.
- La concentration utilisée dans la formulation finale.
- La durée et la fréquence d'exposition.
- Le type de peau concerné (peau sensible, lésée ou immature).
- Le mode d'application, notamment la différence entre les produits rincés (shampooings) et les produits non rincés (crèmes et lotions). **(Règlement CE n° 1223/2009)**

2.3. Cadre réglementaire et exigences légales

L'utilisation des huiles essentielles dans les produits cosmétiques est encadrée par une réglementation stricte visant à garantir la protection de la santé humaine et la sécurité des consommateurs.

2.3.1. Statut juridique et définition du produit

Selon le Règlement (CE) n° 1223/2009, une huile essentielle incorporée dans un produit cosmétique doit répondre aux exigences applicables aux ingrédients cosmétiques. Son rôle doit demeurer esthétique, protecteur ou hygiénique et ne peut revendiquer d'effet thérapeutique. **(Parlement Européen et Conseil, 2009)**

2.3.2. Évaluation de la sécurité (RSPC)

Avant toute mise sur le marché, la Personne Responsable doit établir un Rapport sur la Sécurité du Produit Cosmétique (RSPC). Cette évaluation repose notamment sur l'étude de la stabilité, de la composition chimique, des propriétés physicochimiques et du profil toxicologique des huiles essentielles utilisées.). **(SCCS, 2023)**

2.3.3. Maîtrise des allergènes et obligations d'étiquetage

La réglementation européenne impose la déclaration des substances allergènes naturellement présentes dans les huiles essentielles, telles que le linalol, le limonène ou le citral, lorsque leurs concentrations dépassent les seuils réglementaires fixés pour les produits rincés ou non rincés. **(Directive 2003/15/CE, 2003)**

2.3.4. Critères de qualité, pureté et traçabilité

La qualité des huiles essentielles doit être garantie par :

- L'identification botanique précise (genre, espèce et organe producteur).
- La traçabilité de l'origine végétale.

- L'absence de contaminants, de résidus de pesticides ou de solvants.
- La caractérisation chimique par chromatographie et autres méthodes analytiques.(EDQM ,2016)

14.3.5. Normes de fabrication et maîtrise de la phototoxicité

Les huiles essentielles photosensibilisantes, notamment celles issues des agrumes, doivent respecter des limites strictes concernant leur teneur en furocoumarines afin de prévenir les réactions phototoxiques lors de l'exposition au soleil. Ces exigences sont définies par les normes internationales de l'IFRA.(IFRA,2020)

2.3.6. Responsabilité et Bonnes Pratiques de Fabrication (BPF)

La fabrication des produits cosmétiques contenant des huiles essentielles doit être réalisée conformément aux Bonnes Pratiques de Fabrication (BPF). Celles-ci garantissent la qualité, la sécurité, la traçabilité et la conformité réglementaire des produits tout au long de leur cycle de vie (ISO 22716, 2007)

les huiles essentielles constituent une source naturelle précieuse de composés bioactifs aux propriétés biologiques et pharmacologiques variées. Elles représentent une alternative prometteuse dans la lutte contre les infections, le stress oxydatif et les inflammations. Cependant, malgré leurs nombreux avantages, leur utilisation doit être rigoureusement contrôlée afin d'assurer la sécurité des consommateurs et de respecter les normes de qualité et les réglementations en vigueur.

Chapitre III

Caractéristiques botaniques, écologiques et usages traditionnels de Matricaria chamomilla L

Dans le contexte de la transition globale vers la « chimie verte » et d'une industrie cosmétique plus sûre et durable, un intérêt marqué s'est manifesté pour les ingrédients naturels susceptibles de répondre simultanément aux impératifs d'efficacité et de sécurité. La multiplication des preuves scientifiques concernant les risques potentiels associés aux conservateurs synthétiques, tels que les parabènes et les libérateurs de formaldéhyde, a élevé la recherche d'alternatives naturelles, notamment issues des plantes médicinales, au rang de priorité stratégique dans la recherche cosmétique contemporaine (**Green, 2019 ; Zatloukalová et al., 2023**). Dans ce cadre, la plante *Matricaria chamomilla* (camomille allemande) s'impose comme l'une des sources naturelles les plus riches en composés biologiquement actifs, ce qui en a fait un sujet central pour de nombreuses études dans les domaines de la pharmacie et de la cosmétique (**Singh et al., 2011**).

Cette plante se caractérise par son appartenance à la famille des Astéracées (Asteraceae). Ses capitules floraux acquièrent une importance particulière en raison de leur teneur en une huile essentielle distinctive qui prend une coloration bleu foncé après distillation, en conséquence de la transformation du matricine en chamazulène (**Guenther, 2013**). Cependant, la valeur applicative de la camomille ne se limite pas à sa seule huile volatile. Elle s'étend également à sa fraction non volatile, laquelle est riche en flavonoïdes tels que l'apigénine et la quercétine, en coumarines et en acides phénoliques. Ces composés agissent en synergie pour amplifier les propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes de la plante (**El Mihyaoui et al., 2022 ; Kowalczyk et al., 2020**).

D'un point de vue technico-applicatif, la camomille revêt une importance exceptionnelle dans l'industrie cosmétique, non seulement en tant qu'ingrédient apaisant ou rafraîchissant, mais également comme agent de conservation naturel prometteur. Les études récentes ont démontré que l'huile essentielle de camomille possède la capacité d'altérer les membranes plasmiques des bactéries et des champignons pathogènes. Cette propriété la rend un candidat pertinent pour une utilisation dans des systèmes d'« auto-conservation » au sein des formulations de soins capillaires, cutanés et des produits pour enfants, lesquels exigent le plus haut degré de douceur et de sécurité (**Srivastava et al., 2010 ; Miao et al., 2023**).

En conséquence, ce chapitre vise à présenter une étude analytique exhaustive de la plante *Matricaria chamomilla*. L'étude débutera par sa description botanique et sa classification, poursuivra par l'analyse de sa composition chimique, tant volatile que stable, et examinera ses

mécanismes biologiques antimicrobiens et antioxydants. Elle aboutira ensuite à l'évaluation de ses applications cosmétiques et de son potentiel en tant qu'alternative naturelle aux conservateurs synthétiques, tout en mentionnant les limites de sécurité et la conformité aux normes réglementaires internationales (ISO, IFRA).

1 Présentation de la plante étudiée

1.1 Description botanique et morphologique

Matricaria chamomilla L., communément appelée matricaire, illustre un exemple représentatif des plantes herbacées relevant de la famille des Astéracées (Asteraceae). Sa morphologie spécifique répond à une adaptation particulière à son milieu et à une aptitude à attirer les pollinisateurs. La croissance de la plante débute par un système racinaire pivotant, fin, qui ne pénètre pas en profondeur, mais se divise en un réseau fibreux dense dans les couches superficielles du sol, facilitant ainsi l'absorption des nutriments. La teinte des racines varie du brun clair au blanc jaunâtre (Das, 2014).

Concernant l'appareil végétatif, il présente des feuilles alternes, sessiles, profondément segmentées en lobes linéaires très étroits (bipennatiséquées), conférant un aspect lacinié proche de la dentelle. La surface des feuilles est généralement glabre, caractéristique qui permet de différencier cette espèce de la camomille romaine. Par ailleurs, la finesse des lobes contribue à limiter la transpiration, ce qui aide la plante à mieux supporter les périodes de sécheresse (Lim, 2013).

Les fleurs, quant à elles, constituent un intérêt majeur tant sur le plan scientifique que médical. Elles sont organisées en capitules, eux-mêmes entourés de bractées disposées en rangées. Ces capitules regroupent deux types floraux : en périphérie, des fleurs ligulées blanches, femelles, qui s'inclinent vers le bas une fois arrivées à maturité ; au centre, des fleurs tubulées jaunes, bisexuées. La forme conique et creuse du réceptacle interne reste un critère anatomique déterminant pour distinguer la matricaire des espèces proches, souvent qualifiées de fausses camomilles (Singh et al., 2011)..Figure 06, Figure 07



Figure 06 Chamomile *Matricaria chamomilla*

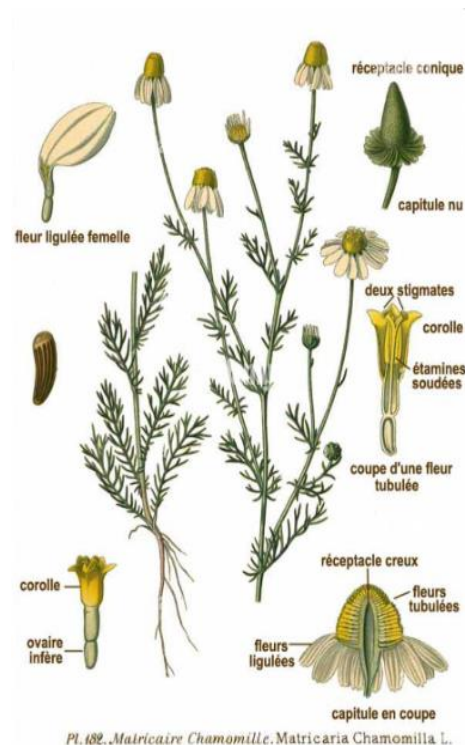


Figure 07 Description botanique et morphologique
Matricaria chamomilla

1.2 Classification systématique (Taxonomie)

La matricaire (*Matricaria chamomilla* L.) est positionnée dans le règne végétal selon une hiérarchie établie à partir de traits morphologiques et génétiques. D'après la base de données mondiale sur la biodiversité (GBIF Secretariat, 2019), cette espèce s'inscrit dans les catégories suivantes :

- Règne : Plantae (Végétaux)
- Clade : Tracheophyta (Plantes vasculaires)
- Classe : Magnoliopsida (Dicotylédones)
- Ordre : Asterales
- Famille : Asteraceae (Astéracées)
- Sous-famille : Asteroideae
- Genre : *Matricaria* L.

- Espèce : *Matricaria chamomilla* L.

Cette classification est largement reconnue au niveau international pour différencier la « camomille allemande » des espèces apparentées (Lim, 2013 ; GBIF Secretariat, 2019). La mention « (L.) » associée au nom scientifique renvoie au naturaliste Carl von Linné (Linnaeus), qui a initialement décrit et catégorisé cette espèce.

1.3 Noms vernaculaires et étymologie

La matricaire est connue à l'échelle mondiale sous différentes appellations, souvent en lien avec sa répartition géographique ou ses caractéristiques morphologiques.

1.3.1. Noms vernaculaires

Parmi les désignations les plus courantes, on retrouve :

- En France : elle est généralement appelée Camomille ou Camomille sauvage.
- Dans les pays anglophones : elle porte le nom de Chamilla (Balagizi et al., 2005). Aux États-Unis, on la distingue sous les termes German Chamomile (*Camomille allemande*) ou Hungarian Chamomile (*Camomille hongroise*), afin de la différencier des espèces romaines (Ross, 2001).
- Dans le monde arabe : elle est connue sous le nom de Babounej, tandis que dans certaines zones du Maghreb, on la désigne sous le terme d'Amlal (Rhattas et al., 2016).
- En Allemagne : la plante est appelée Echte Kamille ou Wild Chamomile.
- En Italie : elle porte les noms de Camomilla comune, Camomilla ou Camomirra.

1.3. 2. Étymologie

L'appellation scientifique ainsi que les racines linguistiques de la camomille reposent sur des origines latines et grecques spécifiques :

- Matricaria : ce nom est issu du latin Matrix signifiant utérus, en référence à l'usage traditionnel de la plante dans le traitement de troubles gynécologiques et de douleurs utérines (Ross, 2001).
- Chamomilla : ce terme provient du grec Chamaimēlon, formé de Chamai (sur la terre) et Mēlon (pomme). Cette dénomination reflète l'odeur des fleurs écrasées, qui rappelle celle d'une pomme fraîche (Singh et al., 2011).

1.4 Exigences édapho-climatiques et culture:

La matricaire est généralement reconnue pour sa résilience et son adaptabilité. Cependant, la qualité de ses huiles essentielles dépend largement des conditions environnementales dans lesquelles elle évolue.

Concernant les conditions climatiques, cette plante est adaptée à des climats frais. Elle prospère dans une plage de températures comprise entre 7 et 26 °C, avec des précipitations annuelles situées entre 400 et 1400 mm (**Lim, 2013**). Sa tolérance au gel est notable, pouvant supporter des températures atteignant environ -12 °C. Néanmoins, pour optimiser la photosynthèse et favoriser la synthèse d'azulène dans l'huile essentielle, une exposition en plein soleil ainsi que des journées longues sont indispensables. Certaines recherches ont souligné qu'une température élevée tend à accélérer la floraison tout en réduisant le poids sec des capitules floraux (**Singh et al. 2011**).

En ce qui concerne le sol et la fertilisation, la matricaire manifeste une préférence pour les sols légers, particulièrement limono-sableux et bien drainés. Elle tolère une large gamme de pH, entre 4,8 et 8,5. Sa capacité à supporter des sols argilo-calcaires, caractérisés par une certaine salinité et alcalinité, est également documentée (**Lim, 2013**). Sur le plan nutritionnel, la plante requiert des apports modérés en éléments majeurs, notamment en azote, phosphore et potassium, lesquels doivent être ajustés en fonction des analyses de sol. Cela permet d'éviter une croissance végétative excessive qui pourrait nuire à la formation des fleurs (**Ghedira et al. 2009**).

Le cycle de culture débute par le semis des graines au printemps ou à l'automne, avec un espacement entre 15 et 30 cm pour assurer une aération suffisante entre les plants (**Ghedira et al. 2009**). Bien que la matricaire soit relativement résistante à la sécheresse une fois adulte, la phase de germination et le développement initial des jeunes plants exigent une irrigation régulière et abondante. Cette pratique est essentielle pour assurer un bon enracinement et favoriser l'établissement de la plante dans le sol (**Das, 2014 ; Ghedira et al., 2009**).

1.5 Distribution géographique et habitat naturel.

La camomille allemande (*Matricaria chamomilla* L.) figure parmi les plantes les plus largement distribuées au monde. Son aire d'origine s'étend de l'Europe, à l'exception des régions polaires, jusqu'à l'Asie occidentale et l'Afrique du Nord. En raison de ses propriétés médicinales reconnues, cette plante a été introduite et mise en culture dans diverses autres

régions, notamment en Amérique du Nord, ainsi qu'en Australie et en Nouvelle-Zélande. Elle s'est ainsi naturalisée dans un grand nombre de pays à travers le monde. (Singh, O., Khanam, Z., Misra, N., & Srivastava, M. K. 2011).

La camomille se développe naturellement dans des espaces exposés au soleil et dégagés. Elle colonise de préférence des terrains vagues, les abords des routes, les champs laissés en jachère ainsi que les pâturages. Cette plante est considérée comme une espèce pionnière, souvent présente sur des sols perturbés ou récemment remués. Par ailleurs, elle prospère notamment en culture associée aux céréales d'hiver. (Grieve, M. 1931).

Bien que la camomille fasse preuve d'une grande adaptabilité à divers types de sols, elle manifeste certaines préférences spécifiques. Elle se développe mieux dans des sols riches en azote et présentant une texture lourde argileuse. Par ailleurs, elle bénéficie d'une tolérance singulière aux sols alcalins et salins, conditions dans lesquelles nombre d'autres cultures rencontrent des difficultés. Sur le plan climatique, un climat tempéré combiné à une exposition directe au soleil est requis pour assurer une production optimale des huiles essentielles volatiles. (Das, M. 2014). En ce qui concerne l'altitude, la camomille peut croître sur une vaste gamme d'altitudes, allant des zones côtières situées à basse altitude jusqu'aux régions montagneuses dont l'altitude avoisine 2000 mètres au-dessus du niveau de la mer, notamment dans le bassin méditerranéen.

(Tutin, T. G., et al. 1976).

1.6 Importance ethnobotanique et usages traditionnels :

L'importance ethnobotanique de *Matricaria chamomilla* L. est solidement établie dans le cadre de la médecine traditionnelle mondiale, positionnant cette plante parmi les plus étudiées et utilisées à des fins médicinales. Depuis l'Antiquité, ses usages sont abondamment documentés dans les textes des civilisations égyptienne, grecque et romaine, notamment par les écrits d'Hippocrate, Dioscoride et Galien. Ces sociétés recouraient déjà aux fleurs broyées afin de traiter diverses affections cutanées telles que l'érythème et la xérose (Degner et al., 2009). Reconnaisant ses effets sédatifs modérés, spasmolytiques, anti-inflammatoires et cicatrisants, la camomille figure aujourd'hui parmi les plantes recommandées par des instances telles que la Commission E allemande, qui autorise son usage interne pour les spasmes gastro-intestinaux et externe pour les inflammations cutanées et respiratoires (Degner et al., 2009 ; Janmejai et al., 2010).

Quant aux usages traditionnels, pratiquement toutes les parties de la plante sont employées selon les territoires considérés. Par exemple, une décoction des feuilles est utilisée pour soulager les spasmes gastriques, les infections des voies respiratoires ainsi que certains troubles gynécologiques tels que les complications post-partum et les vaginites. En Asie centrale, la racine est généralement mobilisée comme cholérétique et expectorante. Les fleurs, quant à elles, sont consommées en infusion pour traiter des affections comme la gastrite, les ulcères gastroduodénaux, la diarrhée, ou encore des affections parodontales, notamment la gingivite **(Bussmann et al., 2019)**. En complément de ses propriétés antispasmodiques et antiseptiques traditionnelles, des recherches plus récentes mettent en lumière des effets neurologiques et immunologiques potentiels, comprenant des activités antivirales, antidépresseurs et une amélioration notable des fonctions mnésiques **(Ionita et al., 2018)**.

Cette diversité thérapeutique, couvrant des soins allant de la cicatrisation des plaies à la gestion des affections névrotiques, confirme le rôle majeur de *Matricaria chamomilla* L. comme ressource ethnobotanique à l'échelle mondiale

Ainsi, l'ensemble des données présentées dans ce chapitre met en évidence que *Matricaria chamomilla* L. est une espèce végétale à forte valeur scientifique et médicinale. Sa diversité morphologique, sa large capacité d'adaptation et sa richesse en composés actifs expliquent son intérêt croissant dans différents domaines de recherche.

De plus, son utilisation traditionnelle, transmise à travers les générations et les différentes cultures, confirme son rôle central dans les pratiques ethnobotaniques à l'échelle mondiale. Cette continuité entre usages anciens et applications modernes souligne l'importance de cette plante dans le développement de la phytothérapie contemporaine. En conséquence, *Matricaria chamomilla* L. représente une ressource naturelle prometteuse, dont l'étude approfondie demeure essentielle pour mieux exploiter ses potentialités thérapeutiques et économiques.

Partie II partie expérimentale

Matériels et méthode

Objectif

Cette étude vise à évaluer le potentiel de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* en tant que conservateur naturel dans les formulations cosmétiques. Pour ce faire, ses propriétés antioxydantes, sa sécurité biologique et son activité antimicrobienne ont été étudiées. L'efficacité conservatrice de cette huile essentielle a ensuite été évaluée dans une formulation cosmétique modèle à l'aide d'un test de challenge et comparée à celle d'un conservateur synthétique de référence afin d'apprécier sa capacité à assurer la stabilité microbiologique du produit.

2. Matériel

2.1. Matériel végétal :

2.1.1 Zone de récolte

Les parties aériennes de *Matricaria chamomilla* L. ont été récoltées dans la région de Ras El Oued, située dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj (Nord-Est de l'Algérie), comme illustré dans la figure 08. Cette zone présente une grande diversité géographique et bénéficie d'un climat semi-aride à influence méditerranéenne, caractérisé par des hivers froids et des étés chauds, typiques des hauts plateaux sétifiens.

La région est reconnue pour ses terres agricoles fertiles et ses conditions édaphiques favorables au développement des plantes aromatiques et médicinales. L'altitude basse à moyenne ainsi que les variations thermiques marquées contribuent à la diversité de la flore sauvage et cultivée et favorisent la biosynthèse des métabolites secondaires.

La récolte a été effectuée durant la période de pleine floraison afin de garantir une concentration optimale en principes actifs, conformément aux données de la flore algérienne (Quezel et Santa ; Benhouhou, 2005).

Le choix de ce site repose également sur son isolement relatif vis-à-vis des sources de pollution anthropique, ce qui permet de préserver l'intégrité phytochimique des échantillons (Piras et al., 2018). Enfin, les conditions de stress abiotique propres à cette zone steppique constituent un facteur favorable à l'accumulation de composés bioactifs tels que les composés phénoliques et les terpénoïdes (Ghanati et al., 2005).



Figure 08 Localisation de la zone de culture

2.1.2. Récolte du matériel végétal

La plante étudiée, *Matricaria chamomilla*, a été récoltée dans la région rurale de Ras El Oued, dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj, en avril 2025. La récolte a concerné les parties aériennes de la plante, à savoir les tiges et les feuilles **Tableau 02**. Pour la réalisation des coupes histologiques, des échantillons frais ont été utilisés immédiatement après la récolte afin de préserver au mieux l'intégrité structurale des tissus et d'assurer la fiabilité des observations microscopiques.

Tableau 02 : Origine et caractéristique du matériel végétal.

Quantité du matériel végétal traité	1250g
Lieu de récolte	Ras El Oued ,Bordj Bou Arreridj
L'origine de la plante	Ras El Oued ,Bordj Bou Arreridj
Durée de séchage	15jours
Partie utilisée	les parties aériennes
Etat	sec
Date de récolte	avril 2025

2.2. Matériel biologique

2.2.1. Microorganismes :

Trois souches bactériennes de référence ont été utilisées pour déterminer l'activité antimicrobienne des huiles essentielles des plantes étudiées, elle est représentée dans le **Tableau 03**. Ces souches ont été obtenues auprès du Laboratoire de Biologie, Département de Microbiologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Saida.

Les souches ont été entretenues par repiquages successifs. Pour la préparation des inoculums, les bactéries ont été transférées à partir de boîtes de Pétri préalablement cultivées vers des tubes contenant un milieu nutritif liquide. L'incubation a été réalisée pendant 24 heures à 37 °C. Après cette période, les cultures ont été ensemencées sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose nutritive, puis incubées à nouveau à 37 °C. Les souches ainsi cultivées ont été conservées à 4 °C jusqu'à leur utilisation.

Tableau 03 : Origines des souches utilisées pour l'étude du pouvoir antimicrobien.

Microorganismes	Gram	Code
<i>Escherichia coli</i>	Négatif	ATCC 8739
<i>Enterobacter cloacae</i>	Négatif	ATCC 13047
<i>Staphylococcus aureus</i>	Positif	ATCC 6538

ATCC : American Type Culture Collection

2.2.2. Globules rouges humaines

Les tests sur l'effet hémolytique des huiles essentielles et des extraits, ont été effectués sur le globule rouge humain (modèle universel de cellules animales) provenant d'un donneur unique sain.

3.Méthodes:

3.1 Extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles a été réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Cette méthode constitue la technique de référence pour l'obtention des huiles essentielles à partir de matière végétale sèche.

Une quantité de 100 g de matière végétale sèche et broyée de *Matricaria chamomilla* a été introduite dans un ballon d'hydrodistillateur d'une capacité de 1 L. Ensuite, 800 ml d'eau distillée ont été ajoutés pour immerger complètement la matière végétale. L'ensemble a été porté à ébullition et maintenu dans cet état pendant une durée de 3 heures à partir du début de l'ébullition. Les vapeurs chargées d'huile essentielle traversent un réfrigérant où elles se condensent, puis elles s'écoulent dans une ampoule à décanter où la séparation entre l'eau et l'huile se fait par différence de densité. A, l'huile essentielle a été conservée dans des flacons en verre ambré, hermétiquement fermés, et stockée à 4 °C à l'abri de la lumière jusqu'aux analyses ultérieures **Figure 09**.

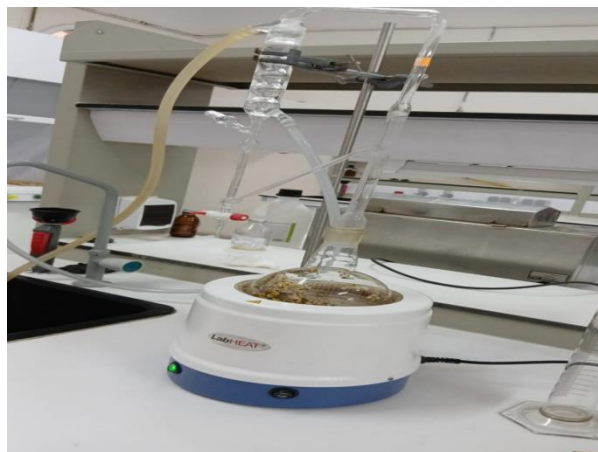


Figure 09 montage d'extractions de type clevenger

3.2 Détermination et calcul du rendement

Selon les normes **AFNOR(1982)**, Le rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse du matériel végétal traité. Ainsi, On a calculé le rendement en utilisant la relation suivante :

$$R (\%) = \text{Masse (HE)} / \text{Masse (M V S)} \times 100$$

R (%) : Rendement en huile essentielle.

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

Masse (MVS) :masse du matériel végétal sec.

3.3. Activité antioxydante totale (TCA)

L'activité antioxydante désigne la capacité d'une substance à retarder ou à inhiber l'oxydation des biomolécules, telles que les lipides, les protéines et l'ADN, à des concentrations relativement faibles par rapport au substrat oxydable. Cette activité repose principalement sur la neutralisation des radicaux libres et des espèces réactives de l'oxygène (ROS), grâce à un mécanisme de transfert d'électrons qui interrompt les réactions en chaîne responsables du stress oxydatif cellulaire **(Halliwell et Gutteridge, 2015)**.

La capacité antioxydante totale (TCA) a été évaluée selon la méthode phosphomolybdique décrite par **(Prieto et al.1999)**. Cette méthode repose sur la réduction du molybdène hexavalent (Mo^{6+}) en molybdène pentavalent (Mo^{5+}) par les composés antioxydants présents dans l'échantillon. Cette réaction, réalisée en milieu acide, conduit à la formation d'un complexe phosphomolybdique de couleur verte dont l'intensité est mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 695 nm.

Pour la préparation du réactif phosphomolybdique, 3,3 mL d'acide sulfurique (H_2SO_4) ont été ajoutés à 60 mL d'eau distillée, suivis de l'ajout de 0,459 g de phosphate de sodium (Na_3PO_4) et de 0,097 g de molybdate d'ammonium. Le volume final a été ajusté à 100 mL avec de l'eau distillée.

L'essai a été réalisé en mélangeant 1 mL d'huile essentielle de camomille (*Matricaria chamomilla*) avec 1 mL du réactif phosphomolybdique dans un tube à essai. Les tubes ont ensuite été incubés au bain-marie à 95 °C pendant 90 minutes, puis refroidis à température ambiante pendant 6 minutes. L'absorbance a été mesurée à 695 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, en utilisant comme blanc un mélange de méthanol et du réactif phosphomolybdique.

3.4. Méthodologie d'évaluation de la cytotoxicité (test d'hémolyse)

L'évaluation de la cytotoxicité constitue une procédure de laboratoire menée in vitro. Son objectif principal est de quantifier l'impact délétère d'une substance donnée sur la viabilité cellulaire ou l'intégrité fonctionnelle des cellules. Cette approche est reconnue comme une étape préliminaire fondamentale dans l'appréciation de la biosécurité des matériaux, avant toute expérimentation in vivo. **(ISO, 2009)**

Afin d'assurer la précision des résultats lors de l'évaluation de la cytotoxicité des huiles essentielles, notamment par la mesure de l'hémolyse des érythrocytes, il est primordial de préparer les solutions avec une rigueur méthodologique. Ainsi, la solution tampon phosphate (PBS) est élaborée en ajustant son pH à 7,4, ce qui s'obtient par la dissolution de 8 g de chlorure de sodium (NaCl), de 0,2 g de chlorure de potassium (KCl), de 1,44 g de Na₂HPO₄, et de 0,24 g de KH₂PO₄. Parallèlement, la solution de lavage réfrigérée est préparée comme une solution isotonique, caractérisée par une concentration de 150 mM de NaCl et 2 mM de MgCl₂. Il est impératif de maintenir cette solution glacée, car elle servira à stopper la réaction.

Quant au protocole expérimental, il est initié par la préparation d'une suspension d'érythrocytes dans le PBS, visant une concentration finale de 4000 cellules/ μ L. Cette étape est suivie par la constitution des tubes de réaction, où sont mélangés 100 μ L de cellules sanguines, 20 μ L de DMSO comme solvant, 930 μ L de PBS, et enfin, 50 μ L de l'huile essentielle à tester. Les tubes sont ensuite incubés dans un bain-marie à 37°C, avec une agitation continue pour garantir l'homogénéité du mélange. Des échantillons périodiques (50 μ L) sont prélevés et immédiatement additionnés à 2 mL de la solution de lavage réfrigérée, afin d'interrompre la réaction. Par la suite, les échantillons sont centrifugés à 4000 tr/min durant 5 minutes. Le surnageant est alors récupéré pour quantifier la densité de l'hémoglobine libérée, au moyen d'un spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde de 548 nm. La valeur de la densité optique (DO) ainsi obtenue est indicative du degré de cytotoxicité de l'huile essentielle

3.5.Évaluation de l'activité antimicrobienne

3.5.1. Préparation de l'inoculum

a. Préparation des pré-cultures

Les évaluations de l'activité antimicrobienne ont été menées en utilisant des cultures jeunes, ayant atteint un âge de 18 à 24 heures, ce qui correspond à la phase exponentielle de leur croissance. Les souches microbiennes ont été réactivées initialement dans un milieu liquide (bouillon nutritif), puis incubées à 37 °C pendant 24 heures pour les bactéries. Après cette phase d'incubation, un repiquage secondaire a été réalisé sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose nutritive (GN) afin d'obtenir des cultures pures et actives, nécessaires aux expérimentations ultérieures **Figure 10**



Figure 10 repiquage secondaire a été réalisé sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose nutritive (GN)

b. Préparation de la suspension bactérienne

À partir des cultures jeunes obtenues sur gélose nutritive, cinq (05) colonies distinctes et morphologiquement homogènes ont été prélevées. Celles-ci ont été mises en suspension dans 5 mL d'eau physiologique stérile. Cette suspension a ensuite été homogénéisée par agitation manuelle durant quelques secondes. La densité bactérienne a été ajustée au moyen d'un spectrophotomètre, paramétré à une longueur d'onde de 625 nm. Selon l'échelle de McFarland, une densité optique (DO) se situant entre 0,08 et 0,10 équivaut à une concentration approximative de 10^8 UFC/mL. La suspension bactérienne ainsi préparée a été diluée au 1/100 dans le milieu de culture, afin d'atteindre une concentration finale de 10^6 UFC/mL, laquelle a servi d'inoculum pour les essais.

Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) par la méthode des micro-dilutions sur milieu liquide

3.5.2. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne des huiles essentielles a été caractérisée par la méthode de micro-dilution en milieu liquide, dans le but d'établir les concentrations minimales inhibitrices (CMI). Cette approche est conforme aux recommandations du **CLSI (2006)**. Le principe de cette méthode repose sur l'observation de la capacité des micro-organismes à manifester une croissance visible au sein d'une série de dilutions de l'agent antimicrobien. Le bouillon nutritif (BN), dont le pH a été ajusté entre 6,8 et 7,2, a été choisi comme milieu de culture. Ce milieu est reconnu comme une référence standard pour ce type d'essai, en raison de sa capacité à soutenir la prolifération de la plupart des bactéries pathogènes non exigeantes et de son faible effet antagoniste vis-à-vis des agents antimicrobiens.

À partir d'une pré-culture bactérienne, obtenue sur gélose nutritive après 24 heures d'incubation à 37 °C, quelques colonies ont été prélevées à l'aide d'une anse stérile et mises en suspension dans du bouillon nutritif. La concentration cellulaire a été ajustée à environ 10^8 cellules/mL, avant d'effectuer une dilution au 1/100 afin d'obtenir un inoculum final de 10^6 cellules/mL. Dans une microplaque stérile à 96 puits, 50 µL de l'inoculum ont été répartis dans l'ensemble des puits, à l'exception du puits n°12, qui a été réservé comme témoin de stérilité (contenant uniquement 100 µL de bouillon nutritif). Ensuite, 50 µL des diverses dilutions de l'huile essentielle ont été introduits dans les puits correspondants, hormis les puits n°11 et n°12. Le puits n°11 a servi de témoin de croissance (inoculum sans huile essentielle). Les microplaques ont été hermétiquement scellées, puis incubées à 37 °C pendant 24 heures. L'interprétation des résultats a été effectuée visuellement, sous une source lumineuse, en évaluant la présence ou l'absence de turbidité, signe de la croissance bactérienne. La CMI a été définie comme la concentration la plus basse d'huile essentielle n'induisant aucune croissance visible. Ces résultats ont été corroborés par un repiquage sur milieu solide, afin de s'assurer de l'absence de viabilité bactérienne.

3.5.3. Détermination des concentrations minimales bactéricides (CMB)

La concentration minimale bactéricide (CMB) est définie comme la concentration la plus faible d'un agent antibactérien capable d'éliminer 99,9 % de la population bactérienne initiale. Après avoir établi la concentration minimale inhibitrice (CMI), suite à 24 heures d'incubation à 37 °C, les puits ne manifestant aucune croissance visible et dont les concentrations sont strictement supérieures à la CMI sont sélectionnés pour la détermination de la CMB. À partir de ces puits, un volume de 10 µL est prélevé puisensemencé sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose nutritive. Les boîtes sont ensuite incubées à 37 °C pendant 24 heures. Cette étape vise à confirmer la viabilité et la capacité de multiplication des cellules bactériennes. La CMB correspond à la plus faible concentration pour laquelle le nombre de colonies observées après incubation est nul.

3.6. Évaluation de l'efficacité conservatrice (Challenge Test)

Le *Challenge Test* est réalisé conformément aux recommandations de la Pharmacopée Européenne. Il a pour objectif d'évaluer la capacité d'un système conservateur à inhiber la prolifération microbienne dans une formulation cosmétique.

La procédure débute par la préparation d'un échantillon de shampooing standard d'un volume de 100 mL. La formulation est composée de Sodium Laureth Sulfate (15 g), de Cocamide (4,5 g), d'EDTA (0,2 g), de chlorure de sodium (NaCl, 1 g) et d'eau distillée. À cette base sont incorporés soit un conservateur synthétique (formaldéhyde), soit des huiles essentielles, soit aucun conservateur dans le cas de l'échantillon témoin. Parallèlement, un milieu de culture de type PCA (Plate Count Agar) est préparé à partir de peptone (5 g), d'extrait de levure (2,5 g), de glucose (1 g) et d'agar (15 g) pour un litre d'eau distillée. Un agent neutralisant composé de Tween 80, de lécithine et de thiosulfate de sodium est également préparé afin d'inactiver l'effet du conservateur lors des prélèvements.

l'inoculum est constitué de trois souches bactériennes de référence, à savoir *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter cloacae* et *Escherichia coli*. Ces souches sont ajustées à une concentration d'environ 10^8 cellules/mL dans une solution de NaCl à 0,9 %. L'étape expérimentale consiste à inoculer 1 mL de suspension microbienne dans 99 mL de shampooing, afin d'obtenir une concentration finale comprise entre 10^5 et 10^6 cellules/mL. Les échantillons sont ensuite répartis dans différents tubes expérimentaux, incluant des souches individuelles (S1, S2, S3) ainsi que des mélanges de souches. Le suivi de la viabilité microbienne est effectué par dénombrement sur gélose à différents temps d'incubation : T0, 2 heures, 7 jours, 14 jours, 21 jours et 28 jours. Les résultats, exprimés en réduction logarithmique, sont ensuite comparés aux critères de conformité A ou B définis par la Pharmacopée Européenne. Cette analyse permet de conclure sur la stabilité microbiologique du produit et sur son efficacité en tant que système conservateur contre la contamination microbienne. **Figure 11 ; Figure 12**

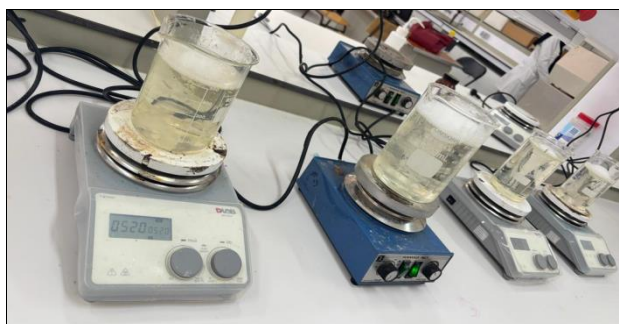


Figure 11 préparation d'un échantillon de shampooing



Figure 12 Test de l'efficacité conservatrice dans le shampooing (challenge test)

Résultats et Discussions

Cette étude vise à évaluer la possibilité d'utiliser l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* comme conservateur naturel dans les formulations cosmétiques. L'huile essentielle est d'abord extraite à partir des parties aériennes de la plante par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger, puis séchée et conservée dans des conditions appropriées jusqu'à son utilisation. L'activité antioxydante est ensuite évaluée par la mesure de la capacité antioxydante totale afin de déterminer l'aptitude de l'huile à neutraliser les radicaux libres. La cytotoxicité est étudiée sur les érythrocytes en mesurant le degré d'hémolyse induit par différentes concentrations de l'huile essentielle, ce qui permet d'apprécier sa sécurité biologique. Par ailleurs, l'activité antimicrobienne est évaluée contre les souches bactériennes *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Enterobacter cloacae* à l'aide de la méthode de microdilution en milieu liquide afin de déterminer la concentration minimale inhibitrice (CMI) et la concentration minimale bactéricide (CMB). Enfin, l'huile essentielle est incorporée dans une formulation cosmétique modèle et soumise à un test de challenge en comparaison avec un conservateur synthétique de référence, par inoculation de micro-organismes standards et suivi de l'évolution de la charge microbienne dans le temps afin d'évaluer l'efficacité du système conservateur.

1. Rendement en huile essentielle de *Matricaria chamomilla*

Le rendement en huile essentielle a été déterminé en rapportant la masse de l'huile obtenue après extraction à la masse initiale du matériel végétal utilisé (**Tableau 04**). Le rendement (R) est exprimé en pourcentage et est calculé selon la formule suivante :

$$R = \frac{\text{la masse de l'huile}(g)}{\text{la masse du matériel végétal initial}(g)} \times 100$$

Tableau 04: Rendements massiques des huiles essentielles

Espèce	Parties utilisées	Rendement (%)
<i>Matricaria chamomilla</i>	Parties aériennes	1,36 %

Le rendement en huile essentielle obtenu à partir de *Matricaria chamomilla* est de 1,36 %, ce qui reflète une extraction satisfaisante par rapport à la matière végétale initiale. Ce résultat est en accord avec les données de la littérature scientifique, où les rendements rapportés varient généralement entre 0,3 % et 2 % en fonction de plusieurs facteurs tels que les conditions de

culture, la partie de la plante utilisée, le stade de développement ainsi que la méthode d'extraction. Plusieurs travaux antérieurs (Singh et al., 2011 ; Salamon, 1992 ; McKay & Blumberg, 2006) confirment cette variabilité. Ainsi, la valeur obtenue se situe dans la gamme haute des rendements moyens, ce qui témoigne d'une efficacité satisfaisante du procédé d'extraction et met en évidence l'intérêt de cette espèce en tant que source potentielle d'huiles essentielles à usage pharmaceutique, alimentaire et biotechnologique.

2. La capacité antioxydante totale (CAT) de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* :

La capacité antioxydante totale (CAT) de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* est exprimée en milligrammes équivalents d'acide ascorbique par gramme de matière sèche (mg EAG/g MS). Elle est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage établie en utilisant l'acide ascorbique comme référence ($y = 0.463x - 0.0113$; $R^2 = 0.9953$) (Figure 13). Les résultats obtenus, illustrant la capacité antioxydante de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*, sont présentés dans le **Tableau 05**

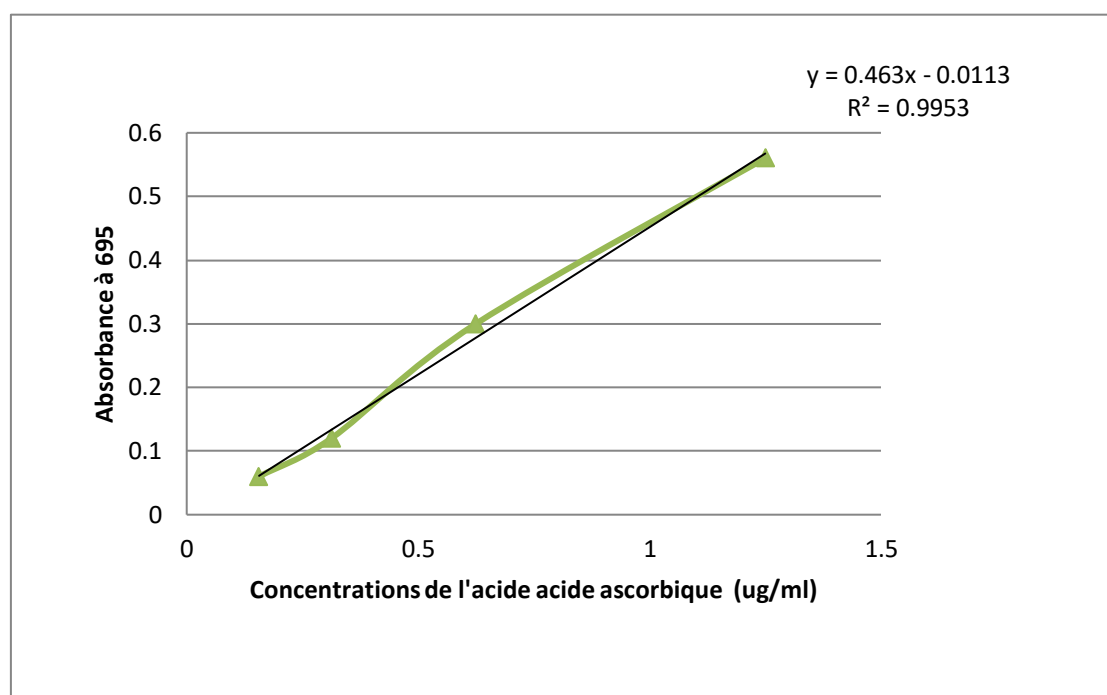


Figure 13 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour la détermination de la capacité antioxydante totale

Tableau 05 : Capacité antioxydante totale des huiles essentielles de plante*Matricaria chamomilla*

En mg EAG/g MS	
<i>Matricaria chamomilla</i> Espèces	
Huile essentielle	12,34

Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* présente une capacité antioxydante totale de 12,34 mg équivalent acide gallique/g de matière sèche (mg EAG/g MS), ce qui traduit une activité antioxydante notable. Cette valeur indique que cette huile essentielle possède une capacité à neutraliser les radicaux libres et à limiter les processus d'oxydation, ce qui est en accord avec les travaux rapportés sur les huiles essentielles riches en composés bioactifs (**Miguel, 2010**).

Cette activité peut être attribuée à la présence de composés bioactifs tels que les terpènes et certains composés phénoliques, reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et leur capacité à piéger les radicaux libres (**Bakkali et al., 2008**). Ainsi, l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* pourrait constituer une source naturelle intéressante d'agents antioxydants, soutenant son utilisation potentielle dans les formulations cosmétiques afin d'améliorer leur stabilité et de protéger leurs composants contre la dégradation oxydative.

En comparaison avec les travaux antérieurs, plusieurs études ont montré que les huiles essentielles issues de plantes médicinales présentent une activité antioxydante variable, dépendant principalement de leur composition chimique et de la teneur en composés actifs. Il a été rapporté que cette activité est étroitement liée à la présence de composés phénoliques et de terpènes, responsables de la réduction du stress oxydatif (**Sharma et al., 2006**).

De plus, certaines études indiquent que l'huile essentielle de camomille présente une activité antioxydante modérée à bonne comparativement à d'autres huiles essentielles, ce qui concorde avec les résultats obtenus dans notre étude (12,34 mg EAG/g MS). Cette variabilité peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment la méthode d'extraction, l'origine géographique de la plante et les conditions environnementales.

Ainsi, nos résultats, en accord avec la littérature scientifique, confirment que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* constitue une source naturelle prometteuse d'antioxydants, pouvant être exploitée dans les domaines pharmaceutique et cosmétique pour limiter les phénomènes d'oxydation et améliorer la stabilité des produits.

3. Effet hémolytique

L'évaluation de l'activité hémolytique de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* sur les globules rouges humains a révélé une libération significative de l'hémoglobine dans le milieu extracellulaire, traduisant une altération de l'intégrité de la membrane érythrocytaire. Les résultats obtenus montrent que le taux d'hémolyse varie en fonction de la concentration de l'huile essentielle ainsi que de la durée d'exposition.

Les concentrations les plus élevées (C1 = 6,25 µg/mL et C2 = 3,125 µg/mL) ont induit les pourcentages d'hémolyse les plus importants, dépassant 80 %, tandis que les concentrations plus faibles (C3 = 1,56 µg/mL, C4 = 0,781 µg/mL et C5 = 0,390 µg/mL) ont présenté une activité hémolytique moins prononcée. Ces résultats mettent en évidence une relation dose-dépendante, indiquant que l'effet hémolytique augmente avec la concentration de l'huile essentielle.

Par ailleurs, il a été observé que l'hémolyse survient rapidement durant les premières minutes d'exposition, puis tend à se stabiliser avec le temps. Cela suggère une interaction rapide des composés bioactifs avec les constituants membranaires, entraînant une augmentation de la perméabilité et la libération de l'hémoglobine dans le milieu extracellulaire.

D'une manière générale, l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* présente une activité hémolytique notable, particulièrement aux concentrations élevées. Cet effet pourrait être attribué à la présence de composés lipophiles, notamment les terpènes, capables d'interagir avec les lipides et les protéines membranaires. Ainsi, malgré ses propriétés biologiques et thérapeutiques reconnues, son utilisation à fortes concentrations pourrait induire des effets cytotoxiques sur les cellules sanguines.

En comparaison avec les travaux antérieurs, plusieurs études ont montré que les huiles essentielles riches en composés terpéniques peuvent induire une hémolyse dose-dépendante en perturbant la bicouche lipidique des érythrocytes. Par exemple, (Sienkiewicz et al.2011) ont rapporté que certaines huiles essentielles présentent une activité hémolytique significative

liée à leur forte teneur en monoterpènes, responsables d'une augmentation de la perméabilité membranaire. De même, (Trombetta et al. 2005) ont démontré que les composés terpéniques peuvent s'insérer dans la membrane cellulaire et provoquer une désorganisation lipidique conduisant à la lyse cellulaire.

Ces résultats concordent avec notre étude et confirment que l'activité hémolytique observée pour *Matricaria chamomilla* est fortement dépendante de la concentration et probablement liée à ses composés bioactifs lipophiles **Figure 14**.

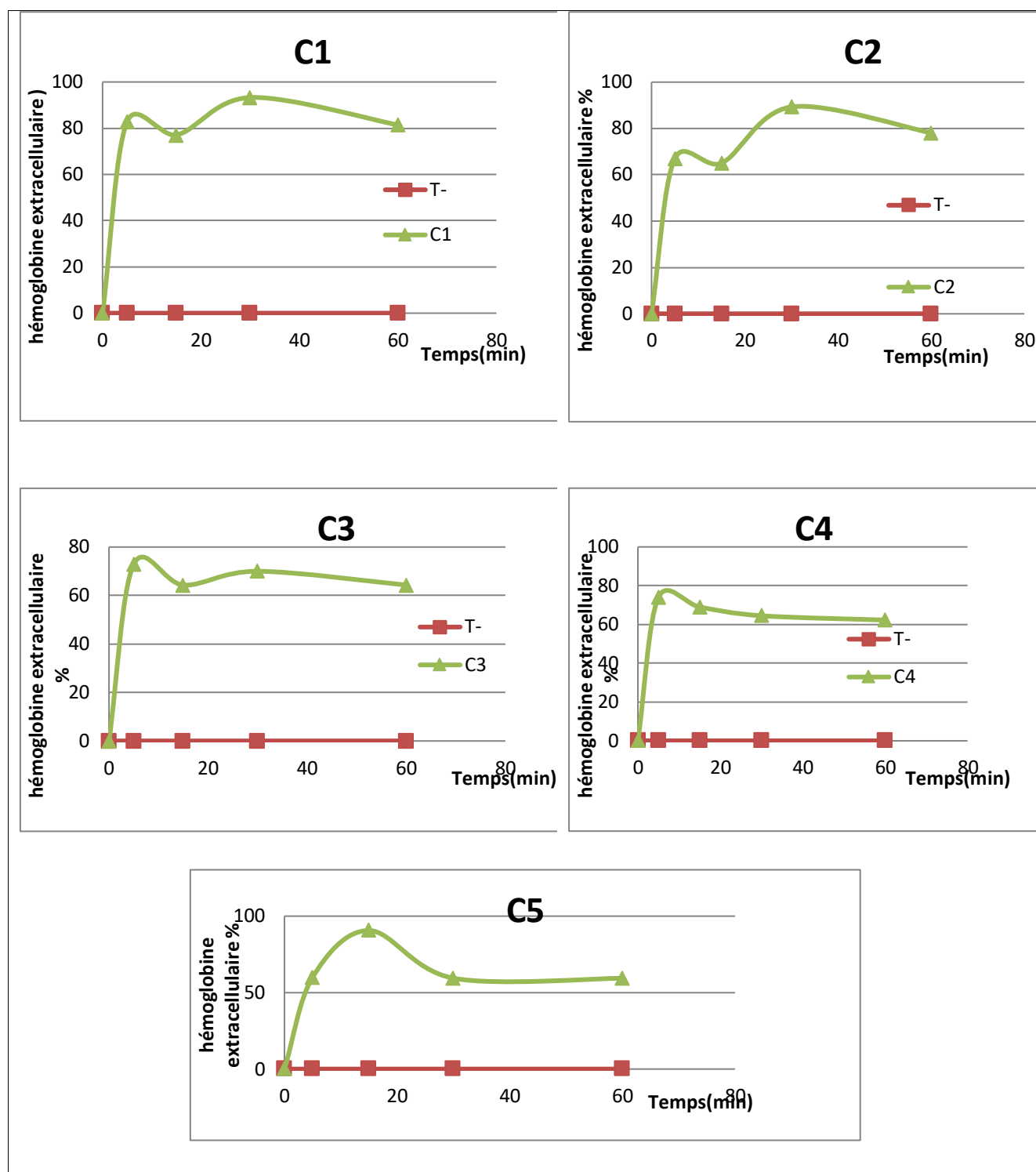


Figure 14 : Effet de la concentration croissante de l'HE de *Matricaria chamomilla* sur la perte de l'hémoglobine chez le globule rouge (C5=0.390ug/ml, C4= 0.781ug/ml, 2 x C3= 1.56ug/ml, C2=3.125ug/ml et C1=6,250)

4.Évaluation de l'activité antibactérienne :

Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et des concentrations minimales bactéricides (CMB)

La méthode de microdilution est une technique couramment utilisée pour évaluer l'activité antimicrobienne des extraits végétaux et des huiles essentielles. Elle permet de déterminer la concentration minimale inhibitrice (CMI), correspondant à la plus faible concentration capable de bloquer la croissance bactérienne. Cette méthode repose sur des dilutions successives de l'échantillon dans des puits contenant un milieu de culture liquide inoculé avec une suspension bactérienne standardisée, suivies d'une incubation dans des conditions favorables au développement microbien.

Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* présente une activité antibactérienne variable selon la souche testée. Les CMI enregistrées sont de 46 µg/mL pour *Escherichia coli* et *Enterobacter cloacae*, tandis qu'une valeur plus faible de 11,5 µg/mL a été observée pour *Staphylococcus aureus*, traduisant une sensibilité plus élevée de cette dernière (**Figure 15**).

L'analyse des concentrations minimales bactéricides (CMB) indique des rapports CMB/CMI de 1 pour *E. coli* et *E. cloacae*, et de 2 pour *S. aureus*. L'égalité entre la CMI et la CMB pour certaines souches suggère un effet bactéricide direct de l'huile essentielle à la concentration inhibitrice.

Ces résultats mettent en évidence une différence de sensibilité entre bactéries à Gram positif et Gram négatif, probablement liée aux variations structurales de leur paroi cellulaire. L'activité antibactérienne observée pourrait être attribuée à la présence de composés bioactifs, notamment des terpènes et des composés phénoliques, capables de perturber l'intégrité des membranes bactériennes.

Ainsi, l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* présente un potentiel antimicrobien intéressant contre les souches étudiées, suggérant son utilisation possible comme agent antimicrobien naturel. Les résultats détaillés sont présentés dans le **tableau 06**.

En comparaison avec les travaux antérieurs, (Cinco et al.1983) ont montré que l'extrait hydroalcoolique de la camomille inhibe un large spectre de bactéries pathogènes, incluant *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* spp. et *Bacillus* spp., confirmant ainsi son activité antibactérienne étendue.

De même, (Munir et al. 2014) ont rapporté une activité plus marquée contre *Staphylococcus aureus* que contre *Escherichia coli*, avec une absence d'effet sur certaines souches telles que *Salmonella typhi*. Ces observations reflètent une variabilité importante de la sensibilité bactérienne, influencée notamment par la structure cellulaire et l'espèce.

Dans notre étude, une différence similaire de sensibilité entre bactéries Gram positives et Gram négatives a été observée, soutenant l'hypothèse selon laquelle la structure de la paroi cellulaire joue un rôle déterminant dans la susceptibilité aux composés actifs. Globalement, ces résultats concordent avec les données de la littérature et confirment l'activité antimicrobienne de *Matricaria chamomilla*, vraisemblablement liée à sa richesse en composés bioactifs tels que les terpènes et les composés phénoliques.

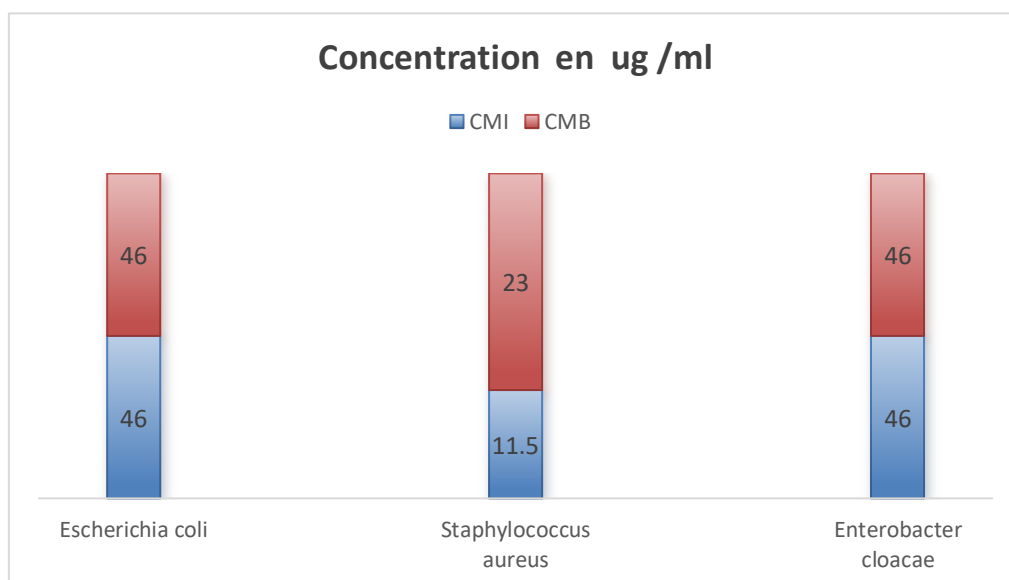


Figure 15 : présente les résultats des CMI et des CMB de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* vis-à-vis des souches bactériennes.

Tableau 06 : Concentrations minimales inhibitrices (CMI) et concentrations minimales bactéricides (CMB) (ug/mL) de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*

<i>Escherichia coli</i>	46
	(46)
	1
<i>Staphylococcus aureus</i>	11,5
	(23)
	2
<i>Enterobacter cloacae</i>	46
	(46)
	1

CMI^a : Concentration minimale inhibitrice ug/ml, **CMB^b** : Concentration minimale bactéricide ug/ml, **R** : Le rapport CMB/CMI

5.Efficacité conservatrice des huiles essentielles dans le shampoing (Test deChallenge)

Nos résultats sont globalement en accord avec les données rapportées dans la littérature scientifique concernant l'activité antimicrobienne de *Matricaria chamomilla*, tout en mettant en évidence certaines variations liées au type d'extrait et à la nature des souches bactériennes testées. En effet, les résultats obtenus par la méthode de micro-dilution montrent que l'huile essentielle de camomille présente une activité inhibitrice contre *Escherichia coli* et *Enterobacter cloacae* à une concentration de 46 µg/mL, tandis que *Staphylococcus aureus* s'est révélée nettement plus sensible, avec une valeur de CMI plus faible (11,5 µg/mL). Par ailleurs, certaines souches présentent un effet bactéricide au niveau de la concentration

inhibitrice, comme c'est le cas pour *Escherichia coli* et *Enterobacter cloacae*, où les valeurs de CMI et de CMB sont identiques, suggérant ainsi une action bactéricide directe.

En comparaison avec les études antérieures, **(Cinco et al. 1983)** ont montré que l'extrait hydroalcoolique de camomille est capable d'inhiber un large éventail de bactéries pathogènes,

notamment *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus spp.* et *Bacillus spp.*, ce qui confirme le large spectre de l'activité antibactérienne de cette plante. De même, (Munir et al. 2014) ont rapporté que les extraits hydroalcooliques de *Matricaria chamomilla* présentent une activité plus marquée contre *Staphylococcus aureus* que contre *Escherichia coli*, avec une absence d'effet observée sur certaines souches telles que *Salmonella typhi*, reflétant ainsi une forte variabilité de la sensibilité bactérienne selon la structure cellulaire et l'espèce.

Dans notre étude, une différence notable de sensibilité a également été observée entre les bactéries à Gram positif et à Gram négatif, ce qui soutient l'hypothèse selon laquelle la structure de la paroi cellulaire joue un rôle déterminant dans la susceptibilité aux composés actifs. Ainsi, nos résultats, en accord avec les travaux antérieurs, confirment que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* possède une activité antimicrobienne significative, dont l'efficacité varie selon la souche bactérienne. Cette activité est probablement liée à sa richesse en composés bioactifs, notamment les terpènes et les composés phénoliques, capables d'altérer l'intégrité de la membrane cellulaire bactérienne.

Les courbes présentées dans la figure 16 illustrent l'évolution de la charge microbienne dans une formulation de shampoing au cours de 28 jours d'incubation, afin d'évaluer l'efficacité de différents systèmes conservateurs. Trois formulations ont été comparées : un shampoing sans conservateur (SC), un shampoing contenant un conservateur biologique (CB) et un shampoing contenant un conservateur synthétique (CS).

Le témoin (SC) montre que la population microbienne demeure élevée et relativement stable durant toute la période d'incubation. Cette observation indique que l'absence de conservateur favorise la survie et la prolifération des microorganismes dans la formulation.

Concernant les entérobactéries, une diminution du nombre de cellules bactériennes a été observée au cours des premiers jours d'incubation dans l'ensemble des formulations. Toutefois, le shampoing contenant le conservateur biologique (CB) a présenté la meilleure activité inhibitrice en maintenant une charge bactérienne plus faible jusqu'à la fin de l'essai. En revanche, une reprise progressive de la croissance bactérienne a été observée dans le shampoing dépourvu de conservateur.

Pour *Escherichia coli*, les résultats montrent une réduction notable de la population bactérienne durant les premiers jours d'incubation, suivie d'une augmentation progressive au

cours du stockage. Cette évolution suggère que le conservateur biologique exerce principalement un effet inhibiteur sur la croissance de cette bactérie, sans pour autant assurer son élimination complète.

Dans le cas de *Staphylococcus aureus*, une diminution importante de la charge bactérienne a été enregistrée dès les premiers jours d'incubation. Cette inhibition s'est maintenue pendant toute la durée de l'essai dans la formulation contenant le conservateur biologique, traduisant une sensibilité plus élevée de cette souche à l'action du conservateur.

Globalement, les résultats du test de challenge démontrent que le conservateur biologique à base d'huile essentielle possède une activité antimicrobienne intéressante dans la formulation du shampooing. Son efficacité est particulièrement marquée vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* et des entérobactéries, alors qu'elle apparaît plus modérée contre *Escherichia coli*. Ces résultats suggèrent que cette huile essentielle pourrait constituer une alternative naturelle prometteuse aux conservateurs synthétiques pour améliorer la stabilité microbiologique des produits cosmétiques.

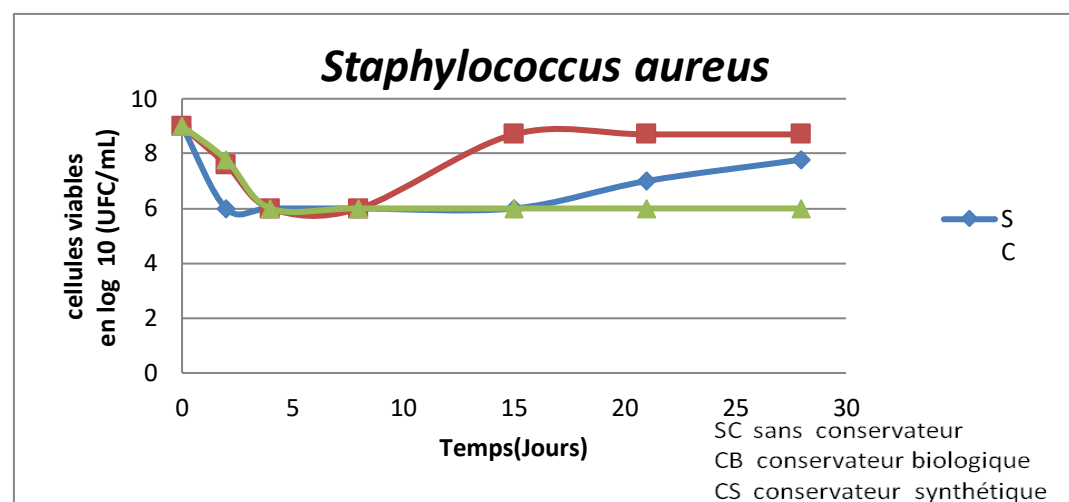
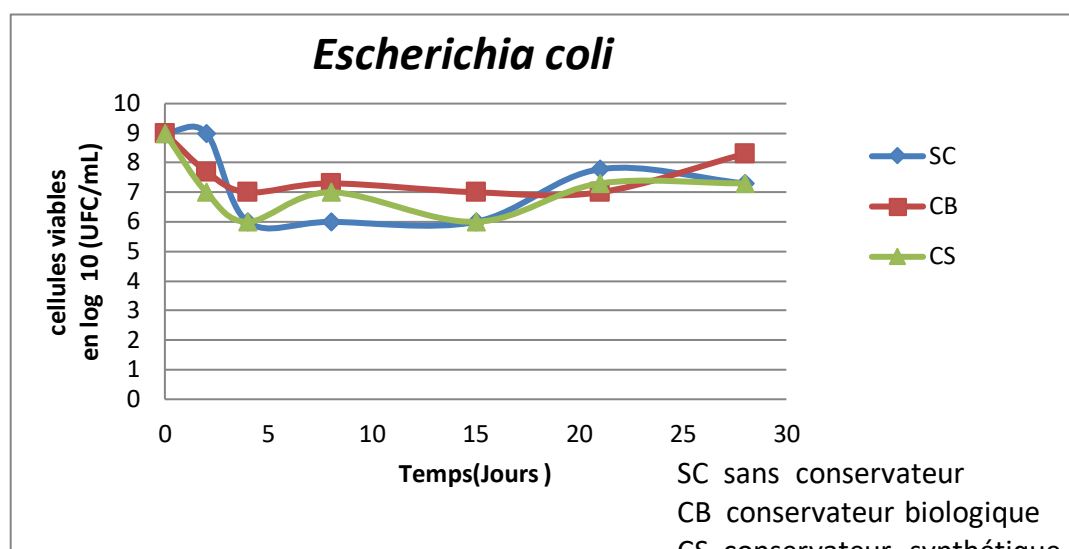
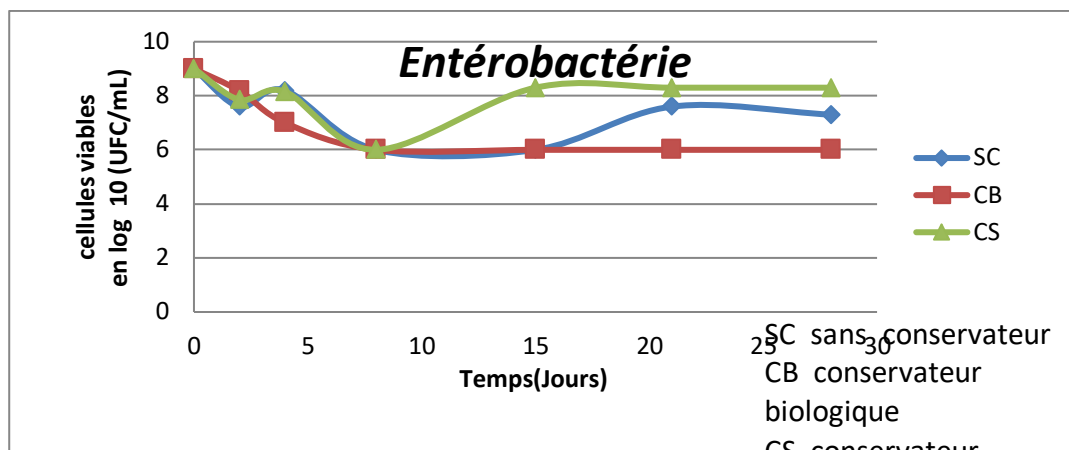


Figure 16 : Inhibition de la croissance d'Escherichia coli, des entérobactéries et de Staphylococcus aureus dans une formulation de shampooing (SC : sans conservateur, CB : conservateur biologique à base d'huile essentielle, CS : conservateur synthétique au formaldéhyde)

Conclusion Générale

Dans un contexte où la sécurité de Consommateur et la durabilité des ressources naturelles se positionnent des exigences incontournables. De l'innovation industrielle.

Le contrôle de la performance des agents de conservation. ne se résume plus à leur unique aptitude. à Prévenir la dégradation microbiologique. Elle est désormais intimement corrélé à leur adéquation avec les exigences de la sécurité sanitaire et de préservation de l'environnement C'est dans cette perspective Que s'inscrit cette étude visant à Mettre en évidence le potentiel de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*. comme solution de substitution biologique capable de contribuer au renouvellement du concept de conservation au cours des industries cosmétiques De nouvelles générations.(Herman, 2013 ; **Cosmetic Ingredient Review, 2016**).

Cette étude a mis en évidence que les essences végétales dépassent le statut de simples composants aromatiques ou des principes actifs Secondaires mais représente une thématique de recherche d'une importance capitale en raison de leur vertus biologique complexe et multifonctionnelles

L'essence de *Matricaria chamomilla* en fournit une illustration parfaite:

Elle associe un pouvoir antibactérien à des vertus calmantes Et modulateurs de l'inflammation Ce qui lui confère un bénéfice majeur dépassant la fonction De protection classique. Afin de participer à l'optimisation des propriétés physico-chimiques et de la performance De la préparation cosmétique.(Bakkali et al., 2008 ; Al-Dabbagh et al., 2022).

Néanmoins, les données recueillies confirme également que le passage des dispositifs de préservation d'origine chimique Vers des alternatives naturelles ne se limitent pas à un remplacement basique. d'une matière première par une autre. Elle implique, au contraire, de repenser la philosophie même. de l'élaboration des galéniques de soins. L'enjeu majeur ne repose pas uniquement sur la garantie d'un pouvoir antimicrobien et antifongique, mais plutôt dans la recherche d'une juste compromis entre l'action protectrice, l'intégrité structurelle de la formule L'innocuité pour l'utilisateur et la variabilité technique à l'échelle macroscopique (**Kunicka-Styczyńska et al., 2014 ; Gutiérrez et al., 2021**).

En définitive, l'avenir de la préservation au sein des produits cosmétiques ne reposera peut-être pas d'une seule substance protectrice au pouvoir. Total mais s'appuiera sur des dispositifs

sophistiqués et combinés S'appuient sur l'interaction entre différents composés D'origine naturelle, dans ce cadre, l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* constitue une étape scientifique majeure importante vers le développement d'une gamme inédite de soins. Conjuguant performance, innocuité et écoresponsabilité, satisfaisant de ce fait les exigences de clients modernes ainsi que sur les exigences des réglementations futures. Par ailleurs, ce travail académique ouvre de vastes horizons pour des investigations ultérieures plus approfondies afin de comprendre les mécanismes d'action microbiologique des huiles essentielles et de promouvoir leur intégration au sein des formulations cosmétiques et pharmaceutiques.(Hyldgaard et al., 2012 ; Dima & Dima, 2015).

En conclusion, il apparaît clairement que La problématique centrale ne se focalise plus seulement sur la découverte. Dense substitue naturelle aux agents de préservation chimique mais dans la construction d'une approche novatrice pour la filière cosmétique plus respectueuse de la santé humaine et les écosystèmes. C'est ce qui fait **la *matricaria chamomilla***. Non pas une simple plante médicinale, mais la position de la matière première stratégique d'avenir dans la trajectoire de mutation vers des formulations douées d'une plus grande innocuité. et pérennes pour les générations futures.

Références bibliographiques

A

Abdelmohsen, U. R., & Elmaidomy, A. H. (2025). Exploring the therapeutic potential of essential oils: A review of composition and influencing factors. *Frontiers in Natural Products*, 4.

AFNOR (Association Française de Normalisation). (1982). *Huiles essentielles : Recueil de normes françaises*. Paris, France.

Al-Dabbagh, B., Elhaty, I. A., Al Hrou, A., Al Sakka, R., El-Awady, R., Ashraf, S. S., & Amin, A. (2022). Antioxidant and anticancer activities of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Molecules*, 27(3), 1–17.

Al-Dabbagh, B., Jasmin, S. S., Elahi, E., & Al-Anazi, M. (2022). Determination of chemical compounds and investigation of biological properties of *Matricaria chamomilla* essential oils. *Journal of King Saud University – Science*, 34(7), 102235.

Al-Saffar, A., et al. (2024). Article disponible sur ScienceDirect.

Amarti, F., et al. (2010). Composition chimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Thymus algeriensis* Boiss. & Reut. et *Thymus ciliatus* (Desf.) Benth. du Maroc. *Journal of Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 14(1), 141–148.

Aroma-Zone. (2024). Zoom et comparaison sur les méthodes d'extraction d'huiles essentielles.

Arnaud, P., Jamart, B., Bodiguel, J., & Brosse, N. (2022). *Le cours de chimie organique* (19e éd.). Dunod.

Azrifirwan, A., Yuvia, V. O., Santosa, S., & Ifmalinda, I. (2024). Extraction of Citronella and Patchouli Using Microwave-Assisted Extraction Methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1426(1), 012002.

B

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.

- Balagizi, K., Chifundera, K., & Mugangu, M. (2005). Inventaire et usages des plantes médicinales chez les pygmées Bambuti du Parc National de Kahuzi-Biega, République Démocratique du Congo. *Revue de Médecines Traditionnelles et Pharmacopée Africaines*, 15, 34–45.
- Bassereau, M., et al. (2007). GC-MS quantification of suspected volatile allergens in fragrances. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(1), 25–31.
- Bekhechi, C., & Abdelouahid, D. (2010). *Les huiles essentielles*. Place Centre, Ben-Aknou, Alger.
- Belaiche, P. (1979). *Traité de phytothérapie et d'aromathérapie : Les maladies infectieuses*.
- Beneteaud, E. (2011). *Les techniques d'extraction*. Comité Français du Parfum.
- Benhouhou, S., Batanouny, K., Abdel-Rahman, F., & El-Ghazali, G. (2005). *A Guide to Medicinal Plants in North Africa*. IUCN Centre for Mediterranean Cooperation, Malaga, Spain.
- Benyahia, A. (2023). *Étude phytochimique et évaluation des activités biologiques des huiles essentielles de deux plantes médicinales*. Mémoire de master, Université Frères Mentouri, Constantine, Algérie.
- Betsara. (2022). *Quelles sont les propriétés des monoterpènes*.
- Bouras, M. (2018). *Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de certaines plantes de l'est algérien sur des souches résistantes aux antibiotiques*. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- Bouriah, N., Bendif, H., Peron, G., et al. (2021). Composition and profiling of essential oil, volatile.
- Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales*. Lavoisier / Tec & Doc.
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods – A review. *Journal of Applied Microbiology*, 94(2), 223–253.

Burt, S. A. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods – A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.

Bussmann, R. W., et al. (2019). *Ethnobotany and medicinal plants*.

C

Cinco, M., Banfi, E., Tubaro, A., & Della Loggia, R. (1983). Antimicrobial activity of a hydroalcoholic extract of *Chamomilla recutita*. *Planta Medica*, 47(2), 85–87.

Clinical and Laboratory Standards Institute. (2006). *Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically* (7th ed., CLSI document M7-A7).

Cosmetic Ingredient Review (CIR) Expert Panel. (2016). Safety assessment of *Chamomilla recutita*-derived ingredients as used in cosmetics. *International Journal of Toxicology*, 35(1 Suppl.), 5S–49S.

Cosmetic Ingredient Review (CIR). (2016). *Safety Assessment of Parabens as Used in Cosmetics*.

D

Das, M. (2014). *Chamomile: Medicinal, Biochemical and Agricultural Aspects*. CRC Press.

Degner, et al. (2009). Traditional uses of chamomile in ancient medicine.

Dima, C., & Dima, S. (2015). Essential oils in cosmetic products: Extraction, chemical composition, and bioactivity. *Journal of Essential Oil Research*, 27(4), 283–295.

Dima, C., & Dima, S. (2015). Essential oils in foods: Extraction, stabilization, and toxicity. *Current Opinion in Food Science*, 5, 29–35.

Directive 2003/15/CE (7ème amendement de la directive cosmétique).

Duarte, M. C. T., et al. (2005). Anti-*Candida* activity of Brazilian medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 97(2), 305–311.

E

EDQM. Essential oils in cosmetic products: Safety and quality guidelines.

El Mihaoui, A., et al. (2022). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): A Review of Ethnomedicine, Phytochemistry and Biological Activities. *Journal of Clinical Medicine*.

European Commission. (2004). Cosmetics Directive 76/768/EEC and its amendments.

F

Favier, A. (2020). Bioactifs naturels et santé humaine : Antioxydants, huiles essentielles et phytonutriments. Éditions Lavoisier Tec & Doc.

Fernandez, X., & Chemat, F. (2012). La chimie des huiles essentielles. Tradition et innovation. Vuibert.

FILLY, A., et al. (2019). Solvent-free microwave extraction. *Food Chemistry*, 150, 193–198.

Foudil-Cherif, Y. (2005). Étude chimiotaxonomique des huiles essentielles de neuf espèces d'*Eucalyptus* poussant en Algérie. Thèse de doctorat.

Futura-Sciences. (2024). Métabolites secondaires des plantes : rôles et fonctions.

G

GBIF Secretariat. (2019). *Matricaria chamomilla* L. GBIF Backbone Taxonomy.

Geng, Y., Zhu, S., Lu, Z., Xu, H., Shi, J. S., & Xu, Z. H. (2014). Anti-inflammatory Activity of Mycelial Extracts from Medicinal Mushrooms. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 16(4), 319–325.

Ghanti, K. S., et al. (2005). Rapid in vitro propagation and evaluation of secondary metabolites from selected medicinal plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 82(3), 325–332.

Ghedira, K., Goetz, P., & Le Jeune, R. (2009). *Matricaria recutita* L. (Asteraceae) : Matricaire, camomille allemande. *Phytothérapie*, 7(4), 227–231.

Gonzalez-Rivera, J., et al. (2021). In situ microwave assisted extraction of clove buds to isolate essential oil, polyphenols, and lignocellulosic compounds.

Green, A. (2019). Natural Cosmetic Formulating.

Grieve, M. (1931). A Modern Herbal.

Guenther, E. (2013). The Essential Oils - Vol. 1: History - Production - Analysis.

Gutiérrez, J., González-Fandos, E., & Tobar, V. (2021). Application of essential oils as natural preservatives in cosmetics and topical formulations. *Cosmetics*, 8(3), 64.

Gutiérrez, G., Barry-Ryan, C., & Bourke, P. (2021). The antimicrobial efficacy of plant essential oils in cosmetic formulations and preservation systems. *Cosmetics*, 8(2), 1–20.

H

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (2015). Free Radicals in Biology and Medicine.

Hammer, K. A., Carson, C. F., & Riley, T. V. (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86(6), 985–990.

Herman, A. (2013). Antimicrobial ingredients as preservative systems in cosmetic products. *International Journal of Cosmetic Science*, 35(6), 531–542.

Herman, A. (2013). Antimicrobial preservatives in cosmetics: Applications and regulatory aspects. *Clinics in Dermatology*, 31(6), 729–733.

Hyldgaard, M., Mygind, T., & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation. *Frontiers in Microbiology*, 3, 12.

I

IFRA. (2020). IFRA Standards (50th Amendment).

International Organization for Standardization. (2009). ISO 10993-5: Biological Evaluation of Medical Devices – Tests for In Vitro Cytotoxicity.

ISO 11930:2019. Cosmetics — Microbiology — Evaluation of the antimicrobial protection of a cosmetic product.

Ionita, et al. (2018). Antiviral and memory-enhancing properties of *Matricaria chamomilla*.

J

Janmejai, K. S., et al. (2010). Chamomile: A herbal medicine of the past with bright future.

Javed, S., Mangla, B., Salawi, A., Sultan, M. H., Almoshari, Y., & Ahsan, W. (2024). Essential oils as dermocosmetic agents, their mechanism of action and nanolipidic formulations for maximized skincare. *Cosmetics*, 11(6), 210.

K

Karaman, S., et al. (2001). Antibacterial and antifungal activity of the essential oils of *Thymus revolutus* Celak from Turkey. *Journal of Ethnopharmacology*, 76(2), 183–186.

KeyvanYousefi, S., et al. (2016). Chromatographic Fingerprint Analysis of Marrubiin in *Marrubium vulgare* L. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 6, 131–136.

Kowalczyk, A., et al. (2020). The Chemical Composition and Biological Activity of Essential Oils. *Molecules*.

Kunicka-Styczyńska, A., Sikora, M., & Kalembe, D. (2014). Comparison of antimicrobial activity of essential oils, plant extracts and methylparaben in cosmetic emulsions. *Journal of Applied Microbiology*, 117(2), 421–430.

Kunicka-Styczyńska, A., Sikora, M., & Kalembe, D. (2014). Natural preservatives in cosmetics: Antimicrobial activity of essential oils and plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 116(4), 1004–1015.

L

Lim, T. K. (2013). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 7, Flowers*.

Lis-Balchin, M. (2002). *Essential Oils and Aromatherapy: Their Modern Role in Health Care*.

Lis-Balchin, M. (2003). *Lavender: The Genus Lavandula*.

Ladrôme Laboratoire. (2025). *Fabrication des huiles essentielles*.

Lagunez Rivera, L. (2006). *Étude de l'extraction de métabolites secondaires de différentes matières végétales en réacteur chauffé par induction thermomagnétique directe*. Thèse de doctorat, Laboratoire de Chimie Agro-Industrielle, Toulouse.

Lamamra, M. (2018). *Contribution à l'étude de la composition chimique et de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de Tinguarra sicula (L.) Parl. et de Filipendula hexapetala Gibb*. Mémoire de magister, Université de Sétif.

Lee, S. Y., Lee, D. Y., Kim, O. Y., et al. (2020). Overview of Studies on the Use of Natural Antioxidative Materials in Meat Products. *Food Science of Animal Resources*, 40, 863–880.

Lim, T. K. (2013). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 7, Flowers*. Springer Science & Business Media.

Lis-Balchin, M. (2002). *Essential Oils and Aromatherapy: Their Modern Role in Health Care*. Pharmaceutical Press.

Lis-Balchin, M. (2003). *Lavender: The Genus Lavandula*. CRC Press.

LOBSTEIN, A., FREY, M. L., & ANTON, R. (1983). Altérations et conservation des huiles essentielles. *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 41(1), 69–75.

Longevialle, P. (1981). *Spectrométrie de masse des substances organiques*. Masson, Paris.

Lucchesi, M.-E. (2005). *Extraction sans solvant assistée par micro-ondes : conception et application à l'extraction des huiles essentielles*. Thèse de doctorat, Université de la Réunion.

M

MANSOURI, S., & AISSAOUI, I. (2018). *Étude de l'activité antioxydante des extraits phénoliques de deux plantes locales (Artemisia herba-alba, Rosmarinus officinalis)*. Mémoire de master, Université Amar Telidji, Laghouat.

Mayer, F. (2012). Utilisations thérapeutiques des huiles essentielles : étude de cas en maison de retraite. Mémoire de master, Université de Lorraine.

McKay, D. L., & Blumberg, J. B. (2006). A review of the bioactivity and potential health benefits of chamomile tea (*Matricaria recutita* L.). *Phytotherapy Research*, 20(7), 519–530.

Meyer-Warnod, B. (1984). Natural essential oils, extraction processes and application to some major oils. *Perfumer & Flavorist*, 9, 93–104.

Miao, J., et al. (2023). Antimicrobial Mechanism of Essential Oils and Their Application in Preserving Cosmetic Products. *International Journal of Cosmetic Science*.

Miguel, M. G. (2010). Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: A short review. *Molecules*, 15(12), 9252–9287.

Muñoz, M., et al. (2021). Biological activity of the essential oil of *Drimys winteri*. *Frontiers in Natural Products*, 2, 958425.

Munir, N., Iqbal, A. S., Altaf, I., & Bashir, R. (2014). Evaluation of antioxidant and antimicrobial potential of two endangered plant species *Atropa belladonna* and *Matricaria chamomilla*. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 11(5), 111–117.

N

Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6, 1451–1474.

Norme ISO 22716. Produits cosmétiques — Bonnes pratiques de fabrication (BPF) — Lignes directrices sur les bonnes pratiques de fabrication.

O

Okoh, O. O., Sadimenko, A. P., & Afolayan, A. J. (2021). Antioxidant activities of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil obtained by hydro-distillation and solvent-free microwave extraction. *African Journal of Biotechnology*, 10(20), 4207–4211.

Olascuaga-Castillo, K. A., Castillo-Medina, O., Villacorta-Zavaleta, M., Diaz-Ortega, J., Blanco-Olano, C., Altamirano-Sarmiento, D., & Valdiviezo-Campos, J. (2024). Extraction of essential oils by hydrodistillation of four aromatic species: Conditioning, extraction conditions, yield and chemical composition. *Scientia Agropecuaria*, 15(3), 385–408.

Ouis, N. (2015). Étude phytochimique et évaluation des activités biologiques des huiles essentielles. Thèse.

P

Petrelli, R. (2026). *Featured Reviews on Bioactive Flavour and Fragrance Compounds* (2nd ed.). *Molecules*, Special Issue.

Piochon, M. (2008). Étude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore laurentienne : composition chimique, activités pharmacologiques et héli-synthèse. Thèse, Université du Québec à Chicoutimi.

Piras, A., Falconieri, D., Porcedda, S., Marongiu, B., Gonny, M., & Tomi, F. (2018). Chemical composition and biological activity of the essential oil of *Matricaria chamomilla* L. from different geographical origins. *Journal of Essential Oil Research*, 30(4), 235–245.

Prakash, B., Dubey, N. K., & Brilhante de São José, J. F. (Eds.). (2024). *Plant Essential Oils: From Traditional to Modern Day Application*. Springer.

Pranarôm. (2024). Définition de l'aromathérapie et des huiles essentielles.

Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337–341.

Puressence Aroma. (s.d.). Les différents procédés d'extraction des huiles essentielles.

Q

Quézel, P., & Santa, S. (1962). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* (Tome 1). CNRS, Paris.

R

Rahman, M. M., Sarker, M. S., Akter, S., & Alam, M. A. (2025). Green extraction of essential oils from *Cinnamomum verum* leaves through microwave and hydrodistillation techniques. *LWT – Food Science and Technology*, 238, 118787.

Rézgui, M., et al. (2020). Antioxidant and antifungal activities of marrubiin, extracts and essential oil from *Marrubium vulgare* L. against pathogenic dermatophyte strains. *Journal of Mycology and Medical*, 30, 100927.

Rhattas, M., Douira, A., & Zidane, L. (2016). Étude ethnobotanique des plantes médicinales dans le Parc National de Talassemtane (Rif occidental du Maroc). *Journal of Applied Biosciences*, 97(1), 9187–9211.

Ross, I. A. (2001). *Medicinal Plants of the World: Chemical Constituents, Traditional Principles, and Modern Medicinal Uses* (Vol. 2). Humana Press.

Règlement (CE) n° 1223/2009 du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques.

S

SCCS. The SCCS Notes of Guidance for the Testing of Cosmetic Ingredients and their Safety Evaluation (12th Revision).

Sell, C. S. (2006). *The Chemistry of Fragrances: From Perfumer to Consumer* (2nd ed.). Royal Society of Chemistry.

Sharma, P., Singh, R., & Singh, A. P. (2006). Essential oils and their bioactive compounds: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 1(1), 1–7.

Sharmeen, J. B., & Mahomoodally, F. M. (2020). Essential oils from medicinal plants from Mauritius show in vitro antibacterial and antibiotic potentiating activities. *South African Journal of Botany*.

Silva, J., Abreu, R., Silva, M., & Sousa, M. (2020). Chemical composition and biological activities of essential oils from *Eucalyptus globulus* Labill. *Biomolecules*.

Sienkiewicz, M., Łysakowska, M., Ciećwierz, J., Denys, P., & Kowalczyk, E. (2011). Antibacterial activity of thyme and lavender essential oils. *Medical Science Monitor*, 17(9), BR339–BR343.

Singh, O., Khanam, Z., Misra, N., & Srivastava, M. K. (2011). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): An overview. *Pharmacognosy Reviews*.

Souza, A. T., et al. (2008). Supercritical extraction process and phase equilibrium of Candeia oil using supercritical carbon dioxide. *Journal of Supercritical Fluids*, 47(2), 182–187.

Srivastava, J. K., et al. (2010). Chamomile: A herbal medicine of the past with bright future. *Molecular Medicine Reports*.

Standards de l'IFRA (International Fragrance Association). Code of Practice sur les substances phototoxiques.

T

Tabanca, N., et al. (2005). Gas chromatographic–mass spectrometric analysis of essential oils from *Pimpinella* species. *Journal of Chromatography A*, 1097(1–2), 192–198.

Tisserand, R., & Young, R. (2014). *Essential Oil Safety: A Guide for Health Care Professionals* (2nd ed.). Elsevier Health Sciences.

Trombetta, D., Castelli, F., Sarpietro, M. G., et al. (2005). Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 49(6), 2474–2478.

Tutin, T. G., et al. (1976). *Flora Europaea* (Vol. 4). Cambridge University Press.

W

Wiley. (2025). Innovative Extraction of Caraway (*Carum carvi*) Essential Oil: Comparing Hydrodistillation and Microwave-Assisted Techniques. *Chemistry & Biodiversity*.

Y

Youghbaré-Ziébrou, M. N., Ouédraogo, N., Lompo, M., Bationo, H., Yaro, B., Gnoula, C., Sawadogo, W. R., & Guissou, I. P. (2016). Activités anti-inflammatoire, analgésique et

antioxydante de l'extrait aqueux des tiges feuillées de *Saba senegalensis* Pichon. *Phytothérapie*, 14, 213–219.

Z

Zatloukalová, E., et al. (2023). Safety Assessment of Synthetic Preservatives vs. Natural Alternatives. *Archives of Dermatological Research*.

ZELIE TRIAUX. (2019). Développement de méthode d'extraction et d'analyse de molécule terpénique à activité anti-inflammatoire. Université de Strasbourg.

Zenasni, M. A. (2014). Extraction et caractérisation des huiles essentielles de quelques plantes médicinales de la région de Tlemcen. Mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.

Annexes

Milieux de culture

Bouillon Nutritif (BN, Fluka) :

Formule (en g/l)

Peptone	15,0
Extrait de levure	3,0
Chlorure de sodium	6,0
Glucose	1,0
Eau Distillée	qsp 1L

pH = 7,1 ($\pm 0,2$) à 37°C

Suspendre 25g de la poudre dans un litre d'eau distillée, en suite stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15 min.

Gélose Nutritive (GN, Fluka) :

Formule (en g/l)

Peptone	15,0
Extrait de levure	3,0
Chlorure de sodium	6,0
Glucose	1,0
Agar	15,0
Eau Distillée	qsp 1L

pH = 7,3 ($\pm 0,2$) à 37°C

Suspendre 40g de la poudre dans un litre d'eau distillée, en suite chauffer sous agitation jusqu'à ébullition pour la dissolution totale du milieu et stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15 min

Bouillon Mueller Hinton (BMH, Fluka) :

Formule (en g/l)

Infusion de viande de bœuf	2,0
Hydrolysate de caseine	17,5

Amidon	1,5
Eau Distillée	qsp 1L

pH = 7,2($\pm$ 0,2) à 37°C

Suspendre 23 g de la poudre dans un litre d'eau distillée, en suite stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15 min.

Gélose Mueller Hinton (GMH, Fluka) :

Formule (en g/l)

Infusion de viande de bœuf	4,0
Hydrolysate de caseine	17,5
Amidon	1,5
Agar	15,0
Eau Distillée	qsp 1L

pH = 6,8 ($\pm$ 0,2) à 37°C

Suspendre 38g de la poudre dans un litre d'eau distillée, en suite chauffer sous agitation jusqu'à ébullition pour la dissolution totale du milieu et stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15 min

Composition du milieu plate count agar (PCA, Fluka) :

Formule (en g/l)

Peptone :	5
Extrait de levure :	2,5
Glucose :	1
Agar :	15
Eau distillée :	qsp 1 L

pH : 7,0 $\pm$ 0,2 (à 25°C)

Suspendre 23.5 g de la poudre dans un litre d'eau distillée, en suite chauffer sous agitation jusqu'à ébullition pour la dissolution totale du milieu et stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15 min

Neutraliseur :

Formule (en g/l)

Gélose nutritive.....	23
NaCl.....	5
Tween 80.....	5
Jauned'œuf.....	75

References

- Benhouhou, S., Batanouny, K., Abdel-Rahman, F., & El-Ghazali, G. (2005). A Guide to Medicinal Plants in North Africa. IUCN Centre for Mediterranean Cooperation, Malaga, Spain.
- Ghanti, K. S., Kaviraj, C. P., Venugopal, R. B., Jabeen, F. T. Z., & Rao, S. (2005). Rapid in vitro propagation and evaluation of secondary metabolites from selected medicinal plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 82(3), 325-332.
- International Organization for Standardization. (2009). Biological evaluation of medical devices — Part 5: Tests for in vitro cytotoxicity (ISO Standard No. 10993-5:2009).
- Piras, A., Falconieri, D., Porcedda, S., Marongiu, B., Gonny, M., & Tomi, F. (2018). Chemical composition and biological activity of the essential oil of *Matricaria chamomilla* L. from different geographical origins. *Journal of Essential Oil Research*, 30(4), 235-245.
- Quézel, P., & Santa, S. (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (Tome 1). Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Paris