



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE CHIMIE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN CHIMIE

Spécialité : Chimie Physique

Par : M^{elle} **BRIXI GORMAT KHADIDJA DOUAA**

Sur le thème

Des Extraits de *Punica granatum* L. au Cœur d'une Crème Solaire Réparatrice et Antioxydante

Soutenu publiquement le 27 juin 2024 à Tlemcen devant le jury composé de :

| | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|--------------|
| Mme NEGADI Latifa | Professeur | Université de Tlemcen | Présidente |
| Mme BABA AHMED-CHIALI Nouria | MCA | Université de Tlemcen | Encadrante |
| Mr ALLALI Hocine | Professeur | Université de Tlemcen | Co-encadrant |
| Mr ZIANI-CHERIF Chewki | Professeur | Université de Tlemcen | Examineur |
| Mme BENSMAIN Amel | Professeur | Université de Tlemcen | Examinatrice |

Année Universitaire : 2023 ~ 2024

Remerciements

Avant tout, je tiens à exprimer ma gratitude envers Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, le courage, la patience et la détermination nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

Je souhaite adresser mes sincères remerciements à Mme Nouria BABA AHMED, maître de conférences de classe « A » au département de chimie de la faculté des sciences de l'université de Tlemcen Abou Bekr Belkaïd.

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à mon directeur de recherche, le Pr Hocine ALLALI, professeur à la faculté des sciences de l'université de Tlemcen Abou Bekr Belkaïd, pour avoir accepté de me co-encadrer et de co-diriger ce modeste travail. Sa gentillesse, sa bienveillance et son soutien ont été d'une grande aide, et ce fut un réel plaisir de travailler sous sa direction.

Je suis également reconnaissante à tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Mes remerciements particuliers vont au Professeur Latifa NEGADI, présidente du jury, au Professeur Chewki ZIANI-CHERIF et au Professeur Amel BENSMAIN, représentante I2E, en qualité d'examineurs. Merci à chacun d'entre vous pour avoir enrichi cette étude de vos expertises et expériences respectives.

Un grand merci à Mme Dalila BEREKSI REGUIG pour son aide et ses précieux conseils durant les moments difficiles de la réalisation de ce travail.

Ce travail a été réalisé dans les laboratoires des Substances Naturelles & Bioactives (LASNABIO), de Catalyse & Synthèse en Chimie Organique (LCSCO), et de Pharmacie Galénique de l'université de Tlemcen. Pour cela, je remercie chaleureusement les directeurs Pr. Saïd GHALEM et Pr. Chewki ZIANI-CHERIF.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Dr Souhila GUENDOZ, maître assistante en pharmacie galénique à l'université de Tlemcen, faculté de médecine, département de pharmacie, pour ses contributions à notre étude. Vos qualités humaines et professionnelles, ainsi que votre modestie et bienveillance, suscitent notre admiration.

Je remercie M. Boumediene KHALDI et M. Mourad MEBITIL, ingénieurs au laboratoire du département de chimie, Mme Kheira MEHIAOUI et M. Boumediene BENMANSOUR,

ingénieurs au laboratoire LASNABIO, Mme Fatéma Zohra MOKRI, ingénieur au laboratoire LCSCO, ainsi que tous les membres des équipes de recherche. Que Dieu vous bénisse.

Enfin, un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire de master, fruit de nombreuses années de travail acharné.

Dédicaces

Je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes qui m'ont soutenue, aidée et aimée... Ce travail vous est dédié à tous.

À mes très chers parents et à ma chère sœur Radia, ainsi qu'à Yanis, Ilyes, et Amine, aucun mot ne pourrait exprimer ma profonde gratitude et ma sincère reconnaissance. Vos prières et vos sacrifices m'ont soutenue tout au long de ma vie. J'espère que ce mémoire sera à la hauteur de vos attentes et témoigne de ma fierté envers vous.

À Wanis et Chiheb, un grand merci pour votre aide et pour l'ambiance chaleureuse que vous avez créée autour de moi. Pour votre spontanéité et vos élans chaleureux, je vous dédie ce travail.

À ma chère amie Imène, tu as été pour moi bien plus qu'une amie. Je te dédie ce travail en témoignage de notre amitié, que j'espère voir durer toute notre vie.

Douâa

Résumé

Les dommages cutanés induits par les rayons UV et le stress oxydatif nécessitent des solutions protectrices efficaces. Les extraits de *Punica granatum* L. sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, offrant une perspective prometteuse pour la formulation de crèmes solaires naturelles. Ce travail vise à préparer une crème solaire à base d'extraits polyphénoliques de grenade, en évaluant leur capacité protectrice contre les UV et leur potentiel antioxydant. Les extraits aqueux (EAEG) et hydroalcooliques (EHAEG) des écorces de grenade ont été préparés, ainsi que leurs fractions à l'acétate d'éthyle (EAEG-AE et EHAEG-AE). Les composés bioactifs ont été dosés, et les activités antioxydantes ont été évaluées par les tests DPPH et FRAP. Des crèmes solaires ont ensuite été formulées et testées pour leur homogénéité, stabilité, viscosité, pH, et SPF. Les extraits hydroalcooliques et leurs fractions présentaient des concentrations élevées en polyphénols et flavonoïdes. Les tests antioxydants ont classé les extraits selon l'activité : EHAEG-AE > EAEG-AE > EAEG > EHAEG. La crème à base d'EAEG a montré une excellente stabilité, un comportement rhéofluidifiant, un pH de 5,21 et un SPF de 60. Les extraits de grenade, particulièrement ceux à base d'eau, se révèlent prometteurs pour la formulation de crèmes solaires efficaces. Les perspectives incluent l'optimisation des méthodes d'extraction, les évaluations in vivo, et le développement de produits complémentaires.

Mots-clés : *Punica granatum* L., polyphénols, antioxydants, crèmes solaires, rayons UV

Abstract

Skin damage induced by UV rays and oxidative stress necessitates effective protective solutions. Extracts from *Punica granatum* L. are recognised for their antioxidant properties, offering a promising perspective for the formulation of natural sunscreens. This work aims to prepare a sunscreen based on polyphenolic extracts of pomegranate, evaluating their UV protective capacity and antioxidant potential. Aqueous (EAEG) and hydroalcoholic (EHAEG) extracts from pomegranate peels were prepared, along with their ethyl acetate fractions (EAEG-AE and EHAEG-AE). Bioactive compounds were quantified, and antioxidant activities were assessed using DPPH and FRAP tests. Sunscreens were then formulated and tested for homogeneity, stability, viscosity, pH, and SPF. Hydroalcoholic extracts and their fractions exhibited high concentrations of polyphenols and flavonoids. Antioxidant tests ranked the extracts according to activity: EHAEG-AE > EAEG-AE > EAEG > EHAEG. The EAEG-based cream showed excellent stability, shear-thinning behaviour, a pH of 5.21, and an SPF of 60. Pomegranate extracts, particularly those based on water, show promise for the formulation of effective sunscreens. Future work includes optimising extraction methods, conducting in vivo evaluations, and developing complementary products.

Keywords: *Punica granatum* L., polyphenols, antioxidants, sunscreens, UV rays

ملخص

تتطلب الأضرار الجلدية الناتجة عن الأشعة فوق البنفسجية والإجهاد التأكسدي حلولاً وقائية فعالة. تُعرف مستخلصات نبات الرمان (*Punica granatum L.*) بخصائصها المضادة للأكسدة، مما يوفر بديلاً واعدًا لصياغة الكريمات الشمسية الطبيعية. يهدف هذا العمل إلى إعداد كريم واقٍ من الشمس يعتمد على مستخلصات بوليفينولية من قشور الرمان، مع تقييم قدرتها على الحماية من الأشعة فوق البنفسجية وإمكاناتها المضادة للأكسدة. تم تحضير مستخلصات مائية (EAEG) ومستخلصات مائية كحولية (EHAEG) من قشور الرمان، وكذلك كسورها المشتقة من أسيتات الإيثيل (EAEG-AE و EHAEG-AE). تم قياس المركبات النشطة بيولوجيًا، وتم تقييم الأنشطة المضادة للأكسدة باستخدام اختباري DPPH وFRAP. بعد ذلك، تم صياغة الكريمات الشمسية واختبارها من حيث التجانس والثباتية واللزوجة ودرجة الحموضة (pH) وعامل الحماية من الشمس (SPF). أظهرت المستخلصات المائية الكحولية وكسورها تركيزات عالية من البوليفينولات والفلافونويدات. صنفت الاختبارات المضادة للأكسدة المستخلصات حسب النشاط: EHAEG > EAEG > EAEG-AE > AE. أظهر الكريم المستند إلى EAEG استقرارًا ممتازًا، وسلوكًا ريفلوبيديًا، ودرجة حموضة بلغت 5.21، وعامل حماية من الشمس (SPF) بلغ 60. تظهر مستخلصات الرمان، خصوصًا تلك القائمة على الماء، واعدة لصياغة كريمات شمسية فعالة. تشمل الآفاق المستقبلية تحسين طرق الاستخلاص، التقييمات الحية (in vivo)، وتطوير منتجات تكميلية. الكلمات المفتاحية: *Punica granatum L.*، البوليفينولات، مضادات الأكسدة، الكريمات الشمسية، الأشعة فوق البنفسجية.

Tables des matières

| | Page |
|--|------|
| Introduction Générale | 1 |
| Chapitre I : Les bienfaits des crèmes naturelles pour une peau protégée | 4 |
| I.1. Introduction..... | 4 |
| I.2. Les différents types de crèmes : Un guide complet..... | 4 |
| I.2.1. Les crèmes hydratantes..... | 4 |
| I.2.2. Les crèmes éclaircissantes..... | 4 |
| I.2.3. Les crèmes solaires..... | 5 |
| I.2.4. Les crèmes pour les mains..... | 5 |
| I.2.5. Les crèmes antirides..... | 5 |
| I.2.6. Les crèmes dépilatoires..... | 5 |
| I.2.7. Les crèmes fond de teint..... | 5 |
| I.2.8. Les crèmes nettoyantes..... | 5 |
| I.2.9. Les crèmes de massage..... | 6 |
| I.2.10. Les crèmes désodorisantes..... | 6 |
| I.3. Comprendre les crèmes solaires : Composition, efficacité et effets secondaires..... | 6 |
| I.3.1. Composition et mécanisme d'action..... | 6 |
| <i>a. Crèmes solaires chimiques (ou synthétiques)</i> | 6 |
| <i>b. Crèmes solaires physiques (ou minérales)</i> | 7 |
| I.3.2. Comparaison des effets secondaires des crèmes solaires chimiques et physiques..... | 7 |
| I.4. Les produits cosmétiques d'origine naturelle : Avantages et certification..... | 8 |
| I.5. Les crèmes entre soin et beauté : Avantages et inconvénients..... | 9 |
| I.6. Les quatre types de peau : Caractéristiques et soins appropriés..... | 9 |
| I.7. Conclusion..... | 10 |
| Références..... | 11 |
| Chapitre II : La grenade : Source exceptionnelle de polyphénols aux vertus thérapeutiques | 12 |
| II.1. Introduction..... | 12 |
| II.2. Les polyphénols : Importance et classification..... | 12 |
| II.3. Propriétés biologiques des polyphénols : Activités pharmacologiques et applications médicales..... | 15 |
| II.4. La grenade : Un fruit sacré aux vertus thérapeutiques..... | 16 |
| II.4.1. Origines et répartition géographique..... | 17 |
| II.4.2. Noms vernaculaires du grenadier..... | 17 |
| II.4.3. Botanique du grenadier..... | 17 |
| II.4.4. Production mondiale de grenades..... | 17 |
| II.4.5. Production de grenades en Algérie..... | 18 |
| II.4.6. Les polyphénols de la grenade et leurs propriétés..... | 19 |
| II.5. Conclusion..... | 21 |
| Références..... | 22 |
| Chapitre III : Crème solaire à la grenade : Extraction et formulation | 25 |
| III.1. Introduction..... | 25 |
| III.2. Impact des rayonnements ultraviolets sur la peau et conséquences biologiques... | 25 |
| III.3. Innovations et défis des écrans solaires : Protection et alternatives écologiques... | 26 |
| III.4. Mécanismes de photoprotection des métabolites secondaires des plantes..... | 28 |

| | |
|---|----|
| III.5. Métabolites secondaires des plantes : Classification et effets photoprotecteurs... | 29 |
| III.6. Polyphénols de grenades pour la protection solaire..... | 31 |
| III.6.1. Préparation des écorces de grenade pour l'extraction des polyphénols..... | 31 |
| III.6.2. Méthodologie d'extraction et préparation des polyphénols des écorces de grenade..... | 32 |
| III.6.3. Évaluation des composés bioactifs dans les extraits de <i>P. granatum</i> L..... | 35 |
| III.6.3.1. <i>Quantification des polyphénols totaux</i> | 35 |
| III.6.3.2. <i>Quantification des flavonoïdes totaux</i> | 36 |
| III.6.4. Évaluation des activités antioxydantes dans les extraits de <i>P. granatum</i> L..... | 37 |
| III.6.4.1. <i>Test de piégeage du radical DPPH</i> | 37 |
| III.6.4.2. <i>Pouvoir réducteur de fer (FRAP)</i> | 38 |
| III.6.5. Sélection de l'extrait de <i>P. granatum</i> L. pour une utilisation comme écran solaire naturel..... | 39 |
| III.6.6. Formulation des crèmes solaires: Définition, composition chimique et constituants..... | 40 |
| III.6.6.1. <i>Définition et importance des crèmes solaires</i> | 41 |
| III.6.6.2. <i>Composition chimique des crèmes solaires</i> | 41 |
| III.6.6.3. <i>Formulation optimale pour une crème solaire efficace</i> | 42 |
| III.6.6.4. <i>Mode opératoire standard pour la préparation d'une crème solaire</i> | 42 |
| III.6.7. Évaluation de la stabilité et de l'efficacité des crèmes solaires contre les rayons UV..... | 44 |
| III.6.7.1. <i>Tests de stabilité</i> | 45 |
| III.6.7.2. <i>Tests d'efficacité</i> | 45 |
| III.6.7.3. <i>Tests réalisés: Résultats & interprétations</i> | 46 |
| - <i>Analyse sensorielle</i> | 46 |
| - <i>Test d'homogénéité</i> | 46 |
| - <i>Test de précipitation par centrifugation</i> | 46 |
| - <i>Le facteur de protection solaire (SPF)</i> | 47 |
| - <i>Le pH de la solution de l'échantillon de l'écran solaire</i> | 47 |
| - <i>Le sens de l'émulsion</i> | 47 |
| - <i>Détermination de la viscosité et tests de rhéologie des crèmes solaires</i> | 48 |
| III.7. Conclusion..... | 50 |
| Références..... | 51 |
| Chapitre IV : Partie expérimentale | 58 |
| IV.1. Matériels & verreries..... | 58 |
| IV.1.1. Matériels utilisés..... | 58 |
| IV.1.2. Verreries employées..... | 59 |
| IV.2. Réactifs & produits..... | 60 |
| IV.3. Modes opératoires..... | 64 |
| IV.3.1. Extraction de polyphénols à partir d'écorces de grenades par macération..... | 61 |
| IV.3.2. Dosage des composés bioactifs..... | 61 |
| IV.3.2.1. <i>Procédure de dosage des polyphénols totaux par la méthode du Folin-Ciocalteu</i> | 61 |
| IV.3.2.2. <i>Procédure de dosage des flavonoïdes totaux</i> | 61 |
| IV.3.3. Evaluation des activités antioxydantes..... | 62 |
| IV.3.3.1. <i>Méthodologie d'évaluation de l'activité antioxydante par la méthode FRAP et calcul des CE₅₀</i> | 62 |
| IV.3.3.2. <i>Dosage de l'activité antioxydante par la méthode DPPH</i> | 62 |
| IV.3.4. Procédure de formulation de crèmes cosmétiques..... | 63 |
| IV.3.4.1. <i>Formulation de crème à l'huile de paraffine</i> | 63 |

| | |
|---|----|
| <i>IV.3.4.2.Méthodologie pour l'évaluation de la stabilité et de l'efficacité des crèmes solaires</i> | 64 |
| Références..... | 66 |
| Conclusions générale & perspectives | 68 |
| Annexe | 70 |

Liste des figures

| | Page |
|---|------|
| Figure I-1 : Ingrédients actifs stimulant le renouvellement cellulaire et l'hydratation..... | 5 |
| Figure I-2 : Quelques composés organiques absorbant les rayons UV..... | 7 |
| Figure I-3 : Exemples d'antioxydants naturels..... | 8 |
| Figure II-1 : Exemples d'acides phénoliques..... | 13 |
| Figure II-2 : Squelette de base des flavonoïdes [3]..... | 14 |
| Figure II-3 : Illustrations de quelques structures de tannins..... | 14 |
| Figure II-4 : Exemples de structures de coumarines..... | 15 |
| Figure II-5 : Grenadier commun - <i>Punica granatum</i> L..... | 16 |
| Figure II-6 : Quelques ellagitanins du grenadier..... | 20 |
| Figure II-7 : Les acides hydroxybenzoïques du grenadier..... | 21 |
| Figure III-1 : Structures de quelques filtres recommandés par les autorités réglementaires internationales..... | 27 |
| Figure III-2 : Exemples d'alcaloïdes de type méthylxanthine..... | 29 |
| Figure III-3 : Structures de flavonoïdes photoprotecteurs..... | 30 |
| Figure III-4 : La silibinine, flavonolignane et principal constituant actif de la silymarine..... | 31 |
| Figure III-5 : Schéma illustrant le processus d'extraction et de préparation des polyphénols des écorces de grenade..... | 33 |
| Figure III-6 : % d'inhibition du DPPH en fonction des différentes concentrations de l'acide ascorbique et des extraits préparés de <i>P. granatum</i> L..... | 38 |
| Figure III-7 : Pouvoir réducteur de l'acide ascorbique et des extraits préparés de <i>P. granatum</i> L..... | 39 |
| Figure III-8 : Schéma illustrant la formulation de la crème..... | 43 |
| Figure III-9 : Illustration de l'analyse sensorielle..... | 46 |
| Figure III-10 : Aspect général de la crème préparée..... | 47 |
| Figure III-11 : Le sens de l'émulsion par la méthode des colorants..... | 48 |
| Figure III-12 : Rhéomètre hybride de découverte (HR-20)..... | 48 |
| Figure III-13 : Courbe de balayage d'amplitude..... | 49 |
| Figure III-14 : Courbe illustrant le balayage temporel..... | 49 |
| Figure III-15 : Courbe d'oscillation de fréquence..... | 50 |
| Figure IV-1 : Inventaire des appareils employés dans les expérimentations..... | 59 |

Liste des tableaux

| | Page |
|--|-------------|
| Tableau II-1 : Répartition des principaux producteurs de grenades en 2018 (en tonnes et en pourcentage de la production mondiale) [11]..... | 18 |
| Tableau II-2 : Variétés de grenadiers commercialisables en Algérie..... | 18 |
| Tableau III-1 : Spectre des rayonnements ultraviolets..... | 25 |
| Tableau III-2 : Caractéristiques des extraits obtenus de l'écorce de <i>Punica granatum</i> L..... | 34 |
| Tableau III-3 : CPT et CFT dans les extraits d'écorces de <i>P. granatum</i> L..... | 35 |
| Tableau III-4 : Activités antioxydantes (DPPH et FRAP) des extraits de <i>P. granatum</i> L..... | 37 |
| Tableau IV-1 : Liste des réactifs et produits expérimentaux..... | 60 |
| Tableau IV-2 : Formulation de l'émulsion solaire..... | 63 |
| Tableau IV-3 : Valeurs de $EE \times I$ en fonction de la longueur d'onde..... | 64 |

Liste des abréviations

| | |
|--------------------|---|
| ADN : | Acide désoxyribonucléique |
| anti-HIV : | Anti-Human Immunodeficiency Virus |
| COX-2 : | Cyclooxygénase-2 |
| DPPH : | 2,2-diphényl-1-picryl-hydrazyl |
| EAEG : | Extrait aqueux des écorces de grenades |
| EAEG-AE : | Extrait aqueux des écorces de grenades fractionné avec de l'acétate d'éthyle |
| EAG : | Equivalent d'acide gallique |
| EC : | Equivalent catéchine |
| EC ₅₀ : | Concentration efficace |
| EHAEG : | Extrait hydroalcoolique des écorces de grenades |
| EHAEG-AE : | Extrait hydroalcoolique des écorces de grenades fractionné avec de l'acétate d'éthyle |
| EQ : | Equivalent quercétine |
| FPS : | Facteur de protection solaire |
| FRAP : | Ferric Reducing Antioxidant Power |
| IC ₅₀ : | Concentration inhibitrice |
| IL-1, IL-6: | Interleukines 1, 6 |
| LLE : | Extraction liquide-liquide |
| MAE : | Extraction assistée par micro-ondes |
| PLE : | Extraction sous pression liquide |
| ROS : | Espèces réactives de l'oxygène |
| rpm : | Tours par minute |
| SFE : | Extraction par fluide supercritique |
| SPE : | Extraction en phase solide |
| SPF : | Facteur de Protection Solaire |
| TCA : | Acide trichloracétique |
| TCP : | Teneur en composés phénoliques |
| TTC : | Teneur totale en flavonoïdes |
| TNF- α : | Tumor Necrosis Factor-alpha |
| UAE : | Extraction assistée par ultrasons |
| UV : | Rayons ultraviolets |

Introduction générale

Introduction générale

Depuis des temps immémoriaux, les plantes ont joué un rôle crucial dans la satisfaction des besoins humains, allant de l'abri et des vêtements à l'alimentation, aux saveurs, aux parfums et surtout, aux médicaments et remèdes pour traiter diverses maladies [1]. Cette utilisation ancestrale a permis aux plantes de s'imposer comme une source inépuisable de composés bioactifs aux multiples applications thérapeutiques et cosmétiques [2]. La médecine traditionnelle utilise depuis longtemps des extraits de plantes pour les soins de la peau, tels que des crèmes et des pommades. Face à une préoccupation croissante pour la qualité de vie et l'apparence, le marché des cosmétiques a vu une augmentation notable de la demande pour des produits anti-âge et photoprotecteurs à base de composés naturels, soulignant la nécessité d'une recherche approfondie dans ce domaine [3,4].

La peau humaine est continuellement exposée à divers stress environnementaux, notamment le rayonnement ultraviolet (UV). La lumière solaire, particulièrement les UVB, pénètre l'épiderme et atteint le derme supérieur, induisant une augmentation du stress oxydatif. Le stress oxydatif, caractérisé par un déséquilibre entre pro-oxydants et antioxydants, joue un rôle significatif dans le développement et la progression de nombreuses maladies, y compris le diabète, le cancer, et les maladies neurodégénératives, cardiovasculaires et pulmonaires [5,6]. L'exposition excessive aux UV active la réponse inflammatoire et entraîne l'accumulation de dommages à l'ADN, exacerbant ainsi le risque de photovieillessement et de photocarcinogénèse [7,8]. De plus, la destruction de l'ozone stratosphérique augmente l'exposition aux UVB, constituant une menace environnementale majeure pour la peau.

Les produits de soin bio, très demandés aujourd'hui, offrent une alternative saine face aux composés chimiques présents dans l'environnement quotidien, souvent associés à diverses maladies comme les allergies, les maladies neurodégénératives et le cancer [9]. L'utilisation de sous-produits de fruits et légumes comme ingrédients cosmétiques représente une excellente opportunité pour développer des produits naturels et efficaces.

Punica granatum L., communément appelée grenade, est l'un des fruits les plus populaires et est largement utilisée à des fins thérapeutiques. Le processus de transformation de la grenade génère de nombreux sous-produits non exploités, tels que l'écorce, qui représente près de 40% du fruit et est riche en molécules bioactives comme les phénols, peptides, anthocyanes, acides gras,

caroténoïdes et fibres [10,11]. Les écorces de grenade, contenant une grande quantité de composés bioactifs, pourraient servir de source naturelle alternative d'antioxydants.

Les écrans solaires sont intégrés dans divers produits, tels que les crèmes hydratantes et les lotions, et leur utilisation régulière aide à diminuer les risques liés aux rayons ultraviolets. La capacité d'un écran solaire à bloquer les UVB est cruciale pour prévenir les effets néfastes de l'exposition solaire [12].

Cette étude vise principalement à formuler une crème solaire intégrant l'écorce de grenade comme principe actif, reconnu pour ses activités antioxydantes et anti-inflammatoires. Ce mémoire se propose d'explorer le potentiel protecteur des polyphénols dérivés de *P. granatum* L. contre les rayons UV et leur utilisation dans la préparation de crèmes solaires.

Les chapitres suivants aborderont :

- ✓ Chapitre I : Les crèmes solaires naturelles riches en polyphénols végétaux et leur efficacité contre les UV et les radicaux libres, soutenant une cosmétique durable.
- ✓ Chapitre II : La richesse en polyphénols de la grenade et ses bienfaits thérapeutiques, incluant la prévention des maladies cardiovasculaires, du cancer et des inflammations, ainsi que l'origine, la distribution géographique et la production mondiale de ce fruit.
- ✓ Chapitre III : Le développement d'une crème solaire naturelle à base de polyphénols extraits de grenades, couvrant l'extraction des polyphénols, leur caractérisation, la formulation de la crème solaire et l'évaluation de son efficacité.
- ✓ Chapitre IV : Les modes opératoires utilisés dans cette étude, incluant l'extraction des composés bioactifs, le dosage des flavonoïdes et des polyphénols, et l'évaluation de l'activité antioxydante.

Enfin, une synthèse générale récapitulera l'ensemble des résultats obtenus, visant à faire progresser la recherche de solutions novatrices et naturelles pour la préparation des crèmes solaires.

Références

- [1] Douaouri, N. (2018). Contribution à une étude phytothérapeutique, anti-inflammatoire et antioxydante du grenadier (*Punica granatum* L.)—Étude in vivo. Thèse de Doctorat en Biologique, Option: Plantes Médicinales et Phytothérapie.
- [2] Aumeeruddy-Elalfi, Z., Gurib-Fakim, A., & Mahomoodally, F. (2016). Chemical composition, antimicrobial and antibiotic potentiating activity of essential oils from 10 tropical medicinal plants from Mauritius. *Journal of Herbal Medicine*, 6(2), 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2016.05.002>
- [3] Cragg, G. M., & Newman, D. J. (2013). Natural products: a continuing source of novel drug leads. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1830(6), 3670-3695. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2013.02.008>
- [4] Zink, A., & Traidl-Hoffmann, C. (2015). Green tea in dermatology—myths and facts. *Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 13(8), 768-775. <https://doi.org/10.1111/ddg.12682>
- [5] Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44-84. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>
- [6] Christen, Y. (2000). Oxidative stress and Alzheimer disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(2), 621S-629S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.2.621S>
- [7] D'Orazio, J., Jarrett, S., Amaro-Ortiz, A., & Scott, T. (2013). UV radiation and the skin. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(6), 12222-12248. <https://doi.org/10.3390/ijms140612222>
- [8] Prasanth, M. I., Sivamaruthi, B. S., Chaiyasut, C., & Tencomnao, T. (2019). A review of the role of green tea (*Camellia sinensis*) in antiphotaging, stress resistance, neuroprotection, and autophagy. *Nutrients*, 11(2), 474. <https://doi.org/10.3390/nu11020474>
- [9] Bhat, R., Kamaruddin, N. S. B. C., Min-Tze, L., & Karim, A. A. (2015). Sonication improves kasturi lime (*Citrus microcarpa*) juice quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 24, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.08.019>
- [10] Sharma, P., McClees, S. F., & Afaq, F. (2017). Pomegranate for prevention and treatment of cancer: an update. *Molecules*, 22(1), 177. <https://doi.org/10.3390/molecules22010177>
- [11] Calin, S., & Carboneli, B. (2005). La grenade cultivées en Espagne: Punicalagine anti-oxydante du jus de grenade et de l'extrait de grenade dans les l'aliment fonctionnelle du fruit. *Natural antioxydant granatum*. Université Miguel Hernandez (EDS), Murcia Espagne, 77p.
- [12] Diffey, B. L. (2001). When should sunscreen be reapplied? *Journal of the American Academy of Dermatology*, 45(6), 882-885. <https://doi.org/10.1067/mjd.2001.114735>

*Chapitre I : Les bienfaits des crèmes
naturelles pour une peau protégée*

Chapitre I : Les bienfaits des crèmes naturelles pour une peau protégée

I.1. Introduction

L'utilisation de produits naturels dans la formulation des crèmes cutanées est de plus en plus prisée pour leurs bienfaits thérapeutiques et leur faible impact environnemental. Les crèmes solaires, essentielles pour protéger la peau des rayons ultraviolets (UV), intègrent souvent des polyphénols extraits des plantes, reconnus pour leurs puissants effets antioxydants. Ces composés naturels jouent un rôle crucial dans la neutralisation des radicaux libres, la prévention du vieillissement prématuré et la réduction des risques de cancers cutanés. L'importance de ces crèmes réside dans leur capacité à fournir une protection efficace tout en minimisant les effets secondaires. Choisir des formulations enrichies en polyphénols est essentiel pour optimiser la protection cutanée et bénéficier de leurs propriétés antioxydantes [1,2]. Cette étude se concentre sur l'importance des crèmes solaires et l'intérêt des polyphénols pour une protection cutanée efficace.

I.2. Les différents types de crèmes : Un guide complet

Les crèmes jouent un rôle fondamental dans les soins de la peau, chacune ayant des propriétés spécifiques adaptées à des besoins particuliers. Qu'il s'agisse d'hydrater, de protéger contre les rayons UV, de traiter les signes de l'âge ou d'apporter des soins ciblés, les crèmes sont essentielles pour maintenir une peau saine et belle. Ce guide ci-dessous explore les divers types de crèmes disponibles, leurs fonctions et leurs bénéfices, ainsi que leurs possibles effets secondaires.

I.2.1. Les crèmes hydratantes

Les crèmes hydratantes jouent un rôle fondamental dans les soins cutanés. Elles sont essentielles à la peau, tout comme l'eau l'est pour une plante. Ces crèmes apportent vitalité et force à l'épiderme, facilitant ainsi sa régénération et sa protection contre les agressions extérieures.

I.2.2. Les crèmes éclaircissantes

Les produits éclaircissants sont conçus pour uniformiser et éclaircir le teint, que ce soit de manière localisée ou sur l'ensemble du visage. Ils agissent principalement sur la mélanine, le pigment responsable de la coloration de la peau, en inhibant sa production ou en accélérant son déclin.

I.2.3. Les crèmes solaires

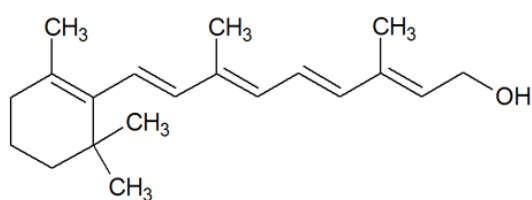
Les crèmes solaires ont pour but de protéger la peau des effets nocifs des rayonnements UV du soleil. Ces produits sont indispensables pour prévenir les coups de soleil, le vieillissement prématuré de la peau et le risque de cancer cutané.

I.2.4. Les crèmes pour les mains

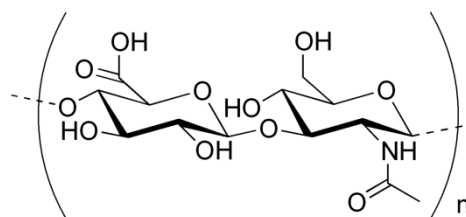
Les crèmes pour les mains renforcent la barrière protectrice naturelle de la peau. Elles améliorent la texture, adoucissent la peau et prennent soin des ongles, prévenant ainsi la sécheresse et les gerçures causées par des agressions quotidiennes telles que le lavage fréquent des mains.

I.2.5. Les crèmes antirides

Les crèmes antirides sont destinées aux peaux matures. Ces produits anti-âge sont conçus pour atténuer les signes du vieillissement, tels que les ridules et les rides. Ils contiennent souvent des ingrédients actifs comme le rétinol et l'acide hyaluronique (Figure I-1) qui stimulent le renouvellement cellulaire et hydratent en profondeur.



Rétinol



Acide hyaluronique

Figure I-1 : Ingrédients actifs stimulant le renouvellement cellulaire et l'hydratation.

I.2.6. Les crèmes dépilatoires

Les crèmes dépilatoires agissent en affaiblissant la structure du poil, le dissolvant ainsi à la surface de la peau. Cependant, comme la racine reste intacte, la repousse est rapide, nécessitant une utilisation régulière.

I.2.7. Les crèmes fond de teint

Les crèmes fond de teint offrent non seulement une couverture pour unifier le teint, mais aussi une protection contre les agressions environnementales telles que le froid et la pollution. Elles sont adaptées à différents types de peau et peuvent contenir des agents hydratants et protecteurs.

I.2.8. Les crèmes nettoyantes

Les crèmes nettoyantes sont des produits doux conçus pour les peaux sensibles. Elles ne contiennent ni parfums, ni détergents agressifs, ni alcool, ni colorants. Ces crèmes sont

particulièrement recommandées pour les peaux fragilisées par des traitements dermatologiques, notamment contre l'acné.

I.2.9. Les crèmes de massage

Les crèmes de massage permettent de réaliser des massages avec un produit onctueux qui ne laisse pas de résidus gras sur la peau. Elles facilitent les mouvements de massage tout en hydratant et en nourrissant la peau.

I.2.10. Les crèmes désodorisantes

Les crèmes désodorisantes ont pour objectif principal de neutraliser les mauvaises odeurs. Elles absorbent l'humidité, masquent les odeurs de transpiration et réduisent la prolifération des bactéries responsables des odeurs corporelles désagréables.

I.3. Comprendre les crèmes solaires : Composition, efficacité et effets secondaires

Parmi toutes ces crèmes, les crèmes solaires sont essentielles pour protéger la peau des dommages causés par les rayons UV du soleil. Leur efficacité dépend de la composition en filtres organiques et inorganiques, chacun ayant un mécanisme d'action distinct. Cependant, l'utilisation de ces produits peut entraîner des effets secondaires. Cette partie examine en détail les types de filtres solaires, leur fonctionnement et les possibles réactions indésirables.

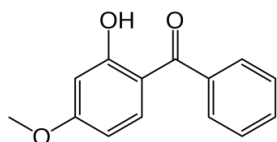
I.3.1. Composition et mécanisme d'action

Les crèmes solaires se divisent en deux grandes catégories : les crèmes solaires chimiques (également appelées synthétiques) et les crèmes solaires physiques (aussi appelées minérales ou inorganiques). Chacune de ces catégories utilise des mécanismes différents pour protéger la peau des rayons UV.

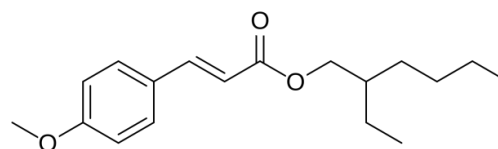
a. Crèmes solaires chimiques (ou synthétiques)

Les crèmes solaires chimiques contiennent des composés organiques qui absorbent les rayons UV. Ces composés, tels que l'oxybenzone, l'octinoxate (Octyl méthoxycinnamate), l'avobenzon, et l'homosalate (cf. [Figure I-2](#)), agissent en pénétrant la peau et en absorbant les rayons UV, les convertissant en chaleur, puis en les libérant de la peau [3]. Cela aide à prévenir les dommages cutanés causés par ces rayons.

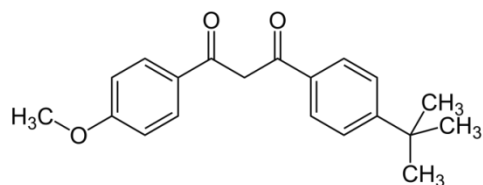
- ✓ Mécanisme d'action : Les filtres chimiques absorbent les rayons UV et les transforment en chaleur, qui est ensuite dissipée par la peau.
- ✓ Avantages : Ces crèmes sont souvent légères, faciles à appliquer et ne laissent pas de résidu blanc sur la peau.
- ✓ Inconvénients : Elles peuvent provoquer des réactions allergiques, une irritation de la peau, et la pénétration des filtres dans le corps peut entraîner des préoccupations hormonales et environnementales.



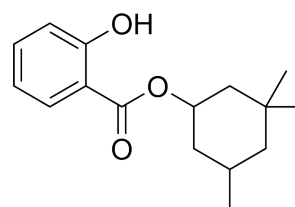
Oxybenzone



Octinoxate



Avobenzone



Homosalate

Figure I-2 : Quelques composés organiques absorbant les rayons UV.

b. Crèmes solaires physiques (ou minérales)

Les crèmes solaires physiques contiennent des ingrédients minéraux tels que le dioxyde de titane (TiO_2) et l'oxyde de zinc (ZnO). Ces minéraux agissent comme un bouclier en réfléchissant et en dispersant les rayons UV à la surface de la peau, ce qui entraîne une augmentation du Facteur de Protection Solaire (SPF) et empêche ainsi ces rayons de pénétrer et de causer des dommages [3].

- ✓ Mécanisme d'action : Les filtres physiques créent une barrière sur la peau qui réfléchit les rayons UV.
- ✓ Avantages : Ils sont moins susceptibles de provoquer des irritations cutanées et sont considérés comme plus sûrs pour les peaux sensibles et pour l'environnement.
- ✓ Inconvénients : Les crèmes solaires physiques peuvent être plus épaisses et laisser un résidu blanc visible sur la peau, ce qui peut être moins esthétique.

I.3.2. Comparaison des effets secondaires des crèmes solaires chimiques et physiques

Les crèmes solaires chimiques peuvent déclencher des réactions allergiques et des irritations cutanées [4,5], avec des préoccupations persistantes concernant leur impact hormonal et environnemental. En revanche, les crèmes solaires physiques, bien qu'offrant une meilleure tolérance aux peaux sensibles et un impact environnemental réduit, peuvent présenter des difficultés d'application en raison de leur visibilité sur la peau. Ainsi, le choix entre ces deux types de crèmes solaires devrait tenir compte des préférences individuelles, du type de peau et des considérations environnementales, garantissant ainsi une protection solaire efficace tout en minimisant les risques d'effets secondaires indésirables.

I.4. Les produits cosmétiques d'origine naturelle : Avantages et certification

L'industrie cosmétique accorde une attention particulière aux ressources naturelles aux propriétés thérapeutiques potentielles pour la formulation de produits. Un cosmétique naturel se compose d'ingrédients d'origine végétale, animale ou minérale. Ces ingrédients nécessitent souvent une transformation car ils ne peuvent généralement pas être utilisés à l'état brut. Les cosmétiques naturels privilégient des procédés de transformation traditionnels et moins nocifs pour l'environnement, comme la distillation, afin de minimiser l'utilisation d'ingrédients chimiquement modifiés. Pour clarifier les critères, les organismes de certification proposent des labels basés sur des normes strictes [4].

Les avantages des crèmes solaires naturelles par rapport aux crèmes solaires synthétiques sont mentionnés ci-dessous :

✓ *Impact environnemental réduit :*

Les crèmes solaires naturelles remplacent les composés synthétiques tels que l'oxybenzone et l'octinoxate, particulièrement dans les régions comme Hawaii et Key West, où les formulations synthétiques sont connues pour causer le blanchiment des coraux.

✓ *Effets sur la peau humaine :*

Les écrans solaires synthétiques peuvent générer des types d'oxygène réactifs, tandis que les antioxydants naturels, tels que l'alpha-carotène, l'acide ascorbique et les flavones (cf. [Figure I-3](#)), peuvent interrompre les réactions en chaîne des radicaux libres en fournissant des électrons [3].

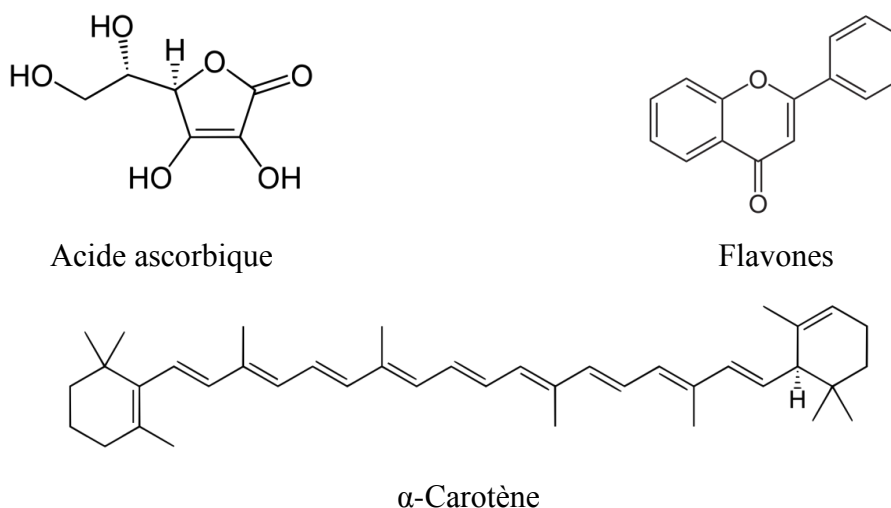


Figure I-3 : Exemples d'antioxydants naturels.

✓ *Prévention du vieillissement prématuré :*

La protection solaire naturelle aide à prévenir le vieillissement prématuré de la peau, maintenant ainsi une peau lisse et énergique.

✓ *Coût et accessibilité :*

Les écrans solaires naturels sont souvent moins coûteux que leurs homologues synthétiques et sont plus facilement accessibles.

✓ *Compatibilité avec tous les types de peau :*

Les crèmes solaires naturelles sont généralement compatibles avec tous les types de peau, réduisant le risque de réactions allergiques et d'irritations.

I.5. Les crèmes entre soin et beauté : Avantages et inconvénients

Les crèmes, à la croisée des soins et de la beauté, offrent divers bénéfices et présentent certains inconvénients à considérer. Les crèmes hydratantes jouent un rôle crucial en maintenant la peau douce, souple et bien hydratée, en prévenant le vieillissement prématuré, en améliorant la texture cutanée et en apaisant les irritations. En renforçant la barrière cutanée, elles contribuent à préserver une peau saine et éclatante, offrant ainsi une protection accrue contre les agressions extérieures [6].

Cependant, il est essentiel de choisir une crème adaptée à son type de peau pour éviter des problèmes tels que l'obstruction des pores, l'acné ou l'hyperpigmentation. La sélection attentive des produits est cruciale, car certaines crèmes peuvent contenir des ingrédients potentiellement irritants ou allergènes. Lire attentivement la liste des ingrédients permet de minimiser les risques de réactions indésirables et d'optimiser les bienfaits des produits utilisés. En résumé, bien que les crèmes entre soin et beauté offrent de nombreux avantages pour la peau, il est essentiel de choisir les produits de manière éclairée, en fonction des besoins spécifiques de la peau, afin de maximiser les bénéfices et de minimiser les inconvénients [6].

I.6. Les quatre types de peau : Caractéristiques et soins appropriés

Il existe quatre grands types de peau : normale, sèche, grasse et mixte.

a. Peau normale : Ni trop grasse, ni trop sèche, la peau normale est confortable et équilibrée, souvent grâce à une hygiène de vie saine. Elle nécessite peu de produits cosmétiques, mais profite de soins doux pour maintenir son équilibre naturel.

b. Peau sèche : La peau sèche manque de lipides, ou sébum, ce qui la rend vulnérable à la déshydratation. Elle a besoin d'être nourrie avant d'être hydratée pour restaurer sa barrière lipidique. Les symptômes incluent :

- ✓ Une texture rêche au toucher.
- ✓ Sensibilité aux conditions climatiques extrêmes comme le froid, le vent, et la chaleur.

- ✓ La peau sèche se retrouve fréquemment sur le visage, les jambes et les mains, où elle peut entraîner des sensations de tiraillement et de l'inconfort [7].

c. Peau grasse : La peau grasse est le résultat d'une production excessive de sébum, appelée séborrhée. Cette condition se manifeste principalement sur le visage et le haut du dos avec des caractéristiques telles que :

- ✓ Brillances persistantes.
- ✓ Points noirs et pores dilatés.
- ✓ Les causes incluent des facteurs hormonaux et l'utilisation de produits cosmétiques agressifs qui déséquilibrent la peau [7].

d. Peau mixte : La peau mixte combine des caractéristiques de la peau grasse et de la peau sèche, se distinguant par :

- ✓ Une zone T (front, nez, menton) grasse avec brillances et points noirs.
- ✓ Des joues qui sont soit normales, soit sèches.
- ✓ Ce type de peau est complexe à traiter car il nécessite des produits qui répondent à des besoins contradictoires sur différentes zones du visage [7].

Chaque type de peau demande des soins spécifiques pour maintenir son équilibre et sa santé. La sélection de produits adaptés est essentielle pour répondre aux besoins uniques de chaque type, en évitant les désagréments comme l'obstruction des pores, l'acné, et l'hyperpigmentation. Il est crucial de lire attentivement la liste des ingrédients afin de minimiser les risques d'irritation et d'allergie, assurant ainsi une peau saine et éclatante.

I.7. Conclusion

L'utilisation de produits naturels dans les crèmes solaires offre des avantages significatifs pour la santé de la peau et l'environnement. Les polyphénols extraits des plantes, avec leurs puissantes propriétés antioxydantes, protègent efficacement contre les rayons UV, prévenant ainsi les brûlures, le vieillissement prématuré et les cancers cutanés. Il est essentiel de choisir des produits adaptés à chaque type de peau pour éviter les effets secondaires. Les crèmes hydratantes, en renforçant la barrière cutanée, maintiennent une peau douce et protégée contre les agressions extérieures. En conclusion, privilégier des formulations naturelles enrichies en polyphénols permet une protection cutanée optimale et une approche cosmétique durable.

Références

- [1] Aburjai, T., & Natsheh, F. M. (2003). Plants used in cosmetics. *Phytotherapy Research*, 17, 987-1000. <https://doi.org/10.1002/ptr.1363>
- [2] Padilla, M., Palma, M., & Barroso, C. G. (2005). Determination of phenolics in cosmetic creams and similar emulsions. *Journal of Chromatography A*, 1091, 83-88. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.07.053>
- [3] Bhattacharjee, D., Patil, A. B., & Jain, V. (2021). A comparison of natural and synthetic sunscreen agents: A review. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 13. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2021.13.03.096>
- [4] Quezel, P., & Santa, S. (1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*.
- [5] Goossens, A., & Lepoittevin, J. P. (2003). Allergie de contact aux cosmétiques et aux composants de parfums : Aspects cliniques, chimiques et diagnostiques nouveaux. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*, 43, 294-300.
- [6] Pintureau, B. (2006). Lutte biologique contre les organismes nuisibles à l'agriculture. Site Web: Futura-Science/Nature/Dossiers/Zoologie.
- [7] Méliopoulos, A., & Levacher, C. (2012). *La peau: Structure et physiologie*. Éditions Tec & Doc.

*Chapitre II : La grenade : Source
exceptionnelle de polyphénols aux vertus
thérapeutiques*

Chapitre II : La grenade : Source exceptionnelle de polyphénols aux vertus thérapeutiques

II.1. Introduction

Les polyphénols sont des composés bioactifs largement présents dans le règne végétal, réputés pour leurs multiples vertus thérapeutiques. Ces substances jouent un rôle crucial dans la protection contre les dommages oxydatifs, l'inflammation et diverses maladies dégénératives. La grenade (*P. granatum* L.) se distingue parmi les fruits pour sa richesse exceptionnelle en polyphénols. L'écorce, les graines et le jus de grenade contiennent des ellagitannins, des anthocyanines et des flavonoïdes, qui confèrent à ce fruit des propriétés antioxydantes remarquables. Ces polyphénols contribuent à la prévention des maladies cardiovasculaires, des cancers et des troubles inflammatoires, positionnant la grenade comme un aliment fonctionnel essentiel pour la santé humaine.

II.2. Les polyphénols : Importance et classification

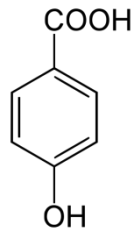
Les polyphénols sont des composés essentiels pour les plantes, jouant des rôles structurels, de défense et de signalisation. Les plantes synthétisent une multitude de composés phénoliques variés, regroupés en plusieurs classes distinctes selon leur structure chimique. Parmi les polyphénols les plus couramment présents dans l'alimentation, les acides phénoliques et les flavonoïdes occupent une place prépondérante. Les acides phénoliques se présentent sous diverses formes dans les plantes, incluant les aglycones, les acides cinnamiques, les esters et les glycosides. Les flavonoïdes, quant à eux, possèdent une structure commune constituée de deux cycles aromatiques et sont généralement présents sous forme de glycosides, contribuant ainsi à la couleur des feuilles, des fleurs et des fruits.

Quelques classes des polyphénols sont décrites ci-dessous :

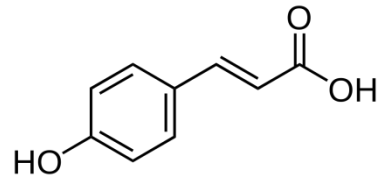
- Les acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des substances organiques contenant au moins un groupe hydroxyle phénolique et un groupe fonctionnel carboxylique. Ils se classent en deux grandes catégories : les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques (cf. [Figure II-1](#)) [1]. Ces composés se retrouvent dans une grande variété d'aliments, notamment les fruits, les légumes, les grains entiers et les légumineuses. Ils sont réputés pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes, jouant un rôle crucial dans la protection

contre les maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires et certains types de cancers.



Acide p-hydroxybenzoïque (PHB)

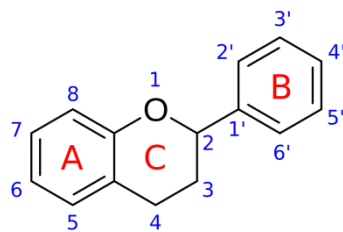


Acide paracoumarique

Figure II-1: Exemples d'acides phénoliques.

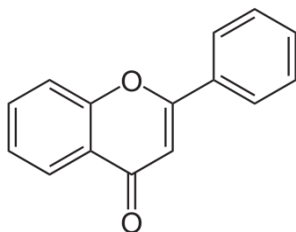
- Les flavonoïdes

Les flavonoïdes, largement répandus dans les fruits, légumes, fleurs et noix, possèdent une structure chimique C6-C3-C6. Synthétisés principalement dans le réticulum endoplasmique, ils sont ensuite transférés et stockés dans les vacuoles des cellules productrices [2]. Ils se divisent en plusieurs classes, notamment les flavones, flavonols, flavan-3-ols, isoflavones, flavanones et anthocyanidines (cf. [Figure II-2](#)). Ces composés sont non seulement responsables de la pigmentation des plantes, mais également de leurs propriétés bénéfiques pour la santé humaine. Ils ont des effets anti-inflammatoires, antioxydants et antiviraux, et contribuent à la prévention des maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, le diabète et les cancers [3].

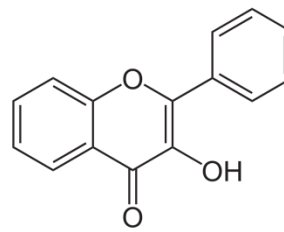


2-phénylchromane

squelette carboné des flavonoïdes *stricto sensu*



Flavones



Flavonols

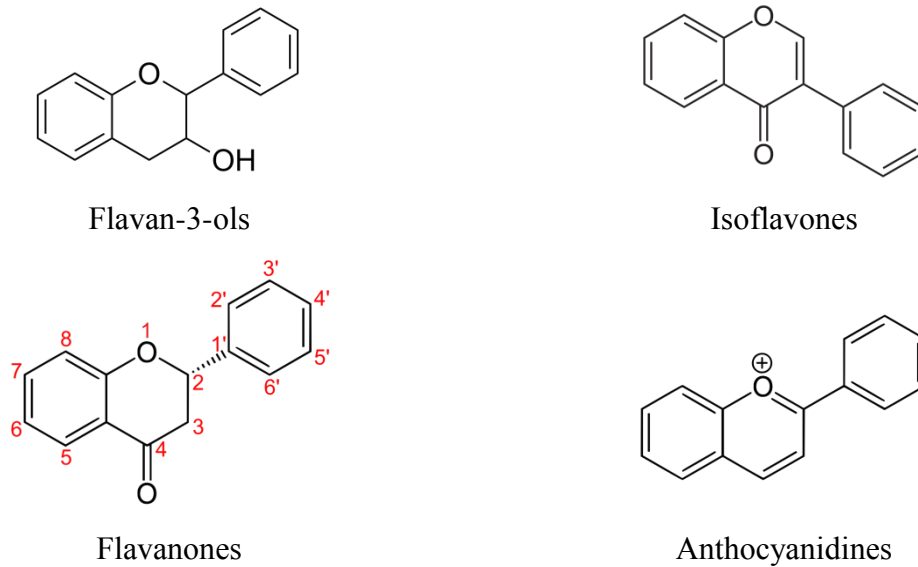


Figure II-2 : Squelette de base des flavonoïdes [3].

- Les tannins

Les tannins forment un groupe hétérogène de polyphénols de poids moléculaire élevé, capables de créer des complexes réversibles ou irréversibles avec des protéines, polysaccharides (comme la cellulose et l'hémicellulose), alcaloïdes, acides nucléiques, minéraux et autres éléments [4]. Ils se classent en deux groupes principaux : les tannins hydrolysables et les tannins non hydrolysables (ou condensés) (Figure II-3). Les tannins jouent un rôle crucial dans la défense des plantes contre les herbivores et les agents pathogènes, tout en contribuant à la stabilité des structures cellulaires. En outre, ils sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes.

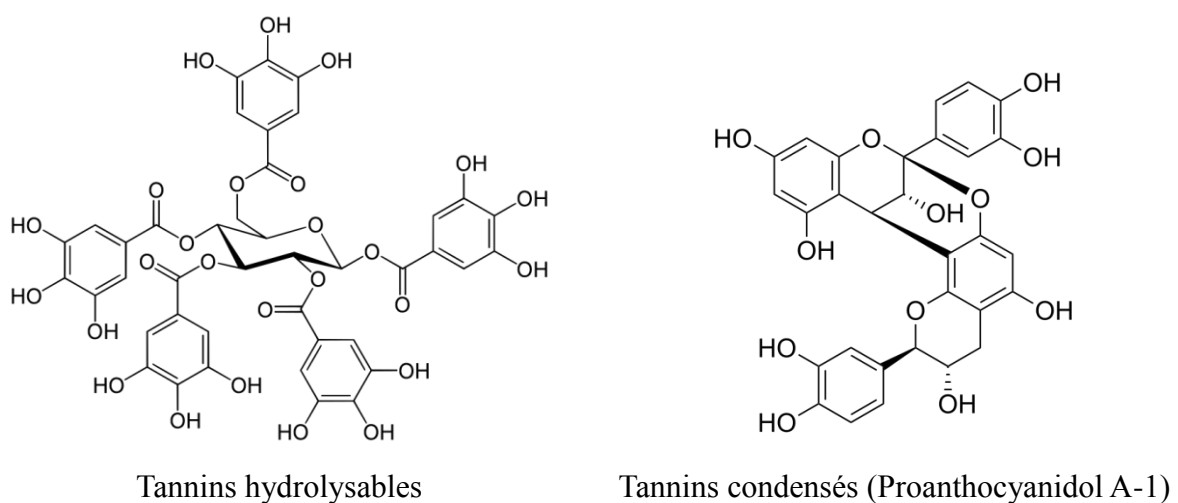


Figure II-3 : Illustrations de quelques structures de tannins.

- Les coumarines

Les coumarines sont des composés naturels caractérisés par une structure en benzopyrone, un hétérocycle bicyclique composé d'un noyau benzénique fusionné à un cycle lactone. Elles se subdivisent en diverses catégories : les coumarines simples, les coumarines dimériques, les furanocoumarines (coumarines-7-oxygénées) et les pyranocoumarines (Figure II-4) [5]. Les coumarines sont impliquées dans divers processus biologiques, notamment en tant qu'anticoagulants naturels et agents antimicrobiens. Elles sont également utilisées dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique pour leurs propriétés parfumantes et thérapeutiques.

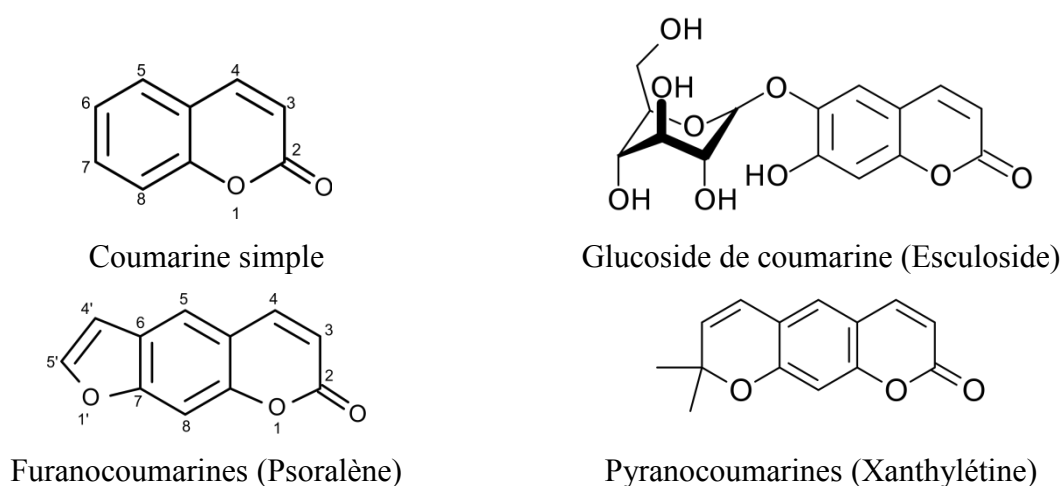


Figure II-4 : Exemples de structures de coumarines.

En résumé, les polyphénols représentent une classe de composés phytosanitaires de grande importance pour les plantes et la santé humaine. Leur diversité structurale et fonctionnelle permet aux plantes de se défendre efficacement contre divers stress environnementaux, tout en offrant des bénéfices nutritionnels significatifs lorsqu'ils sont consommés dans l'alimentation. Les recherches continuent de révéler de nouveaux aspects des rôles des polyphénols dans la prévention et le traitement des maladies, soulignant leur importance croissante dans les domaines de la nutrition et de la médecine préventive.

II.3. Propriétés biologiques des polyphénols : Activités pharmacologiques et applications médicales

À l'heure actuelle, un grand nombre de polyphénols sont reconnus pour leurs propriétés pharmacologiques, ce qui explique leur utilisation extensive en médecine moderne, tout comme en médecine traditionnelle. Voici quelques activités biologiques de ces composés :

- Les acides phénoliques sont connus pour leurs puissantes propriétés antioxydantes, capables de prévenir les dommages oxydatifs au niveau cellulaire. Ils jouent un rôle clé dans la prévention des maladies dégénératives telles que le cancer, les inflammations chroniques et les maladies cardiovasculaires [1].

- Les flavonoïdes, une classe majeure de polyphénols, servent de première ligne de défense contre les microbes pathogènes, les ravageurs et les herbivores. Ils agissent comme d'importants antioxydants, protégeant les cellules contre les dommages causés par les radicaux libres et contribuant ainsi à la réduction des risques de maladies chroniques [2,3].

- Les tannins sont remarquablement efficaces dans le traitement de diverses maladies, telles que la diarrhée et les tumeurs gastriques et duodénales [6]. En outre, ils sont utilisés pour leurs propriétés hémostatiques, antiseptiques, anti-inflammatoires et antioxydantes [7]. Leur capacité à former des complexes avec des protéines et d'autres biomolécules est à la base de leurs nombreuses applications thérapeutiques.

- Les coumarines se distinguent par une variété de fonctions biologiques, y compris des effets antidépresseurs, anticoagulants, anti-inflammatoires, anti-HIV, anticancéreux et antioxydants [5,8]. Ces composés sont utilisés dans diverses formulations pharmaceutiques pour traiter des troubles allant de la dépression aux maladies cardiovasculaires, en passant par certaines infections virales.

En conclusion, les polyphénols, grâce à leur diversité structurelle et fonctionnelle, jouent un rôle crucial dans la défense des plantes et offrent de nombreux avantages pour la santé humaine. Leurs propriétés biologiques, telles que les activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes, en font des composés essentiels en médecine préventive et thérapeutique. Les recherches continues dans ce domaine promettent de révéler encore davantage de bénéfices de ces composés naturels, consolidant leur place dans la médecine moderne.

II.4. La grenade : Un fruit sacré aux vertus thérapeutiques

La grenade (*P. granatum* L.) est vénérée dans plusieurs religions et est mentionnée dans le Coran comme l'un des fruits de l'Eden. Utilisée depuis des millénaires dans la médecine populaire, la grenade (Figure II-5) a attiré l'attention des scientifiques pour ses propriétés thérapeutiques bien documentées.



Figure II-5 : Grenadier commun - *Punica granatum* L.

II.4.1. Origines et répartition géographique

Originaire de Perse et de la région méditerranéenne, le grenadier a été progressivement introduit dans le reste de l'Asie, en Afrique du Nord, en Europe et sur la péninsule indienne. Les grenades comestibles étaient cultivées en Perse (actuels Afghanistan, Iran et Turquie) et à Ariha en Palestine. Les Phéniciens, en établissant des colonies en Afrique du Nord et dans la région méditerranéenne, ont introduit les grenades en Tunisie et en Égypte. Elles se sont naturalisées presque simultanément dans l'ouest de la Turquie et en Grèce [9].

Le grenadier pousse à faible altitude sur les montagnes et est cultivé dans diverses régions du monde. En France, il est principalement cultivé en pleine terre dans la région méditerranéenne, et on le trouve subspontané ou naturalisé dans le Midi. En Suisse, il est naturalisé aux environs de Sion, notamment à Tourbillon et à Valère. En Europe, il est cultivé et subspontané dans le sud-ouest du continent, tandis que hors d'Europe, il est présent dans le sud-ouest de l'Asie et en Inde, cultivé et subspontané dans la région méditerranéenne d'Afrique, et parfois subspontané dans plusieurs régions tempérées chaudes du globe, notamment en Amérique [10].

II.4.2. Noms vernaculaires du grenadier

En français, le grenadier est appelé grenadier, balaustier ou migranier. En allemand, il est connu sous les noms de granatbaum, balluster ou margaretenblum. En italien, il est appelé granato, melagrana ou granata. En anglais, les noms courants incluent pomegranate et carthaginian-apple.

II.4.3. Botanique du grenadier

Le grenadier commun ([Figure II-5](#)), ou *P. granatum* L. 1753, appartient à l'embranchement des spermatophytes et au sous-embranchement des angiospermes. Il est classé dans l'ordre des Myrtales et la famille des Punicaceae, avec une classification phylogénétique indiquant son appartenance à la famille des Lythraceae.

II.4.4. Production mondiale de grenades

Ces dernières années, l'offre mondiale de grenades a continué de croître de manière significative. En 2012, la production mondiale de grenades s'élevait à environ 2,5 millions de tonnes, marquant une augmentation de 16 % par rapport à 2007. L'Iran et l'Inde dominent cette production, représentant respectivement 37 % et 33 % du total mondial. Toute la production indienne est consommée localement, tandis que les principaux pays exportateurs incluent la Turquie, la Palestine et l'Espagne.

En 2018, la répartition des grands producteurs de grenades est détaillée dans le [Tableau II-1](#) suivant :

Tableau II-1 : Répartition des principaux producteurs de grenades en 2018 (en tonnes et en pourcentage de la production mondiale) [11].

| N° | Pays | Production (tonnes) | % de la production mondiale |
|----|-----------------|---------------------|-----------------------------|
| 1 | Inde | 1 500 000 | 27 |
| 2 | Chine | 1 086 000 | 20 |
| 3 | Iran | 925 000 | 17 |
| 4 | Turquie | 538 000 | 10 |
| 5 | Égypte | 382 000 | 7 |
| 6 | Azerbaïdjan | 170 000 | 3 |
| 7 | USA | 161 000 | 3 |
| 8 | Afghanistan | 150 000 | 3 |
| 9 | Algérie | 86 000 | 2 |
| 10 | Tunisie | 75 000 | 1 |
| 11 | Espagne | 66 667 | 1 |
| 12 | Arabie Saoudite | 65 000 | 1 |
| 13 | Maroc | 50 000 | 1 |
| 14 | Palestine | 50 000 | 1 |
| 15 | Pérou | 46 000 | 1 |
| 16 | Autres | 198 000 | 3 |
| | Monde | 5 524 667 | 100 |

II.4.5. Production de grenades en Algérie

En Algérie, de nombreuses variétés de grenades sont cultivées, chacune présentant des qualités distinctes. Certaines variétés de grenadiers sont observées dans les petits jardins de la Kabylie, bien que leurs noms locaux ne soient pas toujours connus, tels que Lahlou et El Mouz [12]. Le [Tableau II-2](#) suivant présente les 14 variétés de grenadiers autorisées à la commercialisation en Algérie :

Tableau II-2 : Variétés de grenadiers commercialisables en Algérie.

| Variété | | | | | |
|---------|---------------|----|--------------|----|-------------------|
| 1 | Espagne rouge | 6 | Gajin | 11 | Selection station |
| 2 | Corde travita | 7 | Sefri | 12 | Chelfi |
| 3 | Moller huesso | 8 | Zemdautomme | 13 | Doux de kolea |
| 4 | Mellisse | 9 | Sulfani | 14 | Messaad |
| 5 | Papers shell | 10 | Spanish duoy | | |

D'après l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA). (2006). 2^{ème} Rapport National sur l'État des Ressources Phytogénétiques (pp. 1-67).

II.4.6. Les polyphénols de la grenade et leurs propriétés

La grenade est un fruit riche en composés bioactifs, particulièrement en polyphénols, qui jouent un rôle crucial dans ses nombreuses propriétés thérapeutiques. Les composés phénoliques présents dans l'écorce, les graines et le jus de grenade confèrent une puissante activité antioxydante, aidant à neutraliser les radicaux libres et à prévenir les dommages oxydatifs au niveau cellulaire. Cette action contribue à la prévention de diverses maladies chroniques, telles que les maladies cardiovasculaires et certains types de cancers [13-15].

Parmi les polyphénols les plus significatifs de la grenade, les ellagitannins, les anthocyanines et les flavonoïdes se distinguent. Les ellagitannins, notamment la punicalagine, sont des antioxydants très puissants trouvés en forte concentration dans l'écorce de grenade (cf. [Figure II-6](#)). Ces composés possèdent des propriétés anti-inflammatoires et anticancéreuses importantes, renforçant le système immunitaire et protégeant les cellules contre les dommages oxydatifs [14,16]. Les anthocyanines, responsables de la couleur rouge vif du jus de grenade, ont également montré des effets bénéfiques sur la santé cardiovasculaire, notamment en réduisant l'hypertension et l'inflammation vasculaire [17].

Les flavonoïdes, une autre classe majeure de polyphénols présents dans la grenade, agissent comme des antioxydants puissants et sont reconnus pour leurs propriétés antimicrobiennes. Ils jouent un rôle crucial dans la défense contre les microbes pathogènes, les ravageurs et les herbivores, et contribuent à la réduction des risques de maladies chroniques [18].

Les tannins, présents en grande quantité dans l'écorce de la grenade, sont efficaces dans le traitement de diverses maladies, y compris la diarrhée et les tumeurs gastriques et duodénales. Ces composés, incluant des ellagitannins comme la punicaline [19], la punicalagine [16,20,21], la granatine A et la granatine B [22,23], la puniacortéine A, B, C et D, et la punigluconine [24], ainsi que la flavogallol, de couleur jaune (cf. [Figure II-6](#)) [14-16], représentent jusqu'à 28% de l'épiderme du fruit [25]. Les tannins possèdent également des propriétés hémostatiques, antiseptiques et anti-inflammatoires [16].

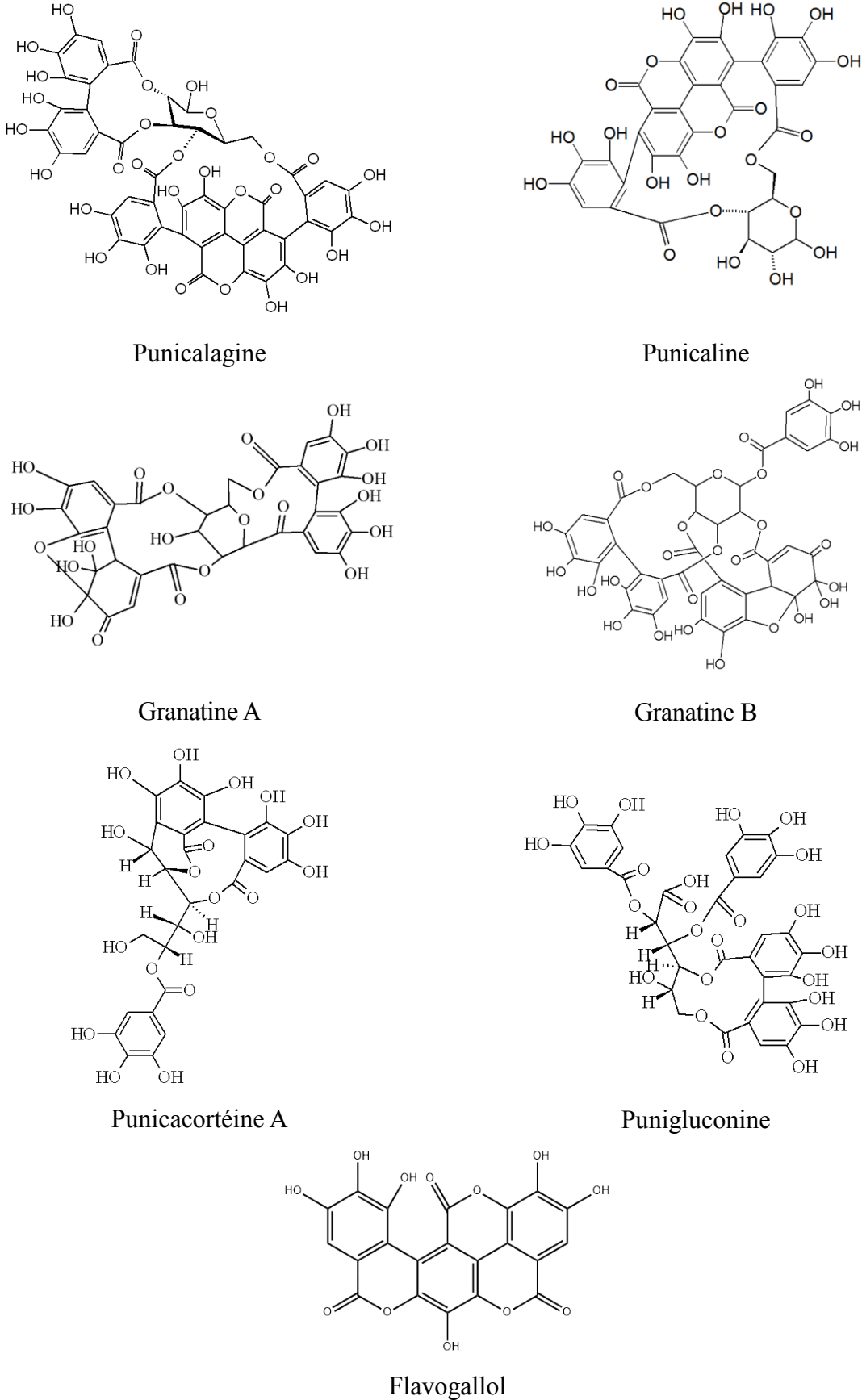
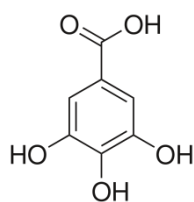
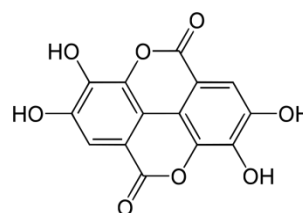


Figure II-6 : Quelques ellagitanins du grenadier.

L'écorce contient aussi des acides hydroxybenzoïques comme l'acide gallique et l'acide ellagique (Figure II-7) [26], des acides hydroxycinnamiques, des dérivés de flavones et des anthocyanidines responsables de la couleur rouge des grenades.



Acide gallique



Acide ellagique

Figure II-7 : Les acides hydroxybenzoïques du grenadier.

Les coumarines ajoutent également à la multitude de bienfaits pour la santé offerts par la grenade. Ces composés possèdent des fonctions antidépresseurs, anticoagulantes, anti-inflammatoires, anti-HIV, anticancéreuses et antioxydantes. Ils sont largement utilisés dans les formulations pharmaceutiques pour traiter une gamme de troubles allant de la dépression aux maladies cardiovasculaires, en passant par certaines infections virales [27].

En somme, la grenade est un fruit exceptionnellement riche en polyphénols, offrant de nombreux avantages pour la santé grâce à ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anticancéreuses. Ces attributs font de la grenade un élément précieux tant dans la nutrition quotidienne que dans la médecine traditionnelle et moderne, assurant des bénéfices significatifs pour la santé humaine [28].

II.5. Conclusion

En somme, la grenade, grâce à sa richesse en polyphénols, offre de multiples bienfaits pour la santé. Ses composés bioactifs, notamment les ellagitannins, les anthocyanines et les flavonoïdes, jouent un rôle essentiel dans la prévention des maladies cardiovasculaires, des cancers et des troubles inflammatoires. La production mondiale de grenades continue de croître, avec des principaux producteurs tels que l'Inde, la Chine et l'Iran. En Algérie, diverses variétés de grenades sont cultivées, contribuant à la diversité et à la disponibilité de ce fruit bénéfique. La reconnaissance de ses vertus thérapeutiques, validée par la science moderne, souligne l'importance de la grenade dans les pratiques médicales contemporaines et traditionnelles.

Références

- [1] Al Jitan, S., Alkhoori, S. A., & Yousef, L. F. (2019). Chapter 13 - Phenolic acids from plants: Extraction and application to human health. In *Phenolic acids: Structure, function and applications* (pp. 291-305). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64056-7.00013-1>
- [2] Al-Khayri, J. M., Sahana, G. R., Nagella, P., Joseph, B. V., Alessa, F. M., & Al-Mssallem, M. Q. (2022). Flavonoids as potential anti-inflammatory molecules: A review. *Molecules*, 27(9), 2901. <https://doi.org/10.3390/molecules27092901>
- [3] Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- [4] Sharma, K., Kumar, V., Kaur, J., Tanwar, B., Goyal, A., Sharma, R., & et al. (2019). Health effects, sources, utilization and safety of tannins: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(10), 432-444. <https://doi.org/10.1080/15569543.2019.1662813>
- [5] Sharifi-Rad, J., Cruz-Martins, N., López-Jornet, P., Lopez, E. P., Harun, N., Yeskalyeva, B., Beyatli, A., Sytar, O., Shaheen, S., Sharopov, F., Taheri, Y., Docea, A. O., Calina, D., & Cho, W. C. (2021). Natural coumarins: Exploring the pharmacological complexity and underlying molecular mechanisms. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 6492346. <https://doi.org/10.1155/2021/6492346>
- [6] De Bruyne, T., Pieters, L., Deelstra, H., & Vlietinck, A. (1999). Condensed vegetable tannins: Biodiversity in structure and biological activities. *Biochemical Systematics and Ecology*, 27(4), 445-459. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(98\)00097-2](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(98)00097-2)
- [7] Dolara, P., Luceri, C., De Filippo, C., Femia, A. P., Giovannelli, L., et al. (2005). Red wine polyphenols influence carcinogenesis, intestinal microflora, oxidative damage and gene expression profiles of colonic mucosa in F344 rats. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 591(1-2), 237-246. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2005.05.012>
- [8] Srikrishna, D., Godugu, C., & Dubey, P. K. (2018). A review on pharmacological properties of coumarins. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 18(2), 113-141. <https://doi.org/10.2174/1389557517666170728154037>
- [9] da Silva, J. A. T., Rana, T. S., Narzary, D., Verma, N., Meshram, D. T., & Ranade, S. A. (2013). Pomegranate biology and biotechnology: A review. *Scientia Horticulturae*, 160, 85-107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.017>
- [10] Aymonin, G. G., & Keraudren-Aymonin, M. (1990). Autour de Gaston Bonnier et de son œuvre. Essai documentaire comparatif. *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 137(1-2), 125-138. <https://doi.org/10.1080/01811789.1990.10827079>

- [11] Cauchard, P. (2013). La grenade: Organisation de la filière, opportunités et contraintes pour son développement. Agrocampus Ouest. <https://doi.org/10.4267/2042/51440>
- [12] Faso, B. (2007). Rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5331-5_17
- [13] Niewiadomska, J., Kasztura, M., Janus, I., Chelmecka, E., Stygar, D. M., Frydrychowski, P., Wojdyło, A., & Noszczyk-Nowak, A. (2023). *Punica granatum* L. extract shows cardioprotective effects measured by oxidative stress markers and biomarkers of heart failure in an animal model of metabolic syndrome. *Antioxidants*, 12(6), 1152. <https://doi.org/10.3390/antiox12061152>
- [14] Moga, M. A., Dimienescu, O. G., Bălan, A., Dima, L., Toma, S. I., Bîgiu, N. F., & Blidaru, A. (2021). Pharmacological and therapeutic properties of *Punica granatum* phytochemicals: Possible roles in breast cancer. *Molecules*, 26(4), 1054. <https://doi.org/10.3390/molecules26041054>
- [15] Doostkam, A., Bassiri-Jahromi, S., & Iravani, K. (2020). *Punica granatum* with multiple effects in chronic diseases. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 1-13. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1653809>
- [16] Alami, M., Boumezough, K., Khalil, A., Ramchoun, M., Boulbaroud, S., Fulop, T., Morvaridzadeh, M., & Berrougui, H. (2023). The modulatory bioeffects of pomegranate (*Punica granatum* L.) polyphenols on metabolic disorders: Understanding their preventive role against metabolic syndrome. *Nutrients*, 15(23), 4879. <https://doi.org/10.3390/nu15234879>
- [17] Alkhatib, M., Fayad, C., Badran, A., Hamade, K., Daou, A., Baydoun, E., & Hijazi, A. (2022). Preventive and therapeutic effects of *Punica granatum* (pomegranate) in respiratory and digestive diseases: A review. *Applied Sciences*, 12(23), 12326. <https://doi.org/10.3390/app122312326>
- [18] Mokgalaboni, K., Dlamini, S., Phoswa, W. N., Modjadji, P., & Lebelo, S. L. (2023). The impact of *Punica granatum* Linn and its derivatives on oxidative stress, inflammation, and endothelial function in diabetes mellitus: Evidence from preclinical and clinical studies. *Antioxidants*, 12(8), 1566. <https://doi.org/10.3390/antiox12081566>
- [19] Zhang, Y., Wang, D., Lee, R. P., Henning, S. M., & Heber, D. (2009). Absence of pomegranate ellagitannins in the majority of commercial pomegranate extracts: Implications for standardization and quality control. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(16), 7395-7400. <https://doi.org/10.1021/jf9010017>
- [20] Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M., & Kader, A. A. (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and

processing. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48(10), 4581-4589.
<https://doi.org/10.1021/jf000404a>

[21] Lipińska, L., Klewicka, E., & Sójka, M. (2014). Structure, occurrence and biological activity of ellagitannins: A general review. Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria, 13(3), 289-299.

[22] Satomi, H., Umemura, K., Ueno, A., Hatano, T., Okuda, T., & Noro, T. (1993). Carbonic anhydrase inhibitors from the pericarps of *Punica granatum* L. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 16(8), 787-790. <https://doi.org/10.1248/bpb.16.787>

[23] Cardon, D. (2003). Le monde des teintures naturelles. Editions Belin. Pages 368-370.

[24] Tanaka, T., Nonaka, G., & Nishioka, I. (1986). Tannins and related compounds. XLI.: Isolation and characterization of novel ellagitannins, punicacorteins A, B, C, and D, and punigluconin from the bark of *Punica granatum* L. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 34(2), 656-663.

[25] Fournier, P. (1948). Le livre des plantes médicinales et vénéneuses de France. Tome II. Editeur Paul Lechevalier. Pages 286-291.

[26] Lansky, E. P., & Newman, R. A. (2007). *Punica granatum* (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. Journal of Ethnopharmacology, 109, 177-206.

[27] Fiorito, S., Ianni, F., Preziuso, F., Epifano, F., Scotti, L., Bucciarelli, T., & Genovese, S. (2019). UHPLC-UV/Vis quantitative analysis of hydroxylated and O-prenylated coumarins in pomegranate seed extracts. Molecules, 24(10), 1963. <https://doi.org/10.3390/molecules24101963>

[28] Kennas, A., & Amellal-Chibane, H. (2019). Comparison of five solvents in the extraction of phenolic antioxidants from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel. The North African Journal of Food and Nutrition Research, 3(5), 140-147. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3404162>

***Chapitre III : Crème solaire à la grenade
: Extraction et formulation***

Chapitre III : Crème solaire à la grenade : Extraction et formulation

III.1. Introduction

Ce travail aborde le développement d'une crème solaire naturelle à base de polyphénols extraits de grenades. Les polyphénols, présents dans les écorces de ce fruit, sont réputés pour leurs propriétés antioxydantes et leur capacité à protéger la peau contre les rayons UV. L'objectif principal est de formuler une crème solaire efficace tout en exploitant les bienfaits des polyphénols pour la santé cutanée. Le processus d'extraction des polyphénols, leur caractérisation, la formulation de la crème solaire, et l'évaluation de son efficacité sont les principaux axes de ce travail. L'objectif final est de proposer une alternative naturelle et performante aux crèmes solaires conventionnelles, offrant à la fois une protection contre les rayons UV et des bienfaits pour la santé de la peau.

III.2. Impact des rayonnements ultraviolets sur la peau et conséquences biologiques

Jusqu'à 5 % de la lumière solaire incidente se situe dans le spectre des rayonnements ultraviolets (UV) [1]. Ce spectre se divise en 95 % de rayons UVA, comprenant les UVA1 et les UVA2, en 5 % de rayons UVB et en rayons UVC, ces derniers étant bloqués par la couche d'ozone. La bande des UVA1 représente jusqu'à 75 % de l'irradiance UV totale (Tableau III-1).

Tableau III-1 : Spectre des rayonnements ultraviolets.

| Types de rayons | λ (nm) |
|-----------------|----------------|
| UVA | |
| { UVA1 | 340 - 400 |
| { UVA2 | 320 - 340 |
| UVB | 280 - 320 |
| UVC | 100 - 280 |

λ : Longueur d'onde en nanomètres.

Les effets des UV sur la peau s'accroissent avec le temps et varient en fonction de la dose reçue. Par exemple, le rayonnement UVB, doté d'une énergie plus élevée, induit des érythèmes, des brûlures, de l'inflammation ainsi qu'une prolifération des kératinocytes. Le rayonnement UVA, possédant une capacité de pénétration supérieure, impacte à la fois l'épiderme et le derme. Ce rayonnement est principalement responsable du photovieillissement, réduisant la synthèse de collagène et d'élastine et dégradant les fibres de collagène dans le

derme, ce qui entraîne une hyperplasie et un épaissement de la couche cornée. Les deux types de rayonnement contribuent à la carcinogenèse [2].

Les réactions immédiates à une surexposition solaire incluent l'érythème et les coups de soleil. Les réactions à long terme se manifestent par des modifications moléculaires et biochimiques : inflammation avec augmentation des cytokines (TNF- α , IL-1, IL-6, IL-8, IL-10), perturbation de l'homéostasie, augmentation de la production de espèces réactives de l'oxygène (ROS), immunosuppression, et processus carcinogènes menant à l'apparition de mélanomes et de cancers cutanés non mélanomes, tels que les carcinomes basocellulaires et épidermoïdes [3]. L'exposition solaire peut également exacerber certaines affections cutanées telles que l'albinisme, le vitiligo, le xeroderma pigmentosum et le melasma [4].

III.3. Innovations et défis des écrans solaires : Protection et alternatives écologiques

Initialement, les écrans solaires étaient conçus pour protéger principalement contre les rayonnements UVB. Depuis le début du XXe siècle, la protection contre les rayonnements UVA a également été intégrée dans les formulations diverses. Au cours des années 2000, la nocivité des rayonnements de très courte longueur d'onde, proches du spectre infrarouge, a été démontrée. Plus récemment, il a été prouvé que la lumière visible, en particulier la lumière bleue, ainsi que les rayonnements UVA de plus grande longueur d'onde, contribuent à l'hyperpigmentation et au vieillissement cutané.

Les écrans solaires intègrent des ingrédients actifs (filtres) qui absorbent, réfléchissent ou réfractent les rayonnements UV. Cependant, la structure chimique, l'origine et le mécanisme d'action de ces filtres varient considérablement. Les autorités réglementaires internationales recommandent l'utilisation de filtres chimiques, synthétiques et organiques (tels que la benzophénone-3, l'octinoxate) ou inorganiques, minéraux (comme le dioxyde de titane et l'oxyde de zinc). Ces filtres présentent des avantages notables tels que la photostabilité, une distribution homogène sur la peau, une accumulation dans la couche cornée de l'épiderme et une efficacité élevée [5]. Toutefois, ces substances ont également des inconvénients importants, car elles peuvent provoquer des eczémas, des brûlures (acide para-aminobenzoïque et ses dérivés, benzophénones), une photosensibilisation (avobenzone, dibenzoylméthane), des allergies de contact, des irritations, des déséquilibres hormonaux ou même des cancers cutanés (oxybenzone, octinoxate, homosalate, roxadimate) (cf. [Figure I-2](#) et [Figure III-1](#)) [6].

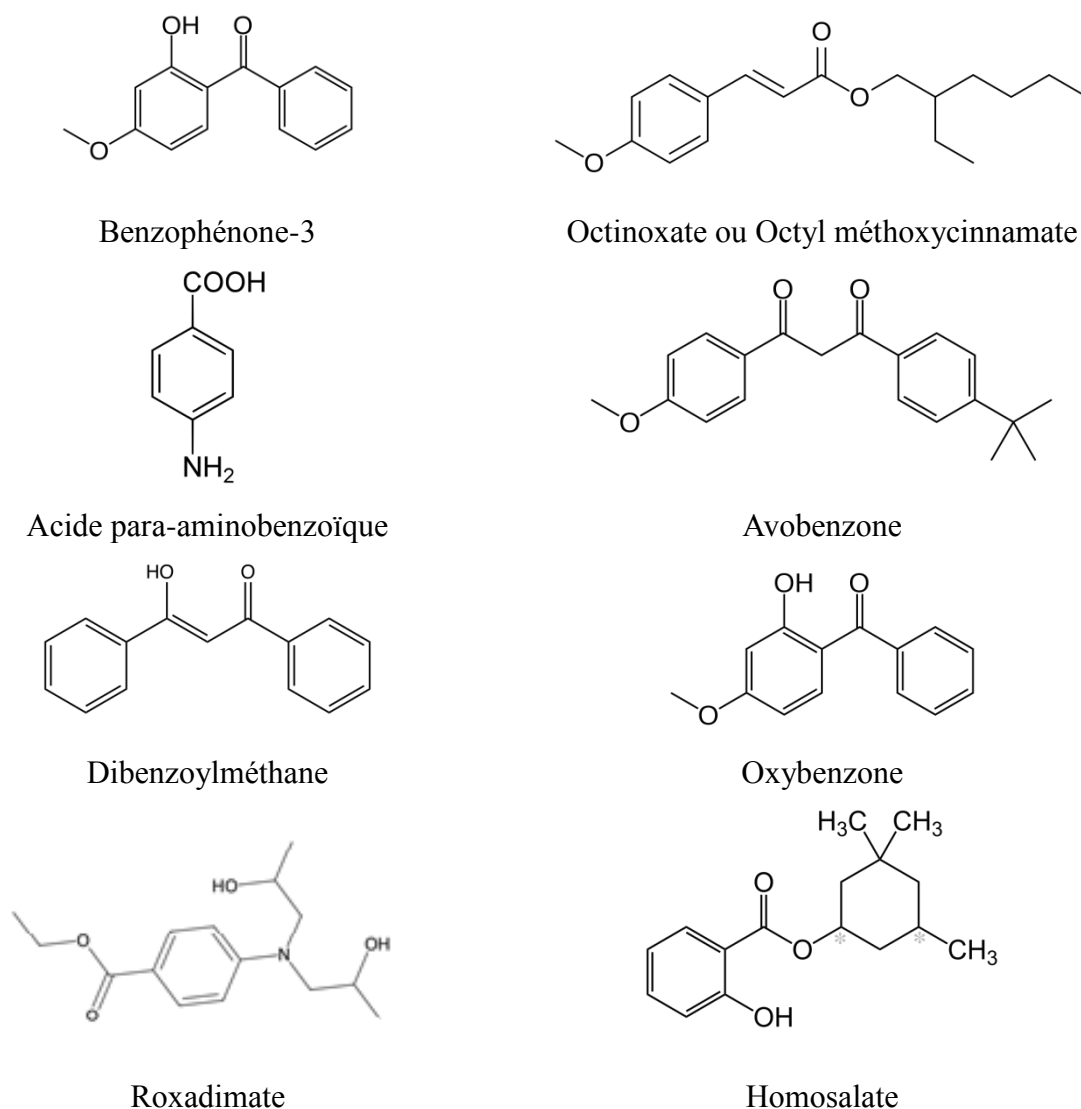


Figure III-1 : Structures de quelques filtres recommandés par les autorités réglementaires internationales.

En réponse à la toxicité des filtres UV synthétiques, la recherche s'est intensifiée ces dernières années pour identifier des alternatives efficaces et non toxiques pour l'homme et l'environnement. Parmi ces alternatives figurent les métabolites secondaires produits par les plantes, qui, bien que non encore officiellement approuvés par l'Union européenne, peuvent être incorporés dans divers produits de protection solaire afin d'augmenter le facteur de protection solaire des filtres synthétiques. En outre, ces composés confèrent aux produits des propriétés additionnelles précieuses : antioxydantes, anti-inflammatoires, anti-âge, émollientes, régénérantes, astringentes et immunomodulatrices [7]. Ces composés naturels offrent une photoprotection efficace, tant par application topique que par administration orale (extrait de thé vert, Pycnogenol, etc.) [8,9].

III.4. Mécanismes de photoprotection des métabolites secondaires des plantes

Les métabolites secondaires des plantes possèdent divers mécanismes de photoprotection qui contribuent à la défense contre les dommages induits par les UV. Ces mécanismes incluent :

- ✓ Absorption des rayonnements UV : Certains métabolites absorbent directement les rayons ultraviolets, réduisant ainsi leur pénétration et les dommages cutanés.
- ✓ Inhibition de la formation des espèces réactives de l'oxygène (ROS) : Ils empêchent la formation de ROS, qui sont des molécules instables et dommageables générées par l'exposition aux UV.
- ✓ Capture des ROS induits par les UV : Ces composés végétaux capturent et neutralisent les ROS déjà formés, minimisant ainsi les dommages oxydatifs.
- ✓ Métallo-chélateurs pour les ions ferriques produits en excès : Les métabolites végétaux agissent comme des chélateurs, se liant aux ions ferriques et empêchant leur participation à des réactions oxydatives nuisibles.
- ✓ Cofacteurs pour les enzymes antioxydantes : Ils agissent comme cofacteurs pour des enzymes antioxydantes telles que la catalase, la superoxyde dismutase et la glutathion peroxydase, renforçant ainsi la défense antioxydante de la peau.
- ✓ Diminution de l'expression génique des cytokines inflammatoires : Ils réduisent l'expression des gènes codant pour les cytokines inflammatoires telles que le TNF- α , l'IL-1 β , l'IL-6 et l'IL-8, diminuant ainsi l'inflammation cutanée.
- ✓ Inhibition des collagénases : Ces métabolites inhibent les enzymes collagénases, responsables de la dégradation du collagène, protégeant ainsi la structure dermique.
- ✓ Induction de la production de collagène de type I et d'acide hyaluronique (cf. [Figure I-1](#)) : Ils stimulent la production de collagène et d'acide hyaluronique, essentiels pour la santé et l'élasticité de la peau.
- ✓ Inhibition des métalloprotéinases matricielles induites par les UV : Ils inhibent les métalloprotéinases matricielles, enzymes dégradant la matrice extracellulaire sous l'influence des UV.
- ✓ Inhibition des enzymes pro-inflammatoires : Ces métabolites inhibent les enzymes pro-inflammatoires comme la COX-2 et la lipoxigénase, réduisant ainsi l'inflammation et les dommages cellulaires associés.

Ces mécanismes combinés font des métabolites secondaires des plantes des agents photoprotecteurs potentiels, offrant une protection efficace contre les effets néfastes de l'exposition aux UV.

La majorité des études publiées indique que le principal mécanisme d'activité photoprotectrice réside dans la capacité antioxydante de nombreux métabolites secondaires des plantes. Cette capacité se manifeste par la réduction de l'oxydation des protéines, des lipides, de l'ADN et d'autres molécules, ainsi que par l'inhibition de la phase de propagation des réactions en chaîne oxydatives [10].

Ces découvertes ouvrent de vastes perspectives de recherche pour identifier les effets photoprotecteurs de nombreux composés végétaux, qui pourraient être utilisés dans les cosmétiques photoprotecteurs. Les composés végétaux ayant des propriétés antioxydantes sont souvent présents dans des plantes issues de divers environnements et possédant des origines variées.

L'exploration de ces composés végétaux et de leurs mécanismes d'action peut enrichir considérablement le domaine de la cosmétique photoprotectrice, offrant des alternatives naturelles aux filtres UV synthétiques et apportant des bénéfices additionnels pour la santé cutanée.

III.5. Métabolites secondaires des plantes : Classification et effets photoprotecteurs

Les métabolites secondaires des plantes se classent, d'un point de vue structural, en trois grandes catégories : les composés polyphénoliques, les composés azotés (alcaloïdes) et les terpénoïdes (huiles essentielles) [11-14].

Les alcaloïdes les plus étudiés pour leurs propriétés photoprotectrices incluent la caféine, la théophylline et la théobromine (Figure III-2) [40].

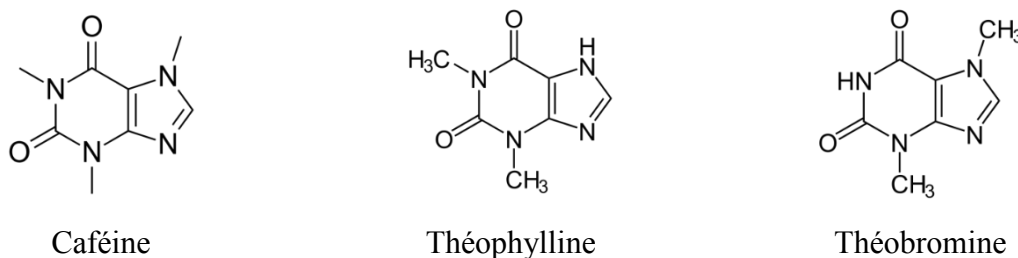


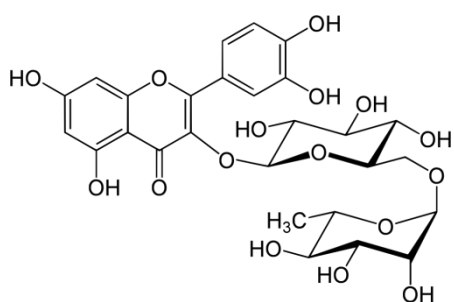
Figure III-2 : Exemples d'alcaloïdes de type méthylxanthine.

Les huiles essentielles végétales se révèlent être des agents photoprotecteurs efficaces. Par exemple, les huiles d'*Ocimum basilicum* L. et de *Commiphora mukul* Engl. [15,16] ont été testées avec succès. De même, les huiles végétales provenant de *Glycine max* (L.) Merr. [17], *Nigella sativa* L. [18] et *Mauritia flexuosa* L.f. [19] ont démontré des capacités photoprotectrices similaires.

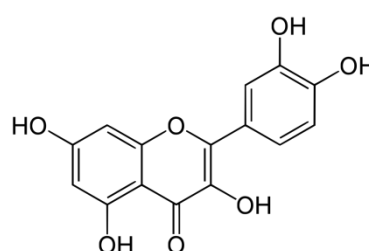
Les flavonoïdes, appartenant aux composés polyphénoliques, possèdent le potentiel photoprotecteur le plus élevé, principalement en stimulant la mélanogenèse. Cet effet est dû aux groupes hydroxyyles attachés au cycle aromatique. À l'inverse, la plupart des autres antioxydants

.....
inhibent la mélanogénèse en inhibant la tyrosinase. Parmi les flavonoïdes, seuls la rutine, la robinéthine, la myricétine et la naringine (cf. [Figure III-3](#)) inhibent la mélanogénèse ou n'exercent aucune influence sur celle-ci [20]. Grâce à leurs structures comprenant des cycles aromatiques et des doubles liaisons conjuguées, les flavonoïdes absorbent l'ensemble du spectre des UV [21]. Les flavonoïdes les plus étudiés, la rutine et la quercétine, ont montré un facteur de protection solaire (FPS) élevé [20,22].

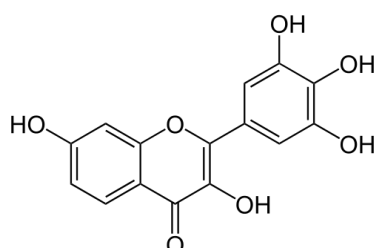
Les composés naturels présentent également certains inconvénients, tels qu'une faible solubilité, photostabilité et capacité de pénétration de la couche cornée. Ces limitations peuvent néanmoins être surmontées en modifiant la viscosité du solvant, par la complexation avec des cyclodextrines, ou en les incorporant dans des liposomes [23].



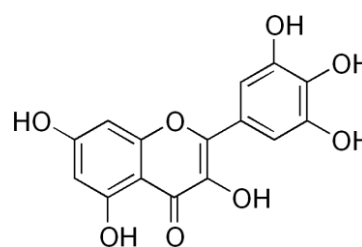
Rutine, un glycoside de la quercétine



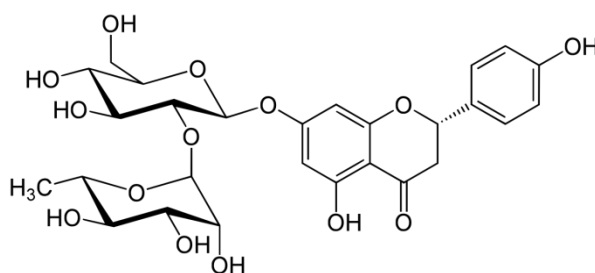
Quercétine



Robinéthine



Myricétine



Naringine

Figure III-3 : Structures de flavonoïdes photoprotecteurs.

La lignine, un composé polyphénolique avec un pic d'absorption à 283 nm, offre une capacité d'absorption UV élevée, des propriétés antioxydantes remarquables et une excellente biocompatibilité. Ses problèmes de faible solubilité et de couleur sombre ont été résolus en utilisant des nanoparticules de lignine [24].

La silymarine, extraite des graines de *Silybum marianum* (chardon-Marie), est une substance riche en flavonoïdes, avec des graines contenant entre 4 et 6 % de silymarine, dont 70 à 80 % de flavonolignanes (Figure III-4) et 20 à 30 % de composés polyphénoliques oxydés. Dotée d'une forte capacité antioxydante et de propriétés hépatoprotectrices bien documentées, la silymarine a également démontré un FPS d'environ 9 lorsqu'elle est ajoutée à des formulations à une concentration de 10 %. Ce FPS augmente lorsqu'elle est combinée avec de l'oxyde de zinc et du dioxyde de titane. De plus, la conversion de la silymarine en nanoparticules améliore sa solubilité et son efficacité [25].

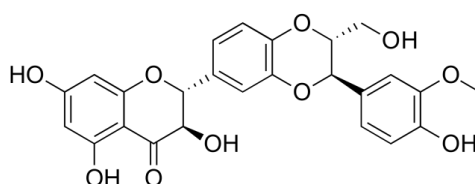


Figure III-4 : La silibinine, flavonolignane et principal constituant actif de la silymarine.

III.6. Polyphénols de grenades pour la protection solaire

Le *P. granatum* L., communément appelé grenade, est une plante qui pousse en Algérie, où son fruit est consommé pour ses bienfaits nutritionnels et médicaux. L'étude actuelle se concentre sur les écorces de la grenade, souvent négligées, mais riches en métabolites secondaires, en particulier les polyphénols. Les polyphénols, grâce à leurs propriétés antioxydantes, pourraient agir comme filtres naturels en absorbant les rayons UV et en protégeant la peau contre les dommages solaires. Cette démarche s'inscrit dans une perspective de développement durable et d'innovation dans le domaine cosmétique, visant à remplacer les filtres UV synthétiques par des alternatives naturelles et efficaces issues des plantes.

Les écorces de grenade sont nettoyées, séchées et broyées avant l'extraction des polyphénols avec des solvants appropriés. La concentration totale en polyphénols et en flavonoïdes est ensuite mesurée. Les activités antioxydantes des extraits sont évaluées à l'aide des tests DPPH et FRAP. Finalement, une crème solaire est formulée en intégrant l'extrait polyphénolique des écorces de grenade, démontrant son potentiel comme filtre solaire naturel. Les détails méthodologiques de cette recherche sont exposés ci-dessous.

III.6.1. Préparation des écorces de grenade pour l'extraction des polyphénols

Les grenades (*P. granatum* L., variété aadmi) ont été collectées en novembre 2023 dans les régions de Beni Bahdel et Beni Snous, situées dans la wilaya de Tlemcen. Seuls les fruits mûrs et intacts ont été sélectionnés pour cette étude. Pour préparer la poudre des écorces de grenade, les fruits ont été soigneusement lavés deux fois avec de l'eau distillée, puis les écorces ont été séparées manuellement. Ces écorces ont été séchées à l'abri de la lumière directe du

soleil, broyées avec un broyeur, et tamisées à travers un tamis de 1 mm. De 10 kg de fruits frais, 1,5 kg d'écorces de grenade ont été extraites. Après un séchage à température ambiante pendant 25 jours à l'abri des rayons solaires, suivis du nettoyage et du broyage, 1042 g de poudre fine d'écorces de grenade ont été obtenus. Le rendement de la poudre par rapport à la masse initiale des écorces est de 69,47%.

III.6.2. Méthodologie d'extraction et préparation des polyphénols des écorces de grenade

Les composés phénoliques, présents dans les fruits et légumes, sont des antioxydants naturels dont la solubilité varie en fonction de leur nature chimique. L'extraction liquide-liquide (LLE) est fréquemment utilisée pour extraire ces composés en raison de son faible coût, bien qu'elle nécessite beaucoup de temps. L'extraction en phase solide (SPE) est également utilisée pour les échantillons liquides. Les techniques modernes, telles que l'extraction par fluide supercritique (SFE), l'extraction sous pression liquide (PLE), l'extraction assistée par micro-ondes (MAE) et l'extraction assistée par ultrasons (UAE), offrent des avantages significatifs, notamment la réduction de l'utilisation de solvants et l'accélération du processus d'extraction [26].

L'extraction est une étape cruciale dans le traitement initial des échantillons. Traditionnellement, elle se fait par extraction liquide en utilisant des solvants comme l'éthanol, l'acétone ou le méthanol. Ces solvants doivent être sélectionnés en fonction de leur adéquation avec les conditions analytiques, telles que la température et le pH. Les méthodes traditionnelles incluent la macération, la décoction, la percolation et l'extraction par Soxhlet, qui, bien que simples, sont chronophages et nécessitent de grandes quantités de solvants [27].

Les techniques d'extraction non conventionnelles, comme LLE et SPE, sont couramment utilisées en laboratoire. Elles sont préférées pour leur faible coût, leur facilité d'utilisation et leur capacité à réduire les résidus toxiques et les temps d'extraction [28]. La SFE et la PLE offrent des avantages comme l'utilisation de basses températures et la réduction des dépenses énergétiques. La MAE et la UAE améliorent l'efficacité du processus en accélérant les étapes d'analyse et en permettant une meilleure homogénéisation des échantillons [29-34].

- Méthodologie suivie

La méthode de macération a été sélectionnée pour extraire les composés phénoliques des écorces de grenade en raison de sa simplicité et de son efficacité. Pour cette extraction, deux solvants ont été utilisés : de l'eau et un mélange eau-méthanol (20/80 : v/v), sur une durée de 48 heures. Après chaque macération, une filtration est effectuée pour séparer la matière végétale épuisée du solvant d'extraction. Cette étape utilise successivement une passoire, du coton stérile et du papier filtre assisté d'une pompe à vide, garantissant ainsi une purification optimale des extraits. L'évaporation des solvants est ensuite réalisée à l'aide d'un rotavapeur, concentrant les extraits tout

en préservant les composés thermosensibles. Cette approche a permis d'obtenir deux extraits initiaux : l'extrait aqueux des écorces de grenade (EAEG) et l'extrait hydroalcoolique des écorces de grenade (EHAEG). Bien que chronophage et nécessitant une grande quantité de solvants, la macération ne requiert pas d'équipements sophistiqués.

D'autres macérats, préparés selon le même protocole décrit ci-dessus, ont ensuite été fractionnés en utilisant de l'acétate d'éthyle (AE) pour améliorer la solubilité des flavonoïdes. Deux nouveaux extraits, EAEG-AE et EHAEG-AE, ont été obtenus après séchage sur Na_2SO_4 anhydre, filtration puis évaporation du solvant au rotavapeur à une température inférieure à son point d'ébullition pour garantir l'intégrité des composés extraits.

Cette méthodologie est représentée schématiquement dans la [Figure III-5](#), détaillant chaque étape du processus d'extraction et de préparation des extraits de polyphénols des écorces de grenade.

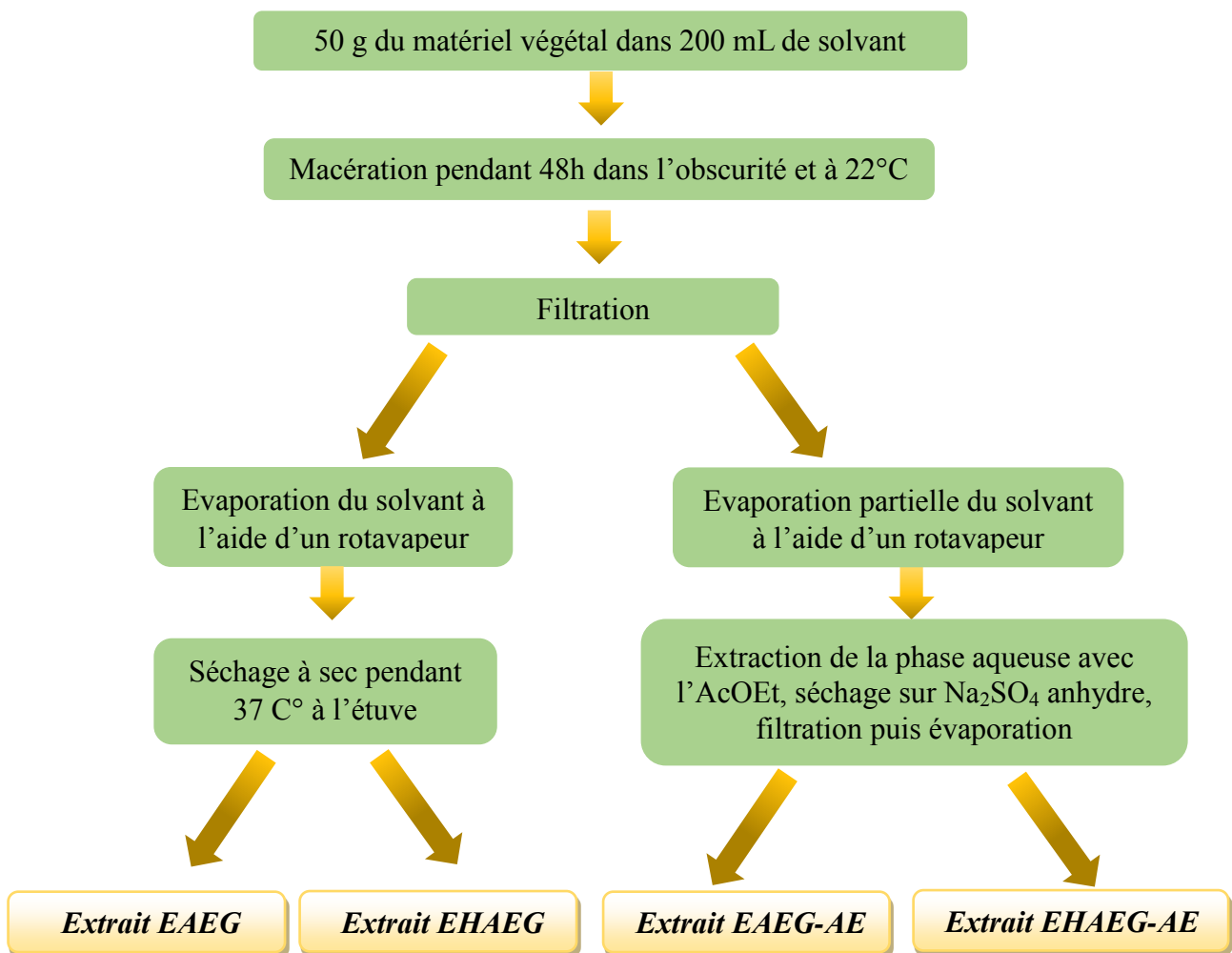


Figure III-5 : Schéma illustrant le processus d'extraction et de préparation des polyphénols des écorces de grenade.

EAEG : Extrait aqueux des écorces de grenades ; EHAEG : Extrait hydroalcoolique des écorces de grenades ; EHAEG-AE : Extrait aqueux des écorces de grenades fractionné avec de l'acétate d'éthyle ; EAEG-AE : Extrait hydroalcoolique des écorces de grenades fractionné avec de l'acétate d'éthyle.

- Résultats et interprétation

La macération avec l'éthanol, le méthanol et l'eau, fréquemment utilisés comme solvants d'extraction sous agitation magnétique et à température ambiante, est une méthode largement employée pour extraire les composés polyphénoliques des plantes. Selon Atik et Mohammedi (2011) [35], l'utilisation de solvants polaires mixtes permet un enrichissement significatif des extraits en polyphénols, car l'affinité des composés polyphénoliques envers les solvants polaires est élevée, facilitant ainsi leur extraction.

Le pourcentage de rendement de chaque extrait a été calculé selon la formule suivante :

$$R (\%) = \frac{M}{M_0} \times 100$$

avec :

R : Rendement exprimé en pourcentage.

M : Masse de l'extrait, exprimée en grammes (g).

M_0 : Masse initiale du matériel végétal sec, exprimée en grammes (g).

Le [Tableau III-2](#) ci-dessous résume le rendement d'extraction, la couleur, l'aspect et la solubilité pour chaque extrait :

Tableau III-2 : Caractéristiques des extraits obtenus de l'écorce de *Punica granatum* L.

| Extrait | Rendement (%) | Aspect/Couleur | Solubilité |
|---|---------------|------------------|----------------|
| Extrait aqueux (EAEG) | 20,23% | Visqueux /Grenat | Eau distillée |
| Extrait hydroalcoolique (EHAEG) | 20,48% | Visqueux/Grenat | Eau distillée |
| Extrait aqueux fractionné (EAEG-AE) | 0,92% | Cristaux/Marron | Eau distillée, |
| Extrait hydroalcoolique fractionné (EHAEG-AE) | 2,88% | Cristaux/Marron | Eau distillée, |

L'extraction aqueuse de l'écorce de *P. granatum* L. par macération (48 heures) a permis de récupérer un extrait brut (EAEG) soluble dans l'eau distillée avec un rendement de 20,23 % et un extrait hydroalcoolique de couleur grenat avec un rendement de 20,48 %. L'extraction aqueuse fractionnée par l'acétate d'éthyle a séparé une fraction organique sous forme de cristaux marron avec un rendement de 0,92 %. De même, l'extrait hydroalcoolique fractionné a donné des cristaux marron avec un rendement de 2,88 %.

Les rendements d'extraction obtenus dans cette étude varient entre 0,92 % pour l'extrait aqueux fractionné par acétate d'éthyle et 20,48 % pour l'extrait hydroalcoolique. Selon la littérature, les rendements d'extraction sont très variables. Par exemple, Kennas et Amellal-Chibane (2019) [36] ont enregistré un rendement de $37,33 \pm 5,3$ % pour l'extrait hydroalcoolique (50:50 v/v) et $14,87 \pm 4,42$ % pour l'extrait aqueux de *P. granatum* L. Les différences de rendement peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment la nature du

.....
 solvant, les conditions d'extraction et la composition chimique de la plante utilisée. En effet, l'évaporation de l'eau prend plus de temps et nécessite une plus grande consommation d'énergie, ce qui réduit son utilisation malgré son faible coût.

Nos résultats concordent avec des recherches antérieures qui estiment que le choix du solvant joue un rôle crucial dans l'extraction des composés polyphénoliques. Par exemple, Iqbal et al. (2008) [37] recommandent l'utilisation du méthanol pour extraire les polyphénols de la grenade. De plus, Singh et al. (2014) [38] ont indiqué que l'eau offre un rendement plus élevé comparé à certains solvants organiques. Les variations dans les rendements d'extraction peuvent être attribuées à la solubilité variable des polyphénols dans différents solvants.

Les cristaux marron obtenus des extraits fractionnés par l'acétate d'éthyle peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs. L'acétate d'éthyle, étant un solvant polaire, extrait efficacement les composés polyphénoliques. De plus, l'absence de lipides et autres impuretés non polaires dans ces extraits améliore leur pureté et qualité, les rendant plus adaptés pour des applications biologiques et pharmaceutiques. Enfin, l'acétate d'éthyle présente une toxicité relativement faible et une biodégradabilité plus facile que d'autres solvants organiques, ce qui en fait une option plus sûre et respectueuse de l'environnement pour l'extraction. Il est à noter que l'utilisation d'un mélange de solvants peut optimiser le rendement d'extraction des polyphénols et des molécules antioxydantes, apportant des avantages significatifs dans ce domaine.

III.6.3. Évaluation des composés bioactifs dans les extraits de *P. granatum* L.

L'analyse des composés bioactifs a été réalisée en mesurant les teneurs en composés phénoliques (TCP) et les teneurs totales en flavonoïdes (TTC) dans divers extraits de *P. granatum* L (cf. [Annexe](#)). Les résultats obtenus sont présentés dans le [Tableau III-3](#) ci-dessous.

Tableau III-3 : CPT et CFT dans les extraits d'écorces de *P. granatum* L.

| Extrait | Concentration ($\mu\text{g EAG/ mg Extrait}$) | TCP ($\mu\text{g EC/mg Extrait}$) | TTF ($\mu\text{g EC/mg Extrait}$) |
|----------|--|--|--|
| EAEG | | 274,55±0,05 | 14,25±0,05 |
| EHAEG | | 25,09±0,01 | 23,23±0,18 |
| EAEG-AE | | 317,88±0,01 | 48,43±0,01 |
| EHAEG-AE | | 166,36±0,03 | 72,89±0,02 |

Les analyses révèlent une variation notable des teneurs en composés bioactifs dans les différents extraits de *P. granatum* L.

III.6.3.1. Quantification des polyphénols totaux

La quantification des polyphénols totaux a été réalisée en suivant le protocole de Vermerris et Nicholson (2006) [39]. La méthode utilise le réactif Folin-Ciocalteu, qui contient

des acides phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Ces composés forment un complexe bleu, molybdène-tungstène, en présence de polyphénols, mesuré par une absorption à 725 nm. La couleur bleue produite est proportionnelle à la concentration de polyphénols dans les extraits.

Les analyses montrent que l'extrait aqueux fractionné par acétate d'éthyle (EAEG-AE) présente la plus haute concentration en polyphénols totaux, atteignant $317,88 \pm 0,01$ µg EAG/mg d'extrait. Cette variation peut être attribuée à l'efficacité de l'acétate d'éthyle pour concentrer les polyphénols. Toutefois, ces résultats diffèrent notablement de ceux rapportés par Doukani et al. (2018) [40], qui ont observé une teneur en polyphénols de 412,5 mg EAG/100 g dans les extraits méthanoliques de *P. granatum* L. obtenus par macération. Par ailleurs, Lairini et al. (2014) [41] ont déterminé que l'extrait aqueux de l'écorce de *P. granatum*, préparé par infusion, contenait 18 mg EAG/g d'extrait. De plus, Kaci-Meziane et al. (2017) [42] ont constaté que l'extrait éthanolique obtenu après une macération de 24 heures renfermait 892,56 mg EAG/g d'extrait de polyphénols, en plus d'une concentration notable de flavonoïdes.

III.6.3.2. Quantification des flavonoïdes totaux

La quantification des flavonoïdes totaux a été effectuée en utilisant la méthode décrite par Ardestani et Yazdanparast (2007) [43]. Cette technique repose sur la formation d'un complexe jaune entre les flavonoïdes et le trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$). Ce complexe devient rose en présence de soude (NaOH) et est mesuré par une absorption à 510 nm. La couleur résultante est proportionnelle à la concentration de flavonoïdes.

L'extrait hydroalcoolique fractionné par acétate d'éthyle (EHAEG-AE) a montré la plus haute teneur en flavonoïdes totaux, avec $72,89 \pm 0,02$ µg EC/mg d'extrait. Cette teneur élevée pourrait s'expliquer par l'affinité de l'acétate d'éthyle pour les flavonoïdes. En comparaison, les études de Doukani et al. (2018) [40] ont trouvé des teneurs en flavonoïdes de 169 mg EQ/g d'extrait méthanolique de *P. granatum* L.

Ces résultats mettent en évidence l'importance du choix du solvant et des conditions d'extraction pour maximiser la concentration de composés bioactifs. En termes de concentration en composés polyphénoliques, le classement des extraits est le suivant : EAEG-AE > EAEG > EHAEG-AE > EHAEG. Pour les flavonoïdes, le classement est : EHAEG-AE > EAEG-AE > EHAEG > EAEG. La variabilité observée dans les teneurs en polyphénols et flavonoïdes peut être attribuée à divers facteurs, tels que la région de récolte, la méthode et la durée d'extraction, ainsi que la variété de la plante. Ces variations soulignent la nécessité de sélectionner soigneusement les conditions d'extraction pour optimiser la récupération de composés bioactifs et, par conséquent, leur efficacité potentielle dans des applications antioxydantes.

III.6.4. Évaluation des activités antioxydantes dans les extraits de *P. granatum* L.

L'évaluation des activités antioxydantes a été réalisée en utilisant deux méthodes complémentaires : le test de piégeage du radical DPPH et le pouvoir réducteur de fer (FRAP) (cf. Annexe). Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau III-4 ci-contre et illustrés par les courbes fournies (cf. Figures III-6 et III-7).

III.6.4.1. Test de piégeage du radical DPPH

Le DPPH (2,2-diphényl-1-picryl-hydrazyl) est un radical libre violet couramment utilisé pour évaluer l'activité antiradicalaire des extraits de plantes. Lorsqu'il est réduit par un antioxydant, il se transforme en un complexe jaune, diminuant ainsi l'absorbance proportionnellement à la capacité antioxydante des extraits [44,45].

Les résultats du piégeage du radical DPPH indiquent que les extraits de *P. granatum* L. présentent une activité antiradicalaire variable, comme le montre le Tableau III-4 et la Figure III-6 ci-dessous :

Tableau III-4 : Activités antioxydantes (DPPH et FRAP) des extraits de *P. granatum* L.

| Extrait | Méthode | DPPH | FRAP |
|----------|---------|--------------------------|--------------------------|
| | | IC ₅₀ (µg/mL) | EC ₅₀ (µg/mL) |
| EAEG | | 719,75±0,00 | 113,00±0,05 |
| EHAEG | | 1162,32±0,01 | 101,00±0,01 |
| EAEG-AE | | 325,74±0,01 | 386,92±0,05 |
| EHAEG-AE | | 80,51±0,03 | 45,00±0,03 |

Les résultats du piégeage du radical DPPH ont montré que les extraits préparés à partir des écorces de *P. granatum* L. présentent une bonne activité anti-radicalaire. L'extrait hydroalcoolique fractionné par acétate d'éthyle (EHAEG-AE) a montré la plus faible valeur IC₅₀ de 80,51 ± 0,03 µg/mL, indiquant la meilleure activité antioxydante. Ce résultat est comparativement supérieur à celui de plusieurs études. Par exemple, Bekir et al. (2013) [46] ont trouvé une IC₅₀ de 2,86 ± 0,09 mg/L pour l'extrait méthanolique des feuilles de *P. granatum* L. obtenu par macération. Zeghad et al. (2019) [47] ont révélé une activité anti-radicalaire de l'extrait hydroalcoolique avec une IC₅₀ de 0,600 ± 0,003 mg/mL, montrant une meilleure activité antioxydante que certains des extraits étudiés ici, avec une IC₅₀ de 1162,32 ± 0,01 µg/mL pour l'extrait hydroalcoolique. Chukwuma et al., (2020) [48] ont obtenu une IC₅₀ de 4,08 µg/mL pour l'extrait aqueux. La variation des résultats peut être attribuée aux différences dans les méthodologies d'extraction et les conditions expérimentales.

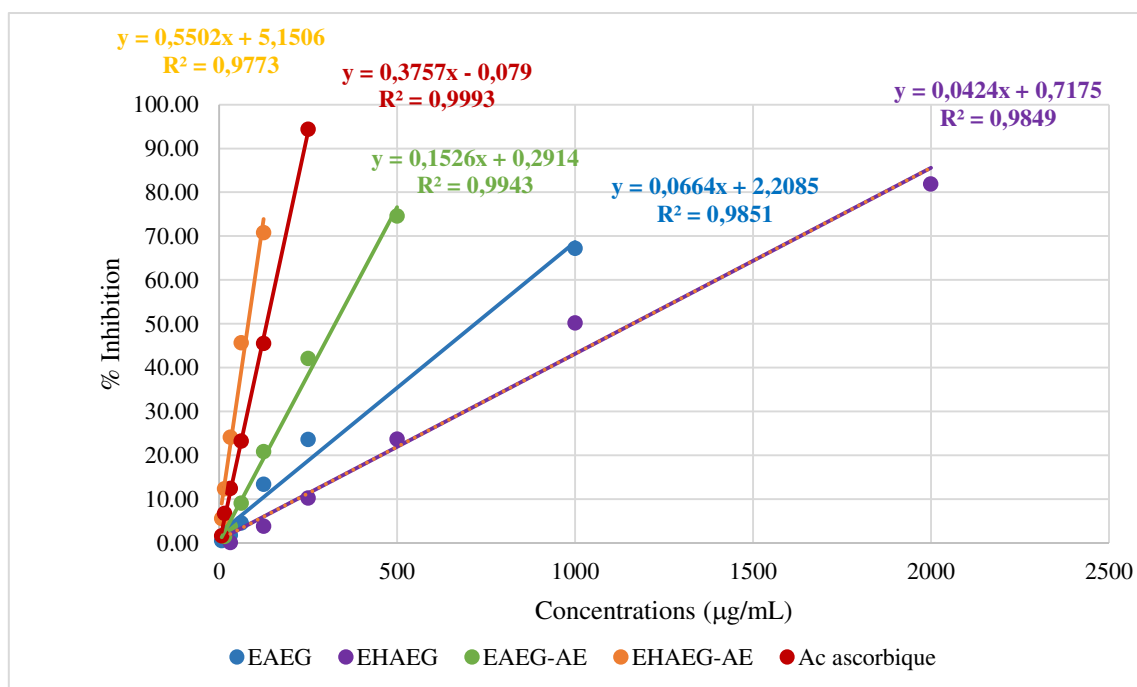


Figure III-6 : % d'inhibition du DPPH en fonction des différentes concentrations de l'acide ascorbique et des extraits préparés de *P. granatum* L.

III.6.4.2. Pouvoir réducteur de fer (FRAP)

Le pouvoir réducteur de fer (FRAP) mesure la capacité des extraits à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}), ce qui est indicatif de leur potentiel antioxydant [49]. Cette méthode repose sur la formation d'un complexe bleu-vert dont l'absorbance augmente avec l'activité réductrice des extraits.

Le [Tableau III-4](#) et la [Figure III-7](#) montrent que le pouvoir réducteur de fer (FRAP) de l'extrait hydroalcoolique fractionné par acétate d'éthyle (EHAEG-AE) possède la plus petite EC_{50} de $45,00 \pm 0,03$ µg/mL, indiquant l'activité antioxydante la plus élevée parmi les extraits étudiés. Ce résultat est meilleur que celui observé par Zeghad et al. (2019) [47] qui ont obtenu une IC_{50} de $2,61 \pm 0,02$ mg/mL pour un extrait méthanolique. Chukwuma et al., (2020) [48] ont trouvé une EC_{50} de 467 ± 13 mg/g pour un extrait aqueux. Les différences de résultats peuvent être expliquées par les variations dans la teneur en composés phénoliques des extraits, les méthodes d'extraction utilisées et les conditions de réaction.

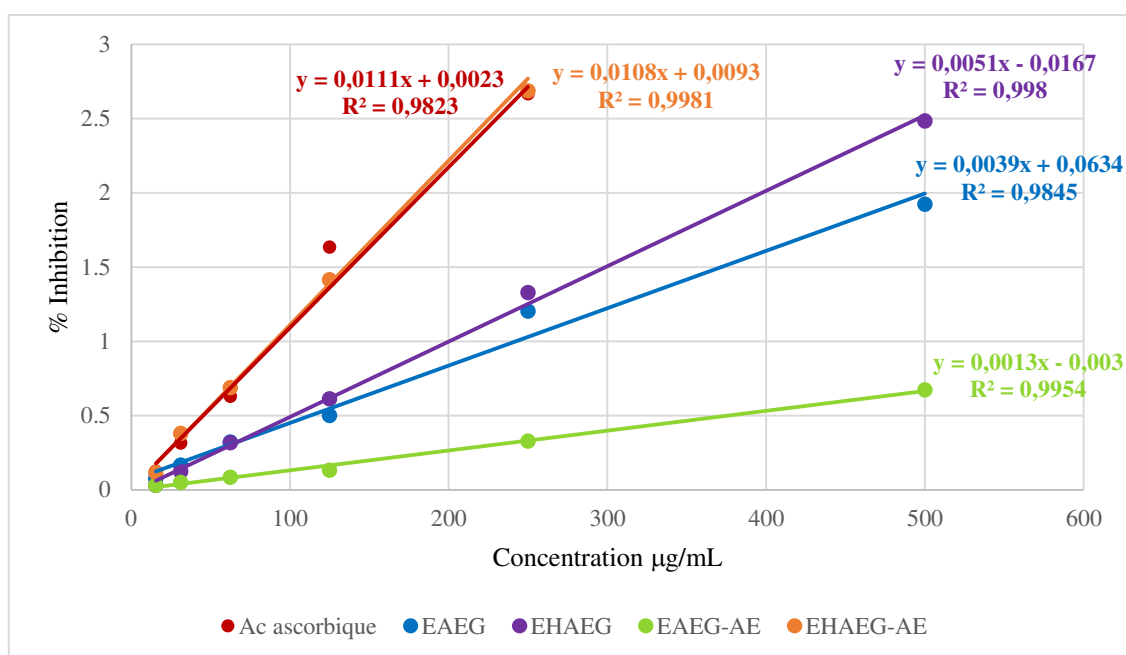


Figure III-7 : Pouvoir réducteur de l'acide ascorbique et des extraits préparés de *P. granatum* L.

Les différents extraits de *P. granatum* L. ont démontré des capacités antioxydantes variables en fonction des méthodes DPPH et FRAP. L'extrait EHAEG-AE a montré les meilleures performances antioxydantes pour les deux tests, avec les plus faibles valeurs d'IC₅₀ et d'EC₅₀, respectivement.

En termes d'activité antioxydante décroissante, le classement des extraits est le suivant : EHAEG-AE > EAEG-AE > EAEG > EHAEG. Ce classement reflète la concentration et l'efficacité des composés phénoliques et flavonoïdes présents dans chaque extrait, avec l'acétate d'éthyle jouant un rôle crucial dans l'optimisation de l'extraction de ces composés bioactifs. Ces résultats soulignent l'importance des conditions d'extraction et du choix du solvant pour maximiser la concentration de composés bioactifs et l'efficacité antioxydante des extraits de *P. granatum* L. La présence significative de composés phénoliques et flavonoïdes dans ces extraits confirme leur potentiel en tant qu'antioxydants naturels pour lutter contre le stress oxydatif.

III.6.5. Sélection de l'extrait de *P. granatum* L. pour une utilisation comme écran solaire naturel

L'étude des extraits de *P. granatum* L. a révélé des différences significatives dans leurs propriétés antioxydantes et leur teneur en composés bioactifs, en fonction des méthodes d'extraction et des solvants utilisés. Pour sélectionner le meilleur extrait destiné à être utilisé comme écran solaire naturel dans les crèmes, plusieurs critères scientifiques doivent être pris en compte, notamment la concentration en composés bioactifs, l'activité antioxydante, et la facilité de préparation et d'utilisation du produit final.

Les analyses ont montré que l'extrait aqueux fractionné par acétate d'éthyle (EAEG-AE) présentait la plus haute concentration en polyphénols totaux ($317,88 \pm 0,01 \mu\text{g EAG/mg}$ d'extrait) et une teneur élevée en flavonoïdes ($48,43 \pm 0,01 \mu\text{g EC/mg}$ d'extrait). Cependant, l'EHAEG-AE a démontré les meilleures performances antioxydantes avec les plus faibles valeurs d' IC_{50} et d' EC_{50} dans les tests DPPH et FRAP, respectivement.

Malgré ces résultats prometteurs pour les extraits fractionnés par acétate d'éthyle, le choix s'est porté sur l'extrait aqueux non fractionné (EAEG) pour plusieurs raisons scientifiques et pratiques. Premièrement, l'EAEG présente une concentration en polyphénols de $274,55 \pm 0,054 \mu\text{g EAG/mg}$ d'extrait et une teneur en flavonoïdes de $14,25 \pm 0,053 \mu\text{g EC/mg}$ d'extrait, ce qui, bien que légèrement inférieur aux extraits fractionnés, reste substantiel et suffisant pour une activité antioxydante efficace. L'EAEG a également montré une activité antioxydante notable avec une IC_{50} de $719,75 \pm 0,00 \mu\text{g/mL}$ et une EC_{50} de $113,00 \pm 0,05 \mu\text{g/mL}$. Deuxièmement, l'utilisation de l'extrait aqueux présente des avantages considérables par rapport aux extraits fractionnés par acétate d'éthyle. La préparation de l'extrait aqueux est plus simple, plus sûre et moins coûteuse, car elle évite l'utilisation de solvants organiques potentiellement toxiques et nécessitant une manipulation plus complexe. De plus, l'extrait aqueux est plus compatible avec les formulations cosmétiques, réduisant le risque d'irritation cutanée et augmentant la stabilité du produit final. Enfin, l'utilisation d'extraits aqueux est plus respectueuse de l'environnement, alignée avec les principes de la chimie verte et de la durabilité, ce qui est un argument de poids dans le développement de produits cosmétiques naturels.

Bien que les extraits fractionnés par acétate d'éthyle montrent une efficacité antioxydante supérieure, l'EAEG est recommandé pour une utilisation comme écran solaire naturel dans les crèmes. Ce choix est justifié par sa teneur suffisante en composés bioactifs, sa facilité de préparation, sa sécurité d'utilisation et sa compatibilité avec les formulations cosmétiques, ainsi que par ses avantages environnementaux et économiques. Ces caractéristiques font de l'extrait aqueux un excellent candidat pour protéger la peau contre les dommages causés par le stress oxydatif induit par les rayons UV, tout en répondant aux attentes des consommateurs en matière de produits naturels et durables.

III.6.6. Formulation des crèmes solaires: Définition, composition chimique et constituants

Les crèmes solaires sont des produits topiques appliqués sur la peau pour protéger contre les effets nocifs des UV du soleil. Elles jouent un rôle essentiel dans la prévention des coups de soleil, du vieillissement prématuré de la peau et du cancer cutané. La formulation de ces produits nécessite une compréhension approfondie des mécanismes d'absorption et de réflexion des rayons UV, ainsi que des interactions entre les divers constituants chimiques.

III.6.6.1. Définition et importance des crèmes solaires

Les crèmes solaires sont des formulations cosmétiques conçues pour absorber ou réfléchir les rayons UV, réduisant ainsi la quantité de rayonnement qui atteint les couches profondes de la peau. Elles sont classées selon leur facteur de protection solaire (FPS), qui mesure leur efficacité à protéger contre les rayons UVB, responsables des coups de soleil. Un FPS plus élevé indique une meilleure protection.

III.6.6.2. Composition chimique des crèmes solaires

La composition chimique des crèmes solaires est complexe et comprend plusieurs types de constituants, chacun jouant un rôle spécifique dans la protection UV et la stabilité du produit. Les principaux constituants sont les filtres UV, les agents hydratants, les antioxydants, les agents de texture, et les conservateurs.

a) Filtres UV

- *Filtres UV inorganiques*: Ce sont des minéraux tels que l'oxyde de zinc (ZnO) et le dioxyde de titane (TiO₂), qui agissent en réfléchissant et en dispersant les rayons UV. Ils sont efficaces contre les UVB et une partie des UVA [48].
- *Filtres UV organiques*: Ce sont des composés chimiques comme l'octocrylène, l'avobenzone et l'oxybenzone, qui absorbent les rayons UV et les convertissent en chaleur inoffensive. Ils offrent une large couverture UV mais peuvent être photo-instables sans l'ajout de stabilisants [50].

b) Agents hydratants

- Les humectants tels que la glycérine, le propylène glycol et l'acide hyaluronique sont ajoutés pour maintenir l'hydratation de la peau, prévenant ainsi la sécheresse induite par l'exposition solaire [51].

c) Antioxydants

- Les antioxydants comme la vitamine E (tocophérol) et la vitamine C (acide ascorbique) neutralisent les radicaux libres générés par les UV, réduisant ainsi les dommages oxydatifs à la peau [52]. Des extraits naturels comme ceux de *P. granatum* L. ont également démontré des propriétés antioxydantes significatives [53].

d) Agents de texture

- Ces agents incluent des émulsifiants et des épaississants tels que les silicones, les cires et les polymères qui donnent à la crème sa consistance et facilitent son application uniforme sur la peau [54].

e) Conservateurs

- Les conservateurs comme les parabènes, le phénoxyéthanol et les dérivés de formaldéhyde sont ajoutés pour empêcher la contamination microbienne et prolonger la durée de vie du produit [55].

III.6.6.3. Formulation optimale pour une crème solaire efficace

La formulation d'une crème solaire efficace nécessite un équilibre entre les filtres UV, les agents hydratants, les antioxydants, et les agents de texture. La stabilité des filtres UV organiques doit être assurée par des stabilisants appropriés pour maintenir leur efficacité sous l'exposition solaire prolongée. Les agents hydratants et les antioxydants doivent être choisis pour leurs capacités à protéger la peau des dommages causés par les UV et à maintenir son hydratation. Les agents de texture doivent être sélectionnés pour garantir une application agréable et uniforme, sans laisser de résidu blanc ou gras.

Il est crucial de noter que la sélection des extraits de plantes comme antioxydants naturels peut améliorer les propriétés bénéfiques des crèmes solaires. Par exemple, les extraits de *P. granatum* L., riches en composés phénoliques et flavonoïdes, ont montré des capacités antioxydantes élevées, aidant à prévenir le stress oxydatif induit par les rayons UV.

La formulation des crèmes solaires repose sur une compréhension détaillée des mécanismes de protection UV, la sélection judicieuse des constituants chimiques, et l'équilibre entre efficacité et acceptabilité cosmétique. L'inclusion d'antioxydants naturels comme les extraits de *P. granatum* L. peut offrir une protection supplémentaire contre le stress oxydatif induit par les UV, faisant des crèmes solaires des produits essentiels pour la santé et la protection de la peau.

III.6.6.4. Mode opératoire standard pour la préparation d'une crème solaire

La préparation d'une crème solaire nécessite une méthodologie rigoureuse pour garantir son efficacité, sa stabilité et sa sécurité d'utilisation. Le processus inclut la sélection des ingrédients, la formulation, la phase de mélange, et l'incorporation des actifs. Voici un mode opératoire standard basé sur les pratiques courantes et les recherches récentes dans le domaine [56-58].

La formulation commence par la préparation de deux phases distinctes (cf. [Figure III-8](#)) : la phase huileuse et la phase aqueuse.

La phase huileuse, constituée de 8 % d'huile d'olive, 3 % de beurre de karité, 5 % d'huile de noix de coco, 6 % de cire d'abeille et 4 % de glycérine, est chauffée à 70 °C pour obtenir un mélange homogène. La phase aqueuse, comprenant 10 % d'eau distillée et 5 % d'*Aloe vera*, est également chauffée à 70 °C. Une fois les deux phases à la même température, la phase huileuse

est ajoutée lentement à la phase aqueuse tout en mélangeant vigoureusement pour obtenir une émulsion stable. L'ajout de 8 % d'oxyde de zinc, en tant que filtre UV minéral, est effectué progressivement pour éviter la formation de grumeaux. La crème est ensuite refroidie à température ambiante en continuant le mélange pour maintenir l'homogénéité. Lorsqu'elle atteint environ 40 °C, 1 % de vitamine E et 0,5 % d'extrait de *P. granatum* L. sont ajoutés pour leurs propriétés antioxydantes, suivis de 0,2 % de conservateur pour garantir la stabilité microbiologique du produit final. La crème solaire ainsi obtenue est conditionnée dans des contenants stériles et hermétiques. Elle est ensuite soumise à des tests de stabilité et d'efficacité pour s'assurer qu'elle offre une protection adéquate contre les rayons UV tout en conservant ses propriétés sur une période prolongée.

Cette méthode de préparation standard garantit que la crème solaire est non seulement efficace contre les UV, mais aussi bénéfique pour la peau grâce à l'ajout d'ingrédients naturels et de composés antioxydants. Le respect strict des températures, des proportions et des conditions d'ajout des ingrédients est crucial pour obtenir un produit de haute qualité conforme aux normes de sécurité et d'efficacité.

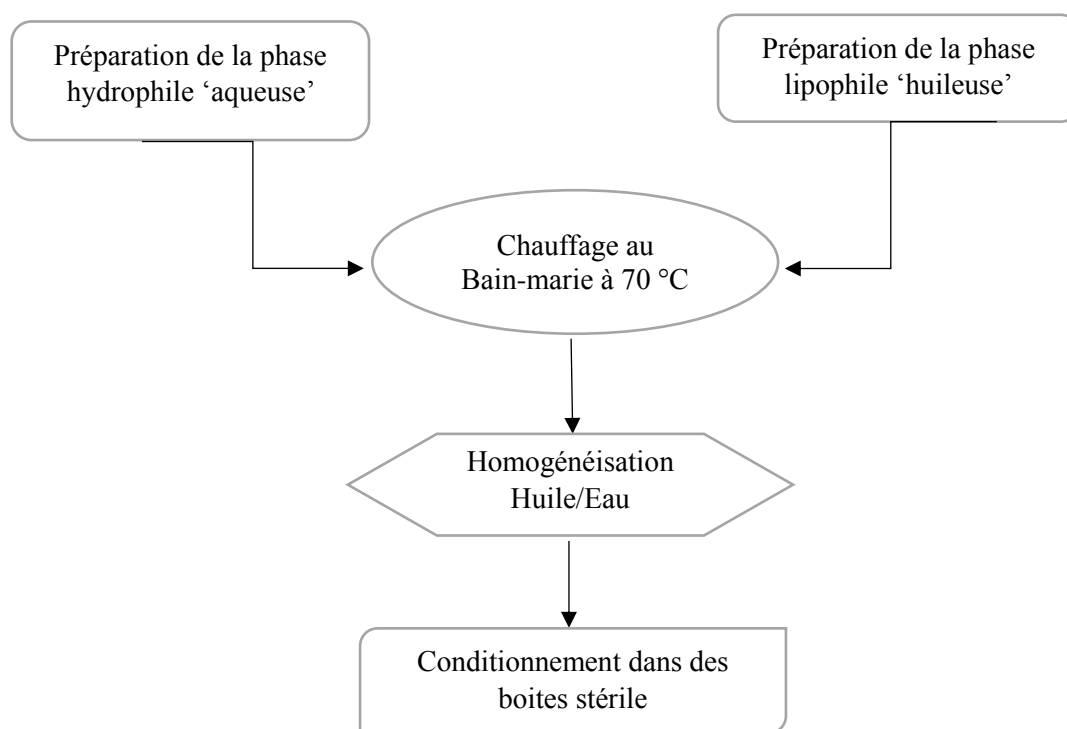


Figure III-8 : Schéma illustrant la formulation de la crème.

- **Méthode utilisée et résultats obtenus** : Formulation de crèmes solaires : Huile de paraffine et huile de sésame

Plusieurs essais ont été réalisés en utilisant différents types d'huiles, notamment l'huile de paraffine et l'huile de sésame, en variant les ingrédients pour optimiser les formulations. La préparation de crèmes solaires à base d'huile de paraffine utilise cette huile minérale en tant que phase huileuse, avec une valeur HLB de 8,75. L'huile de paraffine est non toxique, non irritante et reste en surface pour former une barrière protectrice sur l'épiderme, avec une valeur HLB de 10,5 [59]. La phase aqueuse est composée d'eau distillée. Pour stabiliser l'émulsion, les émulsifiants non ioniques Span® 80 (HLB = 4,3) et Tween® 80 (HLB = 15) sont incorporés à hauteur de 5% (m/m) [60]. Span® 80 se présente sous forme de liquide visqueux, tandis que Tween® 80, un émulsifiant hydrophile riche en acides gras, peut également modifier la viscosité de la préparation. La gomme xanthane est utilisée comme viscosifiant pour obtenir une texture crémeuse et améliorer l'adaptabilité de la crème à l'utilisation ; il s'agit d'une gomme naturelle hydrosoluble couramment utilisée dans les cosmétiques comme stabilisant et épaississant [61]. Un humectant est ajouté pour créer un film hydratant sur l'épiderme, favorisant l'onctuosité et l'uniformité de la préparation tout en la préservant du dessèchement [62]. Le propylène glycol est utilisé pour solubiliser le principe actif dans la phase aqueuse.

La formulation de crèmes solaires à base d'huile de sésame mise sur les propriétés distinctives de cette huile, qui présente une texture fluide, une couleur jaune pâle ou orangée, et une odeur légère et plaisante. L'huile de sésame est facilement absorbée par la peau et offre des propriétés régénérantes, antioxydantes et cicatrisantes sans laisser de film gras [63]. Sa capacité à prévenir la déshydratation et ses propriétés apaisantes et adoucissantes motivent son utilisation dans les industries cosmétique et pharmaceutique comme huile porteuse pour substances liposolubles [64]. Avec une valeur HLBm de 7, l'huile de sésame est intégrée à la formulation pour maximiser ses bienfaits hydratants et protecteurs. En comparaison avec l'huile de paraffine, l'huile de sésame se distingue par son absorption supérieure et ses propriétés thérapeutiques additionnelles, faisant d'elle un choix judicieux pour les formulations de crèmes solaires visant une protection efficace et un soin de la peau amélioré.

III.6.7. Évaluation de la stabilité et de l'efficacité des crèmes solaires contre les rayons UV

Les tests de stabilité et d'efficacité sont essentiels pour garantir que les crèmes solaires offrent une protection adéquate contre les rayons UV. Ces tests sont cruciaux non seulement pour valider l'efficacité de la formulation mais aussi pour assurer la sécurité des utilisateurs.

III.6.7.1. Tests de stabilité

La stabilité d'une crème solaire doit être évaluée pour s'assurer que ses ingrédients actifs restent efficaces tout au long de sa durée de vie. Les principaux tests de stabilité incluent :

- a) Tests de stabilité physico-chimique : Ces tests évaluent les changements dans les propriétés physico-chimiques de la crème, tels que le pH, la viscosité, la couleur, et l'odeur, lorsqu'elle est exposée à différentes conditions environnementales (température, humidité, lumière) [60]. Ces conditions extrêmes permettent de prédire la durée de vie du produit sous des conditions normales d'utilisation.
- b) Tests de stabilité microbiologique : La stabilité microbiologique est vérifiée pour s'assurer que la crème solaire ne favorise pas la croissance microbienne, ce qui pourrait compromettre son efficacité et sa sécurité. Des conservateurs sont souvent ajoutés pour prévenir cette croissance, et leur efficacité doit être testée régulièrement [61].
- c) Tests de photostabilité : La photostabilité des filtres UV contenus dans les crèmes solaires est critique, car l'exposition aux rayons UV ne doit pas dégrader ces filtres. Des tests *in vitro* et *in vivo* sont effectués pour vérifier que les filtres UV restent stables et efficaces lorsqu'exposés à la lumière solaire [62].

III.6.7.2. Tests d'efficacité

Pour garantir une protection adéquate contre les UV, plusieurs tests d'efficacité sont réalisés :

- a) Facteur de protection solaire (FPS) : Le FPS mesure la capacité de la crème solaire à protéger la peau des coups de soleil causés par les UVB. Les tests *in vitro* et *in vivo* sont utilisés pour déterminer le FPS, en utilisant des protocoles standardisés. Le test *in vivo* implique l'exposition de la peau humaine à une source de rayons UV contrôlée et la mesure de l'érythème (rougeur) résultant [65].
- b) Protection UVA : En plus du FPS, qui mesure principalement la protection contre les UVB, il est crucial de tester l'efficacité de la crème solaire contre les UVA. Les UVA pénètrent plus profondément dans la peau et sont responsables du vieillissement prématuré et de certains types de cancers de la peau. Des méthodes telles que le test *in vitro* utilisant un spectrophotomètre pour mesurer l'absorption des UVA par le produit sont couramment utilisées [64].
- c) Test de résistance à l'eau : La résistance à l'eau est une caractéristique importante des crèmes solaires. Les tests évaluent combien de temps la protection solaire est maintenue après une immersion dans l'eau, généralement après des périodes de 40 ou 80 minutes. Ces tests sont essentiels pour les produits destinés à des activités aquatiques [66].

- d) Tests de phototoxicité et de sensibilisation : La phototoxicité et la sensibilisation cutanée sont testées pour s'assurer que la crème solaire ne provoque pas de réactions indésirables lorsqu'elle est exposée au soleil. Ces tests incluent des évaluations sur des volontaires humains et des modèles in vitro pour garantir la sécurité du produit [67].

III.6.7.3. Tests réalisés: Résultats & interprétations

- **Analyse sensorielle** : L'apparence, la couleur, l'aspect et l'odeur ont été évalués pour chaque formulation. Après une période de 24 heures à température ambiante, aucune séparation des phases n'a été observée, et toutes les préparations ont présenté une couleur crèmeuse teintée claire, confirmant leur homogénéité et leur stabilité sensorielle.



Figure III-9 : Illustration de l'analyse sensorielle.

- **Test d'homogénéité** : L'homogénéité des différentes formulations de crème a été rigoureusement évaluée. L'observation visuelle et le test tactile ont confirmé une distribution uniforme des extraits dans chaque échantillon. Aucune séparation de phase ni agrégation n'a été détectée, démontrant ainsi une répartition cohérente des ingrédients à travers toutes les préparations. Cette uniformité garantit une efficacité constante des crèmes solaires, assurant une protection homogène contre les rayons UV et une application lisse et confortable pour les utilisateurs [66].

- **Test de précipitation par centrifugation** : Pour évaluer la stabilité physique des émulsions, deux séries de tests de centrifugation ont été réalisées. Tout d'abord, chaque échantillon pesant 1 g a été centrifugé à 300 tours/minute pendant 30 minutes, permettant ainsi d'obtenir des informations rapides sur la tendance à la séparation des phases dans les formulations. L'absence de précipitation après cette centrifugation indique une bonne stabilité des émulsions, confirmant ainsi la qualité des formulations préparées. Ensuite, des tests supplémentaires ont été effectués à des vitesses plus élevées, à savoir 1000 et 2000 tr/min pendant 10 minutes. Malgré ces contraintes mécaniques élevées, aucune séparation des phases n'a été observée, démontrant la robustesse des formulations et leur capacité à maintenir leur homogénéité même sous des conditions plus rigoureuses de centrifugation.



Figure III-10 : Aspect général de la crème préparée.

- **Le facteur de protection solaire (SPF)** : Il a été déterminé pour évaluer l'efficacité des crèmes solaires formulées. Cette évaluation a été réalisée en utilisant une spectrophotométrie UV. Chaque échantillon (400 mg) a été dissous dans 25 mL d'éthanol, et une courbe d'absorption a été enregistrée dans la plage de longueurs d'onde de 290 à 320 nm, avec un intervalle de 5 nm [68]. La valeur de l'indice d'effet érythémogène (EE) multipliée par l'intensité solaire (I) est restée constante. Les données d'absorbance ont été traitées à l'aide de l'équation de Mansur [69], permettant ainsi de calculer le facteur de protection solaire SPF. Les résultats obtenus ont révélé un SPF d'environ 60 pour les crèmes solaires testées.

- **Le pH de la solution de l'échantillon de l'écran solaire** : Il a été évalué afin de garantir sa compatibilité avec une utilisation sur la peau. Pour ce faire, une quantité de 1 g de l'échantillon a été diluée avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre un volume de 10 mL. Après avoir assuré une homogénéisation adéquate, le pH de la solution a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre. Les résultats ont indiqué un pH de 5,21, conforme aux normes établies pour une utilisation cutanée.

- **Le sens de l'émulsion** : La nature de l'émulsion a été déterminée à l'aide de la méthode des colorants. Une goutte de colorant hydrophile, le « bleu de méthylène », et un colorant lipophile, le « rouge de soudan », ont été ajoutés à l'émulsion. La diffusion des colorants a permis de vérifier si l'émulsion était de type huile/eau (H/E) ou eau/huile (E/H). Les résultats ont montré que le colorant hydrophile se propage uniformément, tandis que le colorant lipophile reste dispersé dans les gouttelettes d'huile, confirmant ainsi que la crème est à base d'émulsion huile/eau [70].

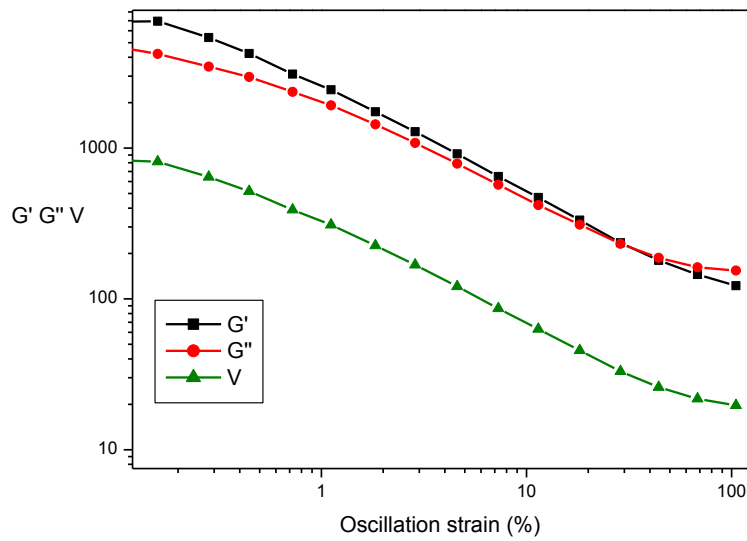


Figure III-13 : Courbe de balayage d'amplitude.

G' : module de stockage G'' : module de perte visqueux V : viscosité

- Balayage temporel

Le balayage temporel examine la variation de la viscosité en fonction du temps, mesurée en secondes. Ce test évalue la stabilité de la crème au cours du temps. Les résultats ont démontré que la crème solaire à base de plantes maintient une viscosité stable, indiquant une bonne résistance aux changements de viscosité sur des périodes prolongées.

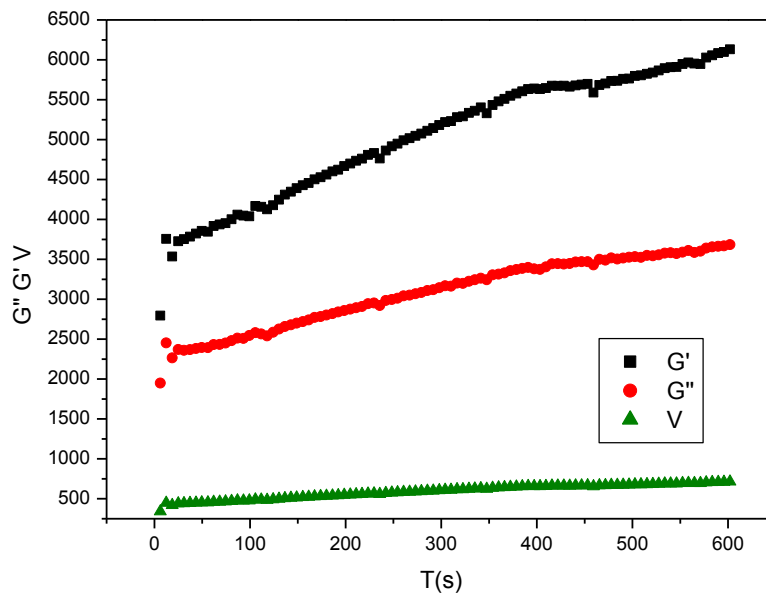


Figure III-14 : Courbe illustrant le balayage temporel.

- Oscillation de fréquence

L'oscillation de fréquence révèle que, lorsque la fréquence angulaire augmente, la viscosité diminue, ce qui indique un comportement rhéofluidifiant. Cette caractéristique signifie que la crème devient moins visqueuse sous l'effet de cisaillements fréquents, ce qui facilite son étalement sur la peau. Les tests ont montré que la crème présente un comportement rhéofluidifiant avec l'augmentation du temps de cisaillement, tout en restant stable à une température ambiante de 37 °C. De plus, la crème affiche un comportement élastique plus marqué que visqueux, indiquant une facilité d'étalement optimale, essentielle pour une application uniforme et efficace sur la peau.

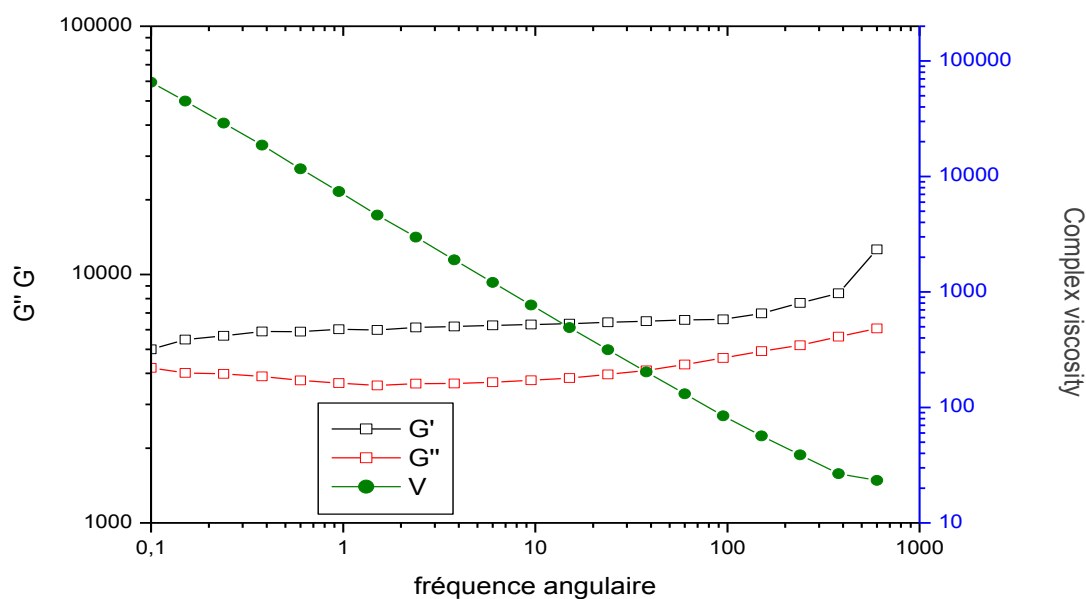


Figure III-15 : Courbe d'oscillation de fréquence.

III.7. Conclusion

Les recherches ont montré que les extraits de *P. granatum* L., notamment ceux obtenus par extraction hydroalcoolique, sont riches en polyphénols et flavonoïdes, et présentent une activité antioxydante significative. Les crèmes solaires formulées à partir de l'extrait aqueux EAEG ont démontré une excellente stabilité, un comportement rhéofluidifiant adéquat, un pH optimal et une protection solaire efficace, soulignant leur efficacité protectrice contre les UV. Ces résultats prometteurs suggèrent que les extraits de grenade, surtout ceux à base d'eau, peuvent être utilisés pour développer des produits solaires naturels. Les futures recherches devraient se concentrer sur l'optimisation des méthodes d'extraction, les évaluations in vivo, et le développement de produits complémentaires pour maximiser les avantages de ces composés bioactifs dans les soins de la peau.

Références

- [1] Coelho, S. G., Rua, D., Miller, S. A., & Agrawal, A. (2020). Suboptimal UVA attenuation by broad spectrum sunscreens under outdoor solar conditions contributes to lifetime UVA burden. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 36, 42-52. <https://doi.org/10.1111/phpp.12520>
- [2] Wang, P. W., Hung, Y. C., Lin, T. Y., Fang, J. Y., Yang, P. M., Chen, M. H., & Pan, T. L. (2019). Comparison of the biological impact of UVA and UVB upon the skin with functional proteomics and immunohistochemistry. *Antioxidants*, 8(12), 569. <https://doi.org/10.3390/antiox8120569>
- [3] Michalak, M. (2023). Plant extracts as skin care and therapeutic agents. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(20), 15444. <https://doi.org/10.3390/ijms242015444>
- [4] Chang, W. L., Lee, W. R., Kuo, Y. C., & Huang, Y. H. (2021). Vitiligo: An autoimmune skin disease and its immunomodulatory therapeutic intervention. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9, 797026. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.797026>
- [5] Korkina, L., Kostyuk, V., Potapovich, A., Mayer, W., Talib, N., & De Luca, C. (2018). Secondary plant metabolites for sun protective cosmetics: From pre-selection to product formulation. *Cosmetics*, 5(2), 32. <https://doi.org/10.3390/cosmetics5020032>
- [6] Parisi, A. V., Igoe, D., Downs, N. J., Turner, J., Amar, A., & Jebar, M. A. (2021). Satellite monitoring of environmental solar ultraviolet A (UVA) exposure and irradiance: A review of OMI and GOME-2. *Remote Sensing*, 13(4), 752. <https://doi.org/10.3390/rs13040752>
- [7] Michalak, M., Zagórska-Dziok, M., Klimek-Szczykutowicz, M., & Szopa, A. (2023). Phenolic profile and comparison of the antioxidant, anti-ageing, anti-inflammatory, and protective activities of *Borago officinalis* extracts on skin cells. *Molecules*, 28(2), 868. <https://doi.org/10.3390/molecules28020868>
- [8] Koch, W., Zagórska, J., Marzec, Z., & Kukula-Koch, W. (2019). Applications of tea (*Camellia sinensis*) and its active constituents in cosmetics. *Molecules*, 24(23), 4277. <https://doi.org/10.3390/molecules24234277>
- [9] Grether-Beck, S., Marini, A., Jaenicke, T., & Krutmann, J. (2016). French maritime pine bark extract (Pycnogenol®) effects on human skin: Clinical and molecular evidence. *Skin Pharmacology and Physiology*, 29(1), 13-17. <https://doi.org/10.1159/000441225>
- [10] Ebrahimzadeh, M. A., Enayatifard, R., Khalili, M., Ghaffarloo, M., Saeedi, M., & Yazdani Charati, J. (2014). Correlation between sun protection factor and antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some medicinal plants. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 13(3), 1041-1047. <https://doi.org/10.22037/ijpr.2014.1530>

- [11] Dixon, R. A., & Dickinson, A. J. (2024). A century of studying plant secondary metabolism—From “what?” to “where, how, and why?”. *Plant Physiology*, 195(1), 48–66. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad596>
- [12] Torres-Contreras, A. M., Garcia-Baeza, A., Vidal-Limon, H. R., Balderas-Renteria, I., Ramirez-Cabrera, M. A., & Ramirez-Estrada, K. (2022). Plant secondary metabolites against skin photodamage: Mexican plants, a potential source of UV-radiation protectant molecules. *Plants*, 11(2), 220. <https://doi.org/10.3390/plants11020220>
- [13] Guo, L., Hsu, C., & Lio, P. (2024). Sunscreens: What might the future hold?. *Journal of Integrative Dermatology*. <https://doi.org/10.1097/JID.0000000000000001>
- [14] Li, L., Chong, L., Huang, T., Ma, Y., Li, Y., & Ding, H. (2023). Natural products and extracts from plants as natural UV filters for sunscreens: A review. *Animal Models and Experimental Medicine*, 6, 183-195. <https://doi.org/10.1002/ame2.12295>
- [15] Kale, S., Sonawane, A., Ansari, A., Ghoge, P., & Waje, A. (2010). Formulation and in-vitro determination of sun protection factor of *Ocimum basilicum*, Linn. leaf oils sunscreen cream. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2, 147-149. <https://doi.org/10.22159/ijpps.2010.v2i4.324>
- [16] Kale, S., Kulkarni, K. S., & Gajare, G. (2014). Formulation and in vitro evaluation for sun protection factor for oil from resin of *Commiphora mukul* sunscreen cream. *International Journal of Pharmaceutical and Biological Science Archive*, 4(2), 182-188. <https://doi.org/10.22159/ijpbs.2014.v4i2.502>
- [17] Arianto, A., Cella, G., & Bangun, H. (2019). Preparation and evaluation of sunscreen nanoemulsions with synergistic efficacy on SPF by combination of soybean oil, avobenzone, and octyl methoxycinnamate. *Journal of Medical Sciences*, 7(17), 2751-2756. <https://doi.org/10.3923/jms.2019.2751.2756>
- [18] Eid, A. M., Elmarzugi, N. A., Abu Ayyash, L. M., Sawafta, M. N., & Daana, H. I. (2017). A review on the cosmeceutical and external applications of *Nigella sativa*. *Journal of Tropical Medicine*, 2017, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2017/4298370>
- [19] Zanatta, C. F., Mitjans, M., Urgatondo, V., Rocha-Filho, P. A., & Vinardell, M. P. (2010). Photoprotective potential of emulsions formulated with Buriti oil (*Mauritia flexuosa*) against UV irradiation on keratinocytes and fibroblasts cell lines. *Food and Chemical Toxicology*, 48(1), 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.09.026>
- [20] Păduraru, D. N., Coman, F., Ozon, E. A., Gherghiceanu, F., Andronic, O., Ion, D., & al. (2019). The use of nutritional supplement in Romanian patients – attitudes and beliefs. *Farmacia*, 67(6), 1060-1065. <https://doi.org/10.31925/farmacia.2019.6.10>

- [21] Liu-Smith, F., & Meyskens, F. L. (2016). Molecular mechanisms of flavonoids in melanin synthesis and the potential for the prevention and treatment of melanoma. *Molecular Nutrition & Food Research*, 60(6), 1264-1274. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201500820>
- [22] Aguilera, J., Gracia-Cazaña, T., & Gilaberte, Y. (2023). New developments in sunscreens. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 22(10), 2473-2482. <https://doi.org/10.1007/s43630-023-00225-3>
- [23] Monteiro, M. S., Ozzetti, R. A., Vergnanini, A. L., de Brito-Gitirana, L., Volpato, N. M., de Freitas, Z. M., & al. (2012). Evaluation of octyl p-methoxy-cinnamate included in liposomes and cyclodextrins in anti-solar preparations: Preparations, characterizations and in vitro penetration studies. *International Journal of Nanomedicine*, 7, 3045-3058. <https://doi.org/10.2147/IJN.S30893>
- [24] Piccinino, D., Capecchi, E., Tomaino, E., Gabellone, S., Gigli, V., Avitabile, D., & Saladino, R. (2021). Nano-structured lignin as green antioxidant and UV shielding ingredient for sunscreen applications. *Antioxidants*, 10(2), 274. <https://doi.org/10.3390/antiox10020274>
- [25] Popovici, V., Matei, E., Cozaru, G. C., Bucur, L., Gîrd, C. E., Schröder, V., & al. (2022). Design, characterization, and anticancer and antimicrobial activities of mucoadhesive oral patches loaded with *Usnea barbata* (L.) F. H. Wigg ethanol extract F-UBE-HPMC. *Antioxidants*, 11(9), 1801. <https://doi.org/10.3390/antiox11091801>
- [26] Garcia-Salas, P., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2010). Phenolic-compound-extraction systems for fruit and vegetable samples. *Molecules*, 15, 8813-8826. <https://doi.org/10.3390/molecules15128813>
- [27] Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200-214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.04.011>
- [28] Naczki, M., & Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41, 1523-1542. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.04.002>
- [29] Palma, M., Piñeiro, Z., & Barroso, C. G. (2002). In-line pressurized-fluid extraction–solid-phase extraction for determining phenolic compounds in grapes. *Journal of Chromatography A*, 968, 1-6. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(02\)00936-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(02)00936-4)
- [30] Liazid, A., Palma, M., Brigui, J., & Barroso, C. G. (2007). Investigation on phenolic compounds stability during microwave-assisted extraction. *Journal of Chromatography A*, 1140, 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.11.091>

- [31] Castro-Vargas, H. I., Rodríguez-Varela, L. I., Ferreira, S. R., & Parada-Alfonso, F. (2010). Extraction of phenolic fraction from guava seeds (*Psidium guajava* L.) using supercritical carbon dioxide and co-solvents. *The Journal of Supercritical Fluids*, 51, 319-324. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.09.007>
- [32] Klejdus, B., Kopecký, J., Benešová, L., & Vacek, J. (2009). Solid-phase/supercritical-fluid extraction for liquid chromatography of phenolic compounds in freshwater microalgae and selected cyanobacterial species. *Journal of Chromatography A*, 1216, 763-771. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.11.051>
- [33] Picouet, P. A., Landl, A., Abadias, M., Castellari, M., & Viñas, I. (2009). Minimal processing of a Granny Smith apple purée by microwave heating. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10, 545-550. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.05.001>
- [34] Dobiáš, P., Pavlíková, P., Adam, M., Eisner, A., Beňová, B., & Ventura, K. (2010). Comparison of pressurised fluid and ultrasonic extraction methods for analysis of plant antioxidants and their antioxidant capacity. *Central European Journal of Chemistry*, 8, 87-95. <https://doi.org/10.2478/s11532-009-0117-7>
- [35] Atik, F., & Mohammedi, Z. (2011). Impact of solvent extraction type on total polyphenols content and biological activity from *Tamarix aphylla* (L.) Karst. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 2, 609-615. <https://doi.org/10.22376/ijpbs>
- [36] Kennas, A., & Amellal-Chibane, H. (2019). Comparison of five solvents in the extraction of phenolic antioxidants from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel. *The North African Journal of Food and Nutrition Research*, 3, 140-147. <https://doi.org/10.51745/najfnr.3.2.140-147>
- [37] Iqbal, S., Haleem, S., Akhtar, M., Zia-ul-Haq, M., & Akbar, J. (2008). Efficiency of pomegranate peel extracts in stabilization of sunflower oil under accelerated conditions. *Food Research International*, 41, 194-200. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.11.005>
- [38] Singh, M., Jha, A., Kumar, A., Hettiarachchy, N., Rai, A. K., & Sharma, D. (2014). Influence of the solvents on the extraction of major phenolic compounds (punicalagin, ellagic acid and gallic acid) and their antioxidant activities in pomegranate aril. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 2070-2077. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0732-6>
- [39] Vermerris, W., & Nicholson, R. (2006). Isolation and identification of phenolic compounds: A practical guide. In *Phenolic compound biochemistry* (pp. 151-196). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5164-6_5
- [40] Doukani, K., Chahda, K., Tabak, S., & Bouhenni, H. (2018). Profil phytochimique et activité anti-*Helicobacter pylori* de la grenade (*Punica granatum* L.) (fruit et écorce) dans la région de Tiaret. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 87, 63-75.

- [41] Lairini, S., Bouslamti, R., Zerrouq, F., & Farah, A. (2014). Enhancement of the aqueous extract of the bark of *Punica granatum* fruit through the study of its antimicrobial and antioxidant activities. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5, 2314-2318.
- [42] Kaci-Meziane, Z., Boutekrabt, L., Laidoudi, D., Moussaoui, T., Melahi, N., & Ait Oouarab, D. (2017). Évaluation phytochimique, et potentiel antioxydant, antibactérien de trois cultivars de fruit de grenadier "*Punica granatum* L." du nord est d'Algérie. *Agrobiologia*, 7(2), 589-602.
- [43] Ardestani, A., & Yazdanparast, R. (2007). Inhibitory effects of ethyl acetate extract of *Teucrium polium* on in vitro protein glycoxydation. *Food and Chemical Toxicology*, 45, 2402-2411. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.05.027>
- [44] Gülçin, İ., Küfrevioğlu, Ö. İ., Oktay, M., & Büyükkuroğlu, M. E. (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Ethnopharmacology*, 90(2-3), 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.028>
- [45] Miliuskas, G., Venskutonis, P. R., & Van Beek, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry*, 85(2), 231-237. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.007>
- [46] Bekir, J., Mars, M., Souchard, J. P., & Bouajila, J. (2013). Assessment of antioxidant, anti-inflammatory, anti-cholinesterase and cytotoxic activities of pomegranate (*Punica granatum*) leaves. *Food and Chemical Toxicology*, 55, 470-475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.01.036>
- [47] Zeghad, N., Ahmed, E., Belkhiri, A., Van Heyden, Y., & Demeyer, K. (2019). Antioxidant activity of *Vitis vinifera*, *Punica granatum*, *Citrus aurantium* and *Opuntia ficus indica* fruits cultivated in Algeria. *Heliyon*, 5(7), e01575. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01575>
- [48] Chukwuma, C. I., Mashele, S. S., & Akuru, E. A. (2020). Evaluation of the in vitro α -amylase inhibitory, antiglycation, and antioxidant properties of *Punica granatum* L. (pomegranate) fruit peel acetone extract and its effect on glucose uptake and oxidative stress in hepatocytes. *Journal of Food Biochemistry*, 44(5), e13175. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13175>
- [49] Hubert, J. (2006). Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja: étude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaines (Doctoral dissertation, Université de Lorraine). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3902940>
- [50] Nash, J. F., & Tanner, P. R. (2014). Relevance of UV filter/sunscreen product photostability to human safety. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 30(2-3), 88-95. <https://doi.org/10.1111/phpp.12092>
- [51] Lodén, M. (2003). The clinical benefit of moisturizers. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 17(6), 671-688. <https://doi.org/10.1046/j.1468-3083.2003.00880.x>

- [52] Burke, K. E. (2019). Mechanisms of aging and development-A new understanding of environmental damage to the skin and prevention with topical antioxidants. *Mechanisms of Ageing and Development*, 177, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2018.02.013>
- [53] Chidambara Murthy, K. N., Jayaprakasha, G. K., & Singh, R. P. (2002). Studies on Antioxidant Activity of Pomegranate (*Punica granatum*) Peel Extract Using In Vivo Models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4791-4795. <https://doi.org/10.1021/jf0256031>
- [54] Tadros, T. F. (2010). *Emulsion Formation and Stability*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527629508>
- [55] Steinberg, D. C. (2016). *Preservatives for Cosmetics*. Allured Business Media.
- [56] Baki, G., Alexander, K. S. (2015). *Introduction to Cosmetic Formulation and Technology*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118763780>
- [57] Mansur, J. S., Breder, M. N., Mansur, M. C. A., Azulay, R. D. (1986). Determination of Sun Protection Factor by Spectrophotometry. *An Bras Dermatol*.
- [58] Mwangi, J. W., Nyarango, R. M., & Wanjala, M. M. (2015). Formulation and evaluation of sunscreen creams containing methanol extracts of selected Kenyan plants. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 9(10), 410-417. <https://doi.org/10.5897/AJPP2015.4217>
- [59] Petry, T., Bury, D., Fautz, R., Hauser, M., Huber, B., et al. (2017). Review of data on the dermal penetration of mineral oils and waxes used in cosmetic applications. *Toxicology Letters*, 280, 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.07.911>
- [60] Juárez-Osornio, C., & Gracia-Fadrique, J. (2017). Structures similar to lipid emulsions and liposomes. Dipalmitoylphosphatidylcholine, cholesterol, Tween 20–Span 20 or Tween 80–Span 80 in aqueous media. *Journal of Liposome Research*, 27(2), 139-150. <https://doi.org/10.1080/08982104.2016.1272781>
- [61] Hara, S., Aoki, S., Nagata, M., Shirasuna, K., Noguchi, T., & Iwata, H. (2020). Xanthan gum and locust bean gum substrate improves bovine embryo development. *Reproduction in Domestic Animals*, 55(8), 1124-1131. <https://doi.org/10.1111/rda.13710>
- [62] Becker, L. C., Bergfeld, W. F., Belsito, D. V., Hill, R. A., Klaassen, C. D., et al. (2019). Safety assessment of glycerin as used in cosmetics. *International Journal of Toxicology*, 38(1_suppl), 6S-22S. <https://doi.org/10.1177/1091581819857631>
- [63] Budowski, P., & Markley, K. (1951). The chemical and physiological properties of sesame oil. *Chemical Reviews*, 48(1), 125-151. <https://doi.org/10.1021/cr60150a003>
- [64] Warra, A. (2011). Sesame (*Sesamum indicum* L.) seed oil methods of extraction and its prospects in cosmetic industry: a review. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 4(1), 164-168. <https://doi.org/10.4314/bajopas.v4i1.35>

- [65] Tiwari, R., Singh, I., Gupta, M., Singh, L. P., & Tiwari, G. (2022). Formulation and evaluation of herbal sunscreens: An assessment towards skin protection from ultraviolet radiation. *Pharmacophore*, 13(1), 41-49. <https://doi.org/10.51847/7NE5chls5v>
- [66] Pratama, G., Yanuarti, R., Ilhamdy, A., & Suhana, M. (2019). Formulation of sunscreen cream from *Eucheuma cottonii* and *Kaempferia galanga* (Zingiberaceae). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 278, No. 1, p. 012062). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/278/1/012062>
- [67] Gasparro, F. P., Mitchnick, M., & Nash, J. F. (1998). A review of sunscreen safety and efficacy. *Photochemistry and Photobiology*, 68(3), 243-256. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1998.tb09682.x>
- [68] Ferrero, L., Pissavini, M., & Doucet, O. (2010). How a calculated model of sunscreen film geometry can explain in vitro and in vivo SPF variation. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 9(4), 540-551. <https://doi.org/10.1039/B9PP00170J>
- [69] Mansur, J. d. S., Breder, M. N. R., Mansur, M. C. d. A., & Azulay, R. D. (1986). Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. *An. Bras. Dermatol*, 61, 121-124.
- [70] Le Hir, A., Chaumeil, J.-C., Brossard, D., Charrueau, C., & Crauste-Manciet, S. (2009). *Pharmacie galénique: bonnes pratiques de fabrication des médicaments*. Masson.
- [71] Wallevik, J. E. (2006). Relationship between the Bingham parameters and slump. *Cement and Concrete Research*, 36, 1214-1221. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.03.001>

Chapitre IV : Partie expérimentale

Chapitre IV : Partie expérimentale

IV.1. Matériels & verreries

IV.1.1. Matériels utilisés

- Agitateur magnétique ;
- Balance analytique : Précision allant jusqu'à 0,01 mg, idéale pour des mesures très précises de la masse ;
- Broyeur (Broyeur universel M20, IKA® Werke Staufen/Germany) ;
- Étuve ;
- Homogénéisateur à grande vitesse ;
- Lyophilisateur : Appareil utilisé pour la lyophilisation, un processus de séchage des échantillons en les congelant d'abord puis en les soumettant à une pression réduite pour sublimer la glace, préservant ainsi la structure des échantillons ;
- Rhéomètre hybride de découverte (HR-20) : Instrument utilisé pour mesurer les propriétés de l'écoulement et de la viscosité des échantillons liquides ou semi-solides ;
- Rota-vapeur : Équipé d'une vitesse de rotation réglable de 10 à 280 rpm, d'un chauffage intégré avec une plage de température de 20 à 220°C et une fréquence de 50/60 Hz ;
- Spectrophotomètre UV-visible (SPECORD® 200 PLUS, Analytik Jena) ;
- Vortex (ZX3 Advanced Vortex Mixer) : Utilisé pour mélanger rapidement de petits volumes d'échantillons liquides dans des tubes ou des flacons à l'aide de mouvements vibratoires (Figure IV-1).



Broyeur



Balance analytique



Filtration sous vide



Rota-vapeur



Vortex



Lyophilisateur



Spectrophotomètre UV-visible



Agitateur magnétique



Etuve

Figure IV-1: Inventaire des appareils employés dans les expérimentations.

IV.1.2. Verreries employées

- Ampoule à décanter : 250 mL;
- Ballon rodé : 1000 mL;
- Barreau magnétique;
- Baguette en verre;

- Bécher : 50 mL, 500 mL, 1000 mL
- Büchner;
- Cristalliseur;
- Éprouvette graduée : 100 mL;
- Entonnoir;
- Erlenmeyer : 250 mL;
- Erlenmeyer à vide;
- Fiole jaugée : 250 mL
- Micropipette : 100-1000 μ L, 20-200 μ L
- Para-film; Papier aluminium; Coton stérile;
- Pissette.

IV.2. Réactifs & produits

Ci-dessous se trouve la liste des réactifs et des produits utilisés au cours des manipulations expérimentales (Tableau IV-1) :

Tableau IV-1 : Liste des réactifs et produits expérimentaux.

| Solvant | Formule chimique |
|---------------------------------------|---|
| Méthanol absolue | CH_3OH |
| Ethanol | C_2H_6O |
| Carbonate de sodium | Na_2CO_3 |
| Réactif de Folin-Ciocalteu | $H_3PW_{12}O_{40}$ et $H_3PMo_{12}O_{40}$ |
| Acide gallique | $C_7H_6O_5$ |
| Nitrite de sodium | $NaNO_2$ |
| Trichlorure d'aluminium | $AlCl_3$ |
| Hydroxyde de sodium | $NaOH$ |
| Catéchine | $C_{15}H_{14}O_6$ |
| Solution tampon | Na_2HPO_4 et NaH_2PO_4 |
| Ferricyanure de potassium | $K_3Fe(CN)_6$ |
| Acide trichloracétique (TCA) | $C_2HCl_3O_2$ |
| Trichlorure de fer | $FeCl_3$ |
| Acide ascorbique | $C_6H_8O_6$ |
| DPPH : 2,2-diphényl-1-picryl-hydrazyl | $C_{18}H_{12}N_5O_6$ |
| Acétate d'éthyle | $C_4H_8O_2$ |
| Huile de paraffine | / |
| Glycérol | $C_3H_8O_3$ |
| Stéarate de magnésium | $Mg(C_{18}H_{35}O_2)_2$ |
| Gomme Xanthane | $C_{35}H_{49}O_{29}$ |
| Span80 | / |
| Tween80 | $C_{64}H_{124}O_{26}$ |
| Méthylparabènes | $C_8H_8O_3$ |
| Huile de sésame | / |

IV.3. Modes opératoires

IV.3.1. Extraction de polyphénols à partir d'écorces de grenades par macération

L'extraction de polyphénols à partir des écorces de grenades (*Punica granatum* L.) peut être réalisée par différentes méthodes, dont la macération, la décoction et l'infusion. La macération offre une approche douce et efficace pour cette extraction, impliquant l'immersion des écorces pulvérisées dans de l'eau ou un solvant hydroalcoolique à température ambiante. Cette méthode permet une dissolution progressive des polyphénols présents dans les écorces, sans altérer leurs propriétés. Comparée à la décoction et à l'infusion, la macération est privilégiée pour préserver l'intégrité des composés actifs et pour son adaptabilité à l'utilisation de différents solvants [1,2].

IV.3.2. Dosage des composés bioactifs

IV.3.2.1. Procédure de dosage des polyphénols totaux par la méthode du Folin-Ciocalteu

Pour le dosage des polyphénols totaux, mélangez 100 μL de chaque extrait végétal (à une concentration de 1 mg/mL) avec 2000 μL de solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 2 %. Après agitation, laissez incuber à température ambiante pendant 5 minutes. Ensuite, ajoutez 100 μL de réactif de Folin-Ciocalteu (1 N) et incubez de nouveau pendant 30 minutes à l'obscurité et à température ambiante. Enfin, mesurez l'absorbance à une longueur d'onde de 725 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (SPECORD® 200 PLUS, Analytik Jena). Parallèlement, préparez une courbe d'étalonnage avec de l'acide gallique à des concentrations variant de 150 à 450 $\mu\text{g/mL}$, suivant les mêmes conditions opératoires. Les résultats sont exprimés en microgrammes équivalents d'acide gallique par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EAG/mg E}$) [3].

IV.3.2.2. Procédure de dosage des flavonoïdes totaux

Le dosage des flavonoïdes totaux est réalisé en mélangeant 250 μL de chaque extrait végétal (à une concentration de 1 mg/mL) avec 1000 μL d'eau distillée. Ajoutez ensuite 75 μL de solution de nitrite de sodium (NaNO_2) à 15 % et incubez le mélange pendant 6 minutes à température ambiante. Après cette étape, incorporez 75 μL de trichlorure d'aluminium (AlCl_3) à 10 % et incubez à nouveau pendant 6 minutes. Pour finaliser la préparation, ajoutez 1000 μL d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 4 % et ajustez le volume total à 2500 μL avec de l'eau distillée, pour obtenir un volume final de 2,5 mL. Ajoutez enfin 100 μL d'eau distillée, agitez les tubes et incubez le mélange pendant 15 minutes à température ambiante. L'absorbance est ensuite mesurée au spectrophotomètre UV-Visible (SPECORD® 200 PLUS, Analytik Jena) à une longueur d'onde de 510 nm. Simultanément, une courbe d'étalonnage est réalisée dans les mêmes conditions opératoires en utilisant de la catéchine comme contrôle positif à des concentrations variant de 50 à 400 $\mu\text{g/mL}$. Les résultats obtenus sont exprimés en microgrammes équivalents de catéchine par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EC/mg E}$) [4].

IV.3.3. Evaluation des activités antioxydantes

IV.3.3.1. Méthodologie d'évaluation de l'activité antioxydante par la méthode FRAP et calcul des CE_{50}

Pour évaluer l'activité antioxydante par la méthode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), mélangez 100 μ L des extraits à différentes concentrations (100 à 1000 μ g/mL) avec 250 μ L de solution tampon (0,2 M, pH 6,6) et 250 μ L de solution de ferricyanure de potassium $K_3Fe(CN)_6$ (1 %). Incubez les tubes à 50 °C dans une étuve pendant 20 minutes. Après refroidissement, ajoutez 250 μ L d'acide trichloracétique (TCA) à 10 %, puis centrifugez le mélange pendant 10 minutes à 3000 rotations par minute (rpm). Ensuite, ajoutez 500 μ L d'eau distillée et 100 μ L de solution de trichlorure de fer $FeCl_3$ (0,1 %) à 500 μ L du surnageant. Mesurez l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (SPECORD® 200 PLUS, Analytik Jena) à une longueur d'onde de 700 nm par rapport à un blanc. En parallèle, préparez une courbe d'étalonnage en utilisant de l'acide ascorbique à différentes concentrations (50 à 400 μ g/mL) dans les mêmes conditions opératoires. Calculez les CE_{50} , définies comme la concentration efficace de chaque extrait donnant une réponse demi-maximale (absorbance = 0,5), à partir de l'équation de régression linéaire des absorbances en fonction des différentes concentrations de chaque extrait étudié. L'extrait le plus efficace est celui ayant la valeur de CE_{50} la plus faible [5].

IV.3.3.2. Dosage de l'activité antioxydante par la méthode DPPH

L'activité anti-radicalaire du radical DPPH en présence de chaque extrait est évaluée en suivant le protocole décrit par Atoui et al. (2005) [6]. Mélangez 50 μ L des extraits à différentes concentrations (100 à 1000 μ g/mL) avec 1950 μ L de DPPH fraîchement préparé (2,5 mg de DPPH dans 100 mL de méthanol). Préparez un blanc pour chaque concentration en combinant 50 μ L d'extrait et 1950 μ L de méthanol. En parallèle, préparez un contrôle négatif en mélangeant 50 μ L de méthanol avec 1950 μ L de DPPH ; son blanc contient 2 mL de méthanol (50 + 1950 μ L). Incubez tous les tubes dans l'obscurité à température ambiante pendant 30 minutes. Ensuite, mesurez l'absorbance à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (SPECORD® 200 PLUS, Analytik Jena). Utilisez l'acide ascorbique comme antioxydant standard et contrôle positif à différentes concentrations (50 à 400 μ g/mL).

Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH est calculé à partir de la formule suivante :

$$\% \text{ DPPH réduit} = \frac{A_{\text{Contrôle}} - A_{\text{échantillon}}}{A_{\text{Contrôle}}} \times 100,$$

où $A_{\text{Contrôle}}$ est l'absorbance du contrôle négatif, et $A_{\text{échantillon}}$ est l'absorbance de l'échantillon testé.

Le calcul des CI_{50} , représentant la concentration de l'extrait capable d'inhiber 50 % du radical DPPH, est effectué graphiquement par les régressions logarithmiques des pourcentages d'inhibition en fonction des concentrations de chaque extrait étudié [7]. L'extrait le plus efficace est celui ayant la valeur de CI_{50} la plus faible [8].

IV.3.4. Procédure de formulation de crèmes cosmétiques

IV.3.4.1. Formulation de crème à l'huile de paraffine

Pour la préparation de la crème, suivez strictement les mesures d'hygiène et de stérilisation. La crème se compose de deux phases : une phase huileuse comprenant l'huile de paraffine, Span 80, stéarate de magnésium et pigment de coloration, et une phase aqueuse composée du principe actif, Tween 80, glycérine et gomme xanthane, avec ajout de conservateurs, les parabènes (cf. [Tableau IV-2](#)).

Tout le matériel et les surfaces de travail sont préalablement nettoyés et stérilisés. Les masses sont pesées avec précision selon les pourcentages définis. Chauffez la phase huileuse dans un bain-marie jusqu'à 70°C. De même, chauffez la phase aqueuse. Versez lentement la phase aqueuse dans la phase huileuse tout en agitant vigoureusement avec un homogénéisateur à haute vitesse. Continuez le mélange jusqu'à ce que la crème épaississe et refroidisse. Transférez ensuite la crème dans un récipient stérile à l'aide d'une baguette en verre. Ce processus garantit une émulsion homogène et stable, assurant l'efficacité et la qualité de la crème finale.

Tableau IV-2 : Formulation de l'émulsion solaire.

| Ingrédient | Crème A % (m/m) | Crème B % (m/m) | Crème C % (m/m) | Crème D % (m/m) |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Phase A (Phase huileuse) | | | | |
| Huile de paraffine | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Huile de sésame | / | 2 | 2 | 2 |
| Span 80 | 0,58 | 0,58 | 0,58 | 0,58 |
| Stéarate de magnésium | 2 | 2 | / | / |
| Stéarate de zinc | / | / | 3 | 4 |
| Pigment | / | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Phase B (Phase aqueuse) | | | | |
| Principe actif | 4 | 1 | 1 | 1 |
| Tween 80 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 0,42 |
| Glycérol | 2 | 1,75 | 1,75 | 1,75 |
| Propylène glycol | / | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Oxyde de zinc | / | / | / | 0,40 |
| Gomme xanthane | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Méthyle parabène | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| Eau déminéralisée | qsp 100 | qsp 100 | qsp 100 | qsp 100 |

qsp: Quantité suffisante pour.

IV.3.4.2.Méthodologie pour l'évaluation de la stabilité et de l'efficacité des crèmes solaires

- Paramètres physiques

L'apparence, la couleur et l'homogénéité des émulsions formulées ont été déterminées. Toutes les émulsions ont été laissées à température ambiante pendant au moins 24 heures afin de vérifier la séparation des phases.

- Test d'étalement

L'efficacité thérapeutique des crèmes solaires à base de plantes dépend de leur capacité d'étalement. La quantité adéquate de crème solaire a été appliquée entre deux lames et étalée dans des directions de charge précises pour évaluer l'étalement de l'écran solaire [9].

- Test d'homogénéité

La distribution des extraits dans la crème a été uniforme dans toutes les formulations. L'aspect visuel et le contact tactile ont démontré une homogénéité uniforme de toutes les formulations [10].

- Facteur de protection solaire (SPF)

L'efficacité de la protection solaire a été déterminée par la valeur SPF à l'aide d'une spectrophotométrie UV [11]. Chaque échantillon (400 mg) a été dissous dans 25 mL d'éthanol. La courbe d'absorbance utilisée avait une longueur d'onde de 290-320 nm, avec un intervalle de 5 nm [12]. La valeur de $EE \times I$ était constante [13]. Les valeurs sont indiquées dans le [Tableau IV-3](#) ci-contre :

Tableau IV-3 : Valeurs de $EE \times I$ en fonction de la longueur d'onde.

| λ (nm) | $EE \times I$ |
|----------------|---------------|
| 290 | 0,0150 |
| 295 | 0,0817 |
| 300 | 0,2875 |
| 305 | 0,3278 |
| 310 | 0,1864 |
| 315 | 0,0839 |
| 320 | 0,0180 |
| Total | 1,0000 |

λ : Longueur d'onde

Les données d'absorbance ont été calculées à l'aide de l'équation de Mansur [11,14] :

$$SPF = CF \times \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda)$$

avec: CF : Facteur de correction ; EE : Spectre de l'effet érythémal ; I : Spectre d'intensité solaire ; Abs : Absorbance du produit de protection solaire.

- **Détermination de la viscosité (Test de rhéologie)**

La viscosité cinétique et dynamique a été mesurée à l'aide d'un viscosimètre avec le nombre adéquat de broches. La préparation a été contenue dans un bécher de 50 mL jusqu'à ce que la rainure de la broche soit humide, et la vitesse de rotation a été ajustée. Les mesures de viscosité des crèmes solaires ont été effectuées à des vitesses de 5, 10, 20, 50 et 100 tours/minute. La viscosité a été calculée en se basant sur le facteur obtenu à partir de la lecture [9].

- **Détermination du pH**

Pour évaluer le pH de la composition de l'écran solaire, 1 g de l'échantillon a été dilué avec de l'eau distillée jusqu'à obtenir 10 mL. L'échantillon dilué a été homogénéisé, puis le pH de la solution a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre.

- **Détermination de la précipitation**

Le test de centrifugation fournit des informations rapides sur la stabilité physique du système à base d'émulsion. Pour réaliser ce test, 1 g d'échantillon a été centrifugé pendant 30 minutes à 300 tours/minute. Le poids du surnageant (phase séparée) a ensuite été mesuré.

Références

- [1] Olejar, K. J., Fedrizzi, B., & Kilmartin, P. A. (2015). Influence of harvesting technique and maceration process on aroma and phenolic attributes of Sauvignon blanc wine. *Food Chemistry*, 183, 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.033>
- [2] Garcia-Salas, P., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2010). Phenolic-compound-extraction systems for fruit and vegetable samples. *Molecules*, 15, 8813-8826. <https://doi.org/10.3390/molecules15128813>
- [3] Vermerris, W., & Nicholson, R. (2006). Isolation and identification of phenolic compounds: A practical guide. In R. A. Dixon & N. L. Paiva (Eds.), *Phenolic Compound Biochemistry* (pp. 151-196). Springer US.
- [4] Ardestani, A., & Yazdanparast, R. (2007). Inhibitory effects of ethyl acetate extract of *Teucrium polium* on in vitro protein glycooxidation. *Food and Chemical Toxicology*, 45, 2402-2411. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.07.007>
- [5] Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction: Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44, 307-315.
- [6] Atoui, A. K., Mansouri, A., Boskou, G., & Kefalas, P. (2005). Tea and herbal infusions: Their antioxidant activity and phenolic profile. *Food Chemistry*, 89(1), 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.075>
- [7] Sokmen, A., Gulluce, M., Akpulat, H. A., Daferera, D., Tepe, B., Polissiou, M., Sokmen, M., & Sahin, F. (2004). The in vitro antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts of endemic *Thymus spathulifolius*. *Food Control*, 15, 627-634. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2003.10.005>
- [8] Gülçin, I., Küfrevioğlu, Ö. İ., Oktay, M., & Büyükokuroğlu, M. E. (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Ethnopharmacology*, 90, 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.028>
- [9] Tiwari, R., Singh, I., Gupta, M., Singh, L. P., & Tiwari, G. (2022). Formulation and evaluation of herbal sunscreens: An assessment towards skin protection from ultraviolet radiation. *Pharmacophore*, 13(1), 41-49. <https://doi.org/10.51847/7NE5chls5v>
- [10] Pratama, G., Yanuarti, R., Ilhamdy, A., & Suhana, M. (2019). Formulation of sunscreen cream from *Eucheuma cottonii* and *Kaempferia galanga* (Zingiberaceae). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 278, No. 1, p. 012062). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/278/1/012062>

- [11] Mansur, J. d. S., Breder, M. N. R., Mansur, M. C. d. A., & Azulay, R. D. (1986). Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. *An. Bras. Dermatol*, 61, 121-124. (Note: no DOI available)
- [12] Ferrero, L., Pissavini, M., & Doucet, O. (2010). How a calculated model of sunscreen film geometry can explain in vitro and in vivo SPF variation. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 9(4), 540-551. <https://doi.org/10.1039/B9PP00170J>
- [13] Sayre, R. M., Agin, P. P., LeVee, G. J., & Marlowe, E. (1979). A comparison of in vivo and in vitro testing of suncreening formulas. *Photochemistry and Photobiology*, 29(3), 559-566. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1979.tb07090.x>
- [14] Gasparro, F. P., Mitchnick, M., & Nash, J. F. (1998). A review of sunscreen safety and efficacy. *Photochemistry and Photobiology*, 68(3), 243-256. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1998.tb09682.x>

Conclusion générale & perspectives

Conclusion générale & perspectives

Le but de ce travail est la préparation d'une crème solaire à base de produits actifs d'origine naturelle, spécifiquement pour leur effet protecteur contre les rayons UV et leur potentiel antioxydant. Pour ce faire, plusieurs extraits polyphénoliques ont été préparés à partir des écorces de *P. granatum* L., notamment des extraits aqueux (EAEG) et hydroalcooliques (EHAEG), ainsi que leurs fractions obtenues en utilisant l'acétate d'éthyle (EAEG-AE et EHAEG-AE).

Les rendements d'extraction ont varié en fonction de la polarité des solvants utilisés. Les extraits hydroalcooliques et aqueux ont montré des rendements supérieurs par rapport aux mêmes extraits fractionnés avec l'acétate d'éthyle. Il est à noter que, bien que seule la méthode de macération ait été employée dans ce travail, la méthode d'extraction et l'espèce de grenade peuvent également influencer les rendements d'extraction.

Les dosages des composés bioactifs ont révélé que les extraits hydroalcooliques (EHAEG) et leurs fractions (EHAEG-AE) contenaient des concentrations plus élevées en polyphénols et flavonoïdes que les extraits aqueux. En termes de richesse en polyphénols, les extraits ont été classés comme suit : EAEG-AE > EAEG > EHAEG-AE > EHAEG. De même, pour les flavonoïdes, le classement était similaire, soulignant la supériorité des fractions hydroalcooliques.

Les activités antioxydantes des extraits, évaluées par les tests DPPH et FRAP, ont montré que les extraits EHAEG-AE et EHAEG présentaient les meilleures capacités antioxydantes. Le test DPPH a indiqué une excellente activité de piégeage des radicaux libres avec des valeurs IC_{50} allant de $80,51 \pm 0,03$ à $1162,32 \pm 0,01$ $\mu\text{g/mL}$, tandis que le test FRAP a confirmé une puissance réductrice élevée, avec des valeurs EC_{50} allant de $45,00 \pm 0,03$ à $386,92 \pm 0,05$ $\mu\text{g/mL}$. Le classement des extraits selon leur activité antioxydante est le suivant : EHAEG-AE > EAEG-AE > EAEG > EHAEG.

Le choix de l'extrait EAEG pour la formulation des crèmes s'est basé sur la disponibilité de l'eau, sa non-toxicité, et son utilisation courante dans les préparations cosmétiques. Bien que les extraits EHAEG-AE et EAEG-AE étaient plus riches en polyphénols et flavonoïdes, l'extrait aqueux EAEG a été sélectionné pour ses avantages pratiques et sa sécurité d'utilisation.

Les crèmes solaires ont été formulées à partir de l'extrait aqueux EAEG en explorant différentes conditions de formulation pour identifier l'huile idéale en termes de propriétés physico-chimiques et de stabilité. Deux huiles, l'huile de paraffine et l'huile de sésame, ont été testées. L'huile de paraffine a été choisie pour sa faible pénétration cutanée et sa capacité à former une barrière protectrice, tandis que l'huile de sésame a été sélectionnée pour ses propriétés régénérantes et antioxydantes.

Les tests réalisés ont montré une excellente homogénéité et stabilité des crèmes. La centrifugation n'a révélé aucune séparation des phases, confirmant la robustesse des émulsions. Les mesures de viscosité ont démontré un comportement rhéofluidifiant favorable à une application uniforme. Le facteur de protection solaire (SPF) déterminé par spectrophotométrie UV a indiqué une efficacité de protection solaire substantielle, avec un SPF de l'ordre de 60. Le pH mesuré des formulations était de 5,21, adéquat pour une application cutanée.

Perspectives

Pour développer une crème solaire à base de principes actifs d'origine naturelle qui soit non seulement protectrice contre les UV mais aussi thérapeutique grâce à son pouvoir antioxydant, plusieurs axes de recherche futurs peuvent être envisagés :

- ✓ Évaluation in vivo : Étudier l'efficacité réelle de la crème solaire en conditions d'utilisation quotidienne et son impact sur la peau humaine.
- ✓ Optimisation des méthodes d'extraction : Améliorer les procédés pour maximiser l'extraction des composés bioactifs tout en minimisant les coûts et l'impact environnemental.
- ✓ Caractérisation approfondie des composés : Identifier et quantifier précisément les différents polyphénols et flavonoïdes présents dans les extraits pour mieux comprendre leurs rôles spécifiques.
- ✓ Formulation avancée : Tester des combinaisons d'huiles et d'autres ingrédients naturels pour améliorer encore la stabilité, l'efficacité et les propriétés sensorielles des crèmes.
- ✓ Études de toxicité à long terme : Assurer la sécurité des formulations sur une utilisation prolongée, en évaluant les effets potentiels sur la santé à long terme.
- ✓ Développement de produits complémentaires : Créer une gamme complète de produits de soins solaires intégrant les extraits de grenade pour offrir une protection et un soin cutané holistiques.

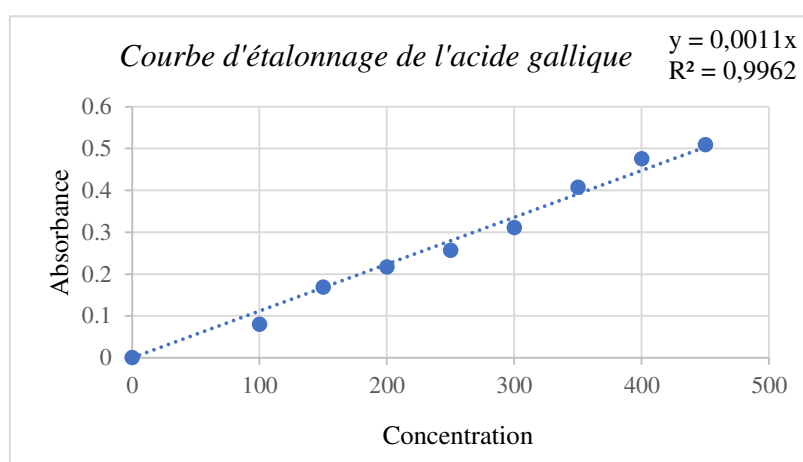
Annexe

Annexe

1- Dosages des polyphénols totaux

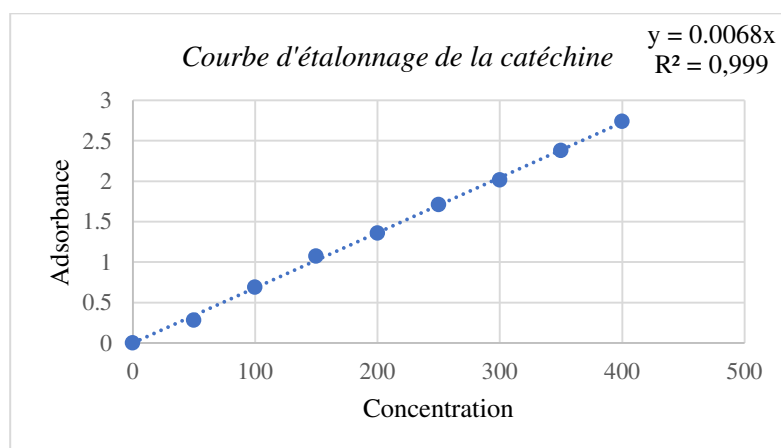
| Extrait | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD |
|-----------------|-------|-------|-------|---------|------|
| EAEG | 0,241 | 0,319 | 0,345 | 0,30 | 0,05 |
| EHAEG | 0,274 | 0,284 | 0,270 | 0,28 | 0,01 |
| EAEG-AE | 0,357 | 0,357 | 0,335 | 0,35 | 0,01 |
| EHAEG-AE | 0,165 | 0,215 | 0,169 | 0,18 | 0,02 |

EAEG: Extrait aqueux des écorces de grenades; EHAEG : Extrait Hydroalcoolique des écorces de grenades; EAEG-AE : Extrait aqueux des écorces de grenades-Acétate d'éthyle; EHAEG-AE : Extrait Hydroalcoolique des écorces de grenades- Acétate d'éthyle ; SD (Standard Deviation) : Écart-type.



2- Dosages des flavonoïdes totaux

| Extrait | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD |
|-----------------|-------|-------|-------|---------|------|
| EAEG | 0,930 | 0,948 | 1,030 | 0,97 | 0,05 |
| EHAEG | 0,176 | 0,140 | 0,157 | 0,16 | 0,18 |
| EAEG-AE | 0,324 | 0,341 | 0,323 | 0,33 | 0,01 |
| EHAEG-AE | 0,481 | 0,520 | 0,486 | 0,50 | 0,02 |



3- Activité antioxydante

3.1 FRAP

A- Extrait : EAEG

| C $\mu\text{g/mL}$ | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD |
|--------------------|-------|-------|-------|---------|------|
| 0,5 | 1,882 | 1,922 | - | 1,92 | 0,06 |
| 0,25 | 1,314 | 1,091 | - | 1,20 | 0,16 |
| 0,125 | 0,588 | 0,336 | - | 0,50 | 0,08 |
| 0,0625 | 0,441 | 0,305 | - | 0,32 | 0,02 |
| 0,0312 | 0,165 | 0,165 | - | 0,17 | 0,00 |
| 0,0156 | 0,069 | 0,068 | - | 0,08 | 0,01 |

$$EC_{50} = 113 \mu\text{g/mL}$$

B- Extrait : EHAEG

| C $\mu\text{g/mL}$ | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD |
|--------------------|-------|-------|-------|---------|------|
| 0,5 | 2,426 | 2,542 | - | 2,48 | 0,08 |
| 0,25 | 1,334 | 1,323 | - | 1,33 | 0,01 |
| 0,125 | 0,626 | 0,599 | - | 0,61 | 0,02 |
| 0,0625 | 0,316 | 0,316 | - | 0,32 | 0,00 |
| 0,0312 | 0,123 | 0,123 | - | 0,12 | 0,00 |
| 0,0156 | 0,035 | 0,043 | - | 0,03 | 0,01 |

$$EC_{50} = 101 \mu\text{g/mL}$$

C- Extrait : EAEG-AE

| C $\mu\text{g/mL}$ | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD |
|--------------------|-------|-------|-------|---------|------|
| 0,5 | 0,701 | 0,736 | - | 0,67 | 0,08 |
| 0,25 | 0,334 | 0,321 | - | 0,33 | 0,01 |
| 0,125 | 0,134 | 0,129 | - | 0,13 | 0,00 |
| 0,0625 | 0,083 | 0,085 | - | 0,08 | 0,00 |
| 0,0312 | 0,042 | 0,059 | - | 0,05 | 0,01 |
| 0,0156 | 0,033 | 0,026 | - | 0,03 | 0,00 |

$$EC_{50} = 377 \mu\text{g/mL}$$

D- Extrait : EHAEG-AE

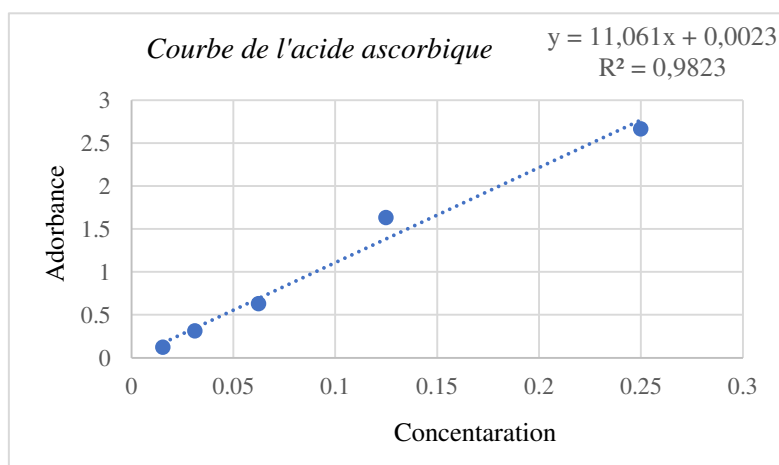
| C $\mu\text{g/mL}$ | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD |
|--------------------|-------|-------|-------|---------|------|
| 0,5 | 2,695 | 2,927 | - | 2,81 | 0,16 |
| 0,25 | 2,862 | 2,762 | - | 2,69 | 0,22 |
| 0,125 | 1,460 | 1,366 | - | 1,41 | 0,07 |
| 0,0625 | 0,659 | 0,716 | - | 0,69 | 0,04 |
| 0,0312 | 0,390 | 0,370 | - | 0,38 | 0,01 |
| 0,0156 | 0,108 | 0,127 | - | 0,12 | 0,01 |

$$EC_{50} = 45 \mu\text{g/mL}$$

E- Acide ascorbique

| C µg/mL | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD |
|---------|-------|-------|-------|---------|------|
| 0,5 | 2,209 | 2,640 | - | 2,62 | 0,09 |
| 0,25 | 2,654 | 2,679 | - | 2,67 | 0,02 |
| 0,125 | 1,623 | 1,645 | - | 1,63 | 0,02 |
| 0,0625 | 0,593 | 0,665 | - | 0,63 | 0,05 |
| 0,0312 | 0,332 | 0,298 | - | 0,32 | 0,02 |
| 0,0156 | 0,129 | 0,119 | - | 0,12 | 0,01 |

$$EC_{50} = 44,9 \mu\text{g/mL}$$



2-DPPH

A- Extrait : EAEG

| C µg/mL | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD | |
|---------|-------|-------|-------|---------|------|-------------------|
| 2 | 0,082 | 0,089 | - | 0,086 | 0,00 | C |
| 1 | 0,247 | 0,256 | - | 0,25 | 0,01 | 0,78 |
| 0,5 | 0,392 | 0,390 | - | 0,39 | 0,00 | 0,77 |
| 0,25 | 0,594 | 0,578 | - | 0,59 | 0,01 | 0,78 |
| 0,125 | 0,664 | 0,665 | - | 0,66 | 0,00 | Moy = 0,77 |
| 0,0625 | 0,730 | 0,735 | - | 0,73 | 0,00 | |
| 0,0312 | 0,755 | 0,753 | - | 0,75 | 0,00 | |
| 0,0156 | 0,775 | 0,775 | - | 0,78 | 0,00 | |
| 0,007 | 0,766 | 0,761 | - | 0,76 | 0,00 | |

$$IC_{50} = 72 \mu\text{g/mL}$$

B- Extrait : EHAEG

| C µg/mL | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD |
|---------|-------|-------|-------|---------|------|
| 2 | 0,152 | 0,126 | - | 0,14 | 0,02 |
| 1 | 0,379 | 0,385 | - | 0,38 | 0,01 |
| 0,5 | 0,588 | 0,583 | - | 0,59 | 0,00 |
| 0,25 | 0,698 | 0,680 | - | 0,69 | 0,01 |
| 0,125 | 0,736 | 0,740 | - | 0,74 | 0,00 |
| 0,0625 | 0,771 | 0,770 | - | 0,77 | 0,00 |
| 0,0312 | 0,773 | 0,761 | - | 0,77 | 0,02 |
| 0,0156 | 0,796 | 0,796 | - | 0,80 | 0,00 |
| 0,007 | 0,797 | 0,795 | - | 0,80 | 0,00 |

$$IC_{50} = 1,169 \mu\text{g/mL}$$

C- Extrait : EAEG-AE

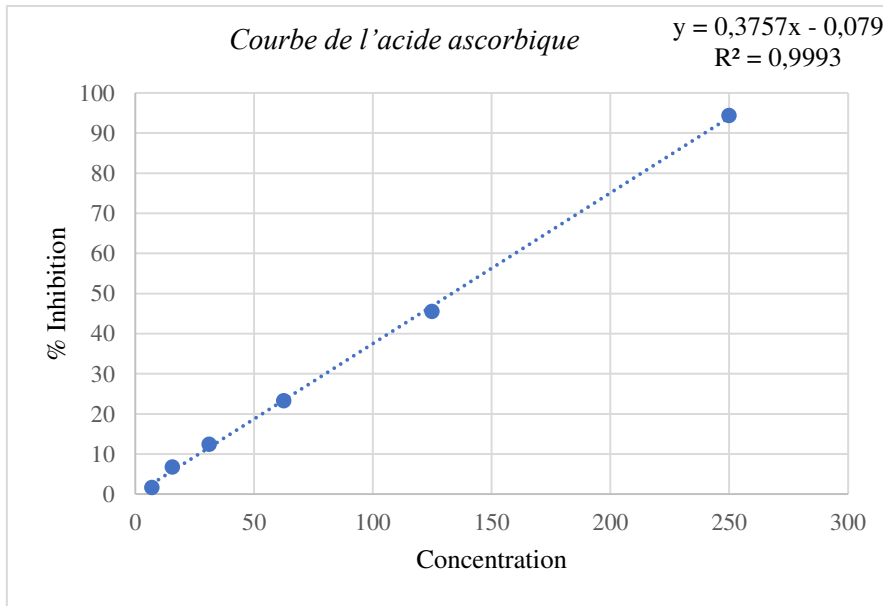
| C µg/mL | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD |
|---------|-------|-------|-------|---------|------|
| 0,5 | 0,192 | 0,198 | - | 0,20 | 0,00 |
| 0,25 | 0,442 | 0,447 | - | 0,44 | 0,01 |
| 0,125 | 0,607 | 0,608 | - | 0,61 | 0,01 |
| 0,0625 | 0,698 | 0,698 | - | 0,70 | 0,00 |
| 0,0312 | 0,738 | 0,739 | - | 0,74 | 0,00 |
| 0,0156 | 0,749 | 0,755 | - | 0,76 | 0,01 |
| 0,007 | 0,774 | 0,765 | - | 0,77 | 0,01 |

$$IC_{50} = 325 \mu\text{g/mL}$$

D- Extrait EHAEG-AE

| C µg/mL | Test1 | Test2 | Test3 | Moyenne | SD | |
|---------|-------|-------|-------|---------|------|------------|
| 0,5 | 0,038 | 0,033 | 0,041 | 0,04 | 0,00 | C' |
| 0,25 | 0,039 | 0,054 | 0,031 | 0,04 | 0,01 | 0,69 |
| 0,125 | 0,230 | 0,163 | 0,203 | 0,20 | 0,03 | 0,66 |
| 0,0625 | 0,333 | 0,379 | 0,396 | 0,37 | 0,03 | 0,70 |
| 0,0312 | 0,476 | 0,540 | 0,531 | 0,52 | 0,03 | Moy = 0,68 |
| 0,0156 | 0,601 | 0,584 | 0,602 | 0,60 | 0,01 | |
| 0,007 | 0,646 | 0,641 | 0,638 | 0,64 | 0,00 | |

$$IC_{50} = 80 \mu\text{g/mL}$$





REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen

Business Model Canvas

BMC

Date de dépôt :

N° de projet :

Faculté/Institut : Sciences

Département : Chimie

Nom du projet : *Des Extraits de Punica granatum L. au Cœur d'une Crème Solaire Réparatrice et Antioxydante*

Encadrant 1 : Mme BABA AHMED-CHIALI Nouria, MCA

Encadrant 2 : Mr ALLALI Hocine, Professeur

Co-encadrant 1 :

Co-encadrant 2 :

Etudiante : M^{elle} BRIXI GORMAT Khadidja Douâa

Année universitaire : 2023/2024

1- Proposition de valeur (Value Proposition) القيمة المقترحة

a. Quels problèmes résolvons-nous pour nos clients ?

ما هي المشاكل التي نحلها لعملائنا ؟

- ✓ *Sensibilités cutanées et allergies* : De nombreux produits cosmétiques traditionnels contiennent des ingrédients synthétiques ou irritants qui peuvent déclencher des réactions allergiques ou des irritations cutanées. Les produits cosmétiques naturels, avec leurs ingrédients doux et biologiques, peuvent aider à atténuer ces problèmes en offrant des solutions plus douces et mieux tolérées par la peau.
- ✓ *Préoccupation environnementales* : Les consommateurs sont de plus en plus conscients de l'impact environnemental de leurs choix de produits. Les cosmétiques naturels offrent une alternative plus durable en utilisant des ingrédients issus de sources renouvelables et des emballages écologiques, aidant ainsi les clients à réduire leur empreinte écologique.
- ✓ *Ethique et responsabilité sociale* : Les consommateurs recherchent de plus en plus des marques qui respectent des normes éthiques et sociales élevées. Les produits cosmétiques naturels, souvent produits de manière éthique et non testés sur les animaux, répondent à cette préoccupation croissante en offrant des options alignées sur les valeurs personnelles des clients.
- ✓ *Transparence et sécurité des ingrédients* : Les clients sont de plus en plus préoccupés par la composition des produits qu'ils utilisent sur leur peau. Les cosmétiques naturels offrent souvent une transparence accrue sur les ingrédients utilisés, permettant aux clients de faire des choix informés et de se sentir en sécurité quant à ce qu'ils appliquent sur leur peau.

b. Quels besoins de nos clients satisfont nos produits ou services ?

ما هي الاحتياجات التي يلبّيها منتجاتنا أو خدماتنا لعملائنا؟

- ✓ *Protection contre les rayons UV* : Les crèmes solaires naturelles offrent une protection efficace contre les rayons ultraviolets (UVA et UVB) du soleil, aidant ainsi à prévenir les coups de soleil, les dommages cutanés à long terme et le risque de cancer de la peau. Elles répondent au besoin fondamental des clients de protéger leur peau contre les effets néfastes du soleil.
- ✓ *Préservation de la santé de la peau* : En utilisant des ingrédients naturels et doux, les crèmes solaires naturelles préservent la santé de la peau, évitant les irritations, les réactions allergiques et les dommages causés par les produits chimiques agressifs présents dans certaines crèmes solaires conventionnelles.
- ✓ *Respect de l'environnement* : Les consommateurs sont de plus en plus sensibles à l'impact environnemental des produits qu'ils utilisent. Les crèmes solaires naturelles répondent au besoin croissant de solutions respectueuses de l'environnement en utilisant des ingrédients biodégradables et des emballages écologiques.
- ✓ *Préoccupations éthiques* : Les clients soucieux de leur santé et de l'environnement sont attirés par les crèmes solaires naturelles en raison de leur formulation éthique et de leur production responsable. Ils cherchent des produits qui correspondent à leurs valeurs personnelles de durabilité et de respect de la nature.
- ✓ *Sensations agréables sur la peau* : Les crèmes solaires naturelles offrent souvent une texture légère et non grasse, ainsi qu'une absorption rapide, ce qui les rend agréables à utiliser au quotidien. Elles répondent au besoin des clients de se sentir à l'aise et rafraîchis lorsqu'ils portent une protection solaire.

c. En quoi notre offre est-elle différente de celle de nos concurrents ?

في ماذا تختلف عروضنا عن تلك التي يقدمها منافسوننا؟

- ✓ *Ingrédients naturels et surs* : Assurez-vous que nos ingrédients sont non seulement efficaces pour protéger la peau contre les rayons UV, mais aussi doux et sans danger pour la peau et l'environnement.
- ✓ *Protection complète et efficace* : Nos crème solaire naturelle offre une protection complète et efficace contre les rayons UVA et UVB.
- ✓ *Formulation respectueuse de l'environnement* : Notre marque utilisent des ingrédients naturels issus de sources durable et en minimisant l'utilisation de produit chimique nocifs qui cause plusieurs cancers de la peau.
- ✓ *Texture et sensation sur la peau* : Notre produit assure la texture légère et non grasse ainsi la capacité d'adsorber facilement sans laisser de résidus sur la peau offre une expérience agréable à l'utilisateur, contrairement à certaines crèmes solaires conventionnelles qui sont lourdes et qui laisse une sensation collante sur la peau

d. Quelles est notre proposition unique de valeur ?

ما هو العرض الفريد للقيمة لدينا؟

Une crème cosmétique offrant des ingrédients naturels repose sur plusieurs aspects clés :

- ✓ *Qualité et sécurité* : Notre crème cosmétique utilise des ingrédients naturels de haute qualité, soigneusement sélectionnés pour leur efficacité et leur sécurité. Les consommateurs recherchent de plus en plus des produits qui minimisent l'exposition aux produits chimiques nocifs, ce qui fait de la naturalité un facteur de différenciation important.
- ✓ *Bienfaits pour la peau* : Les nombreux avantages offerts à la peau peuvent inclure une hydratation en profondeur, la réduction de l'inflammation, l'apport d'un éclat naturel et l'ajout d'huiles naturelles par rapport aux synthétiques, améliorant ainsi la santé de la peau et la protégeant contre les agressions extérieures telles que les rayons UV.
- ✓ *Durabilité et respect de l'environnement* : Les produits cosmétiques naturels peuvent jouer un rôle important dans la promotion d'une industrie plus respectueuse de l'environnement et de la santé.
- ✓ *Expérience sensorielle* : Les produits naturels présentent souvent une odeur et une texture distinctes qui peuvent offrir une expérience sensorielle unique et agréable pour les consommateurs, telle qu'une texture luxueuse, un parfum naturel et une sensation apaisante sur la peau.
- ✓ *Transparence et authenticité* : la transparence de notre marque cosmétique fournir des produits de haute qualité et efficaces tout en étant respectueux de la peau, de l'environnement et des valeurs de consommateurs.

2- Segments de clients (Customer Segment) : أنواع العملاء

a. Quels sont nos clients principaux?

من هم العملاء او الزبائن الرئيسيون؟

- ✓ *Les consommateurs soucieux de leur santé* : Ce segment comprend des personnes qui sont attentives à la composition des produits qu'elles utilisent sur leur peau et qui recherchent des alternatives naturelles pour éviter les produits chimiques potentiellement nocifs. Ils peuvent avoir des sensibilités cutanées ou des allergies et sont à la recherche de produits doux et non irritants.
- ✓ *Les consommateurs écologiquement conscients* : Ce groupe est composé de personnes qui valorisent la durabilité environnementale et qui cherchent à réduire leur empreinte écologique. Ils sont attirés par les cosmétiques naturels en raison de leur utilisation

d'ingrédients biologiques et durables, ainsi que de leur emballage respectueux de l'environnement.

- ✓ *Les adeptes du mode de vie naturel et bio* : Ces clients sont engagés dans un mode de vie axé sur le naturel et le bio. Ils recherchent des produits cosmétiques qui s'alignent sur leurs valeurs personnelles de bien-être, de santé et de respect de la nature. Ils peuvent être intéressés par des marques qui proposent une gamme complète de produits respectueux de l'environnement et de la santé.
- ✓ *Les consommateurs sensibles aux enjeux éthiques* : Ce segment comprend des personnes qui sont attentives aux pratiques éthiques et sociales des marques qu'elles soutiennent. Ils recherchent des cosmétiques provenant de marques qui adoptent des pratiques de production éthiques, qui ne testent pas sur les animaux et qui soutiennent des initiatives sociales et environnementales.
- ✓ *Les consommateurs en quête d'authenticité et de transparence* : Ce groupe de clients accorde de l'importance à la transparence des marques et à la traçabilité des ingrédients. Ils sont intéressés par les histoires derrière les produits et recherchent des marques qui partagent ouvertement des informations sur la provenance et les processus de fabrication de leurs produits cosmétiques naturels.

b. Quels sont les différents segments de clients que nous visons ?

ما هي الفئات المختلفة من العملاء التي تستهدفها؟

- ✓ *Les consommateurs de différents âges* : Ce segment comprend des personnes de tous âges qui accordent une grande importance à la santé de leur peau et qui recherchent des produits cosmétiques doux et non irritants. Ils peuvent être préoccupés par les effets des produits chimiques sur leur peau et préférer des solutions naturelles.
- ✓ *Les consommateurs écologiques* : Ce groupe est composé de personnes qui sont engagées dans des pratiques respectueuses de l'environnement et qui cherchent des produits cosmétiques qui reflètent leurs valeurs écologiques. Ils peuvent être sensibles à la durabilité des ingrédients et à l'utilisation de matériaux d'emballage recyclables.
- ✓ *Les consommateurs conscients* : Ces clients sont sensible aux certifications bio et adoptent une mode de vie axé sur le naturel et ils sont intéressés par les produits cosmétique qui utilisent des ingrédients bio.

c. Quels sont les besoins spécifiques de chaque segment de clients?

ما هي الاحتياجات الخاصة لكل فئة من العملاء؟

- ✓ *Les enfants*
 1. Besoin de crèmes solaires douces et non irritantes, spécialement formulées pour la peau délicate des enfants.
 2. Formules résistantes à l'eau pour une protection prolongée pendant les activités aquatiques.
 3. Des crèmes solaires avec des emballages attrayants et ludiques pour encourager une application régulière.
- ✓ *Les jeunes adultes actifs en plein air*
 1. Besoin de crèmes solaires à haute protection SPF pour une défense efficace contre les rayons UV pendant les activités de plein air.
 2. Les formulations solaires résistantes à l'eau et à la transpiration pour une protection durable pendant les exercices et les sports.
 3. Les crèmes solaires légères et non grasses qui s'absorbent rapidement et ne laissent pas de résidus collants sur la peau.
- ✓ *Les personnes à la peau sensible*
 1. Besoin de crèmes solaires hypoallergéniques et sans parfum pour éviter les réactions cutanées indésirables.

2. Des formulations douces avec des ingrédients apaisants comme l'aloès ou l'avoine colloïdale pour calmer et protéger la peau sensible.
 3. Options sans oxydenzone, octinoxate ou autre ingrédients potentiellement irritants ou nocifs.
- ✓ *Les amateurs de sports nautiques*
 1. Besoin de crèmes solaires spécifiquement conçues pour une utilisation en milieu aquatique, résistantes à l'eau et ne coulant pas dans les yeux.
 2. Des formules qui ne nuisent pas aux écosystèmes marins, comme les produits biodégradables et respectueux de l'environnement.
 3. Des options avec une protection renforcée contre les rayons UVA et UVB, ainsi que les réverbérations de l'eau.
 - ✓ *Les personnes à la recherche de produits naturels et respectueux de l'environnement*
 1. Besoin de crèmes solaires à base d'ingrédients naturels et biologiques, sans produits chimique synthétiques nocifs.
 2. Formulations respectueuses de l'environnement, sans oxydenzone, octinoxate ou autres substances nocives pour les récifs coralliens et les écosystèmes marins.
 3. Des emballages durables et recyclables pour réduire l'empreinte écologique.
- d. Comment pouvons-nous catégoriser nos clients en groupes distincts?
- كيف يمكن تصنيف عملائنا الى مجموعات مختلفة؟
- ✓ *Type de peau et besoins spécifiques* : Segmentez vos clients en fonction de leur type de peau (sèche, grasse, mixte, sensible) et de leurs besoins spécifiques (protection UV élevée, hydratation, anti-âge, etc.).
 - ✓ *Activités et style de vie* : Certains clients peuvent être plus actifs et avoir besoin de protections solaires résistantes à l'eau et à la transpiration, tandis que d'autres peuvent privilégier des produits plus légers pour un usage quotidien en ville.
 - ✓ *Sensibilités et préférences* : Certains clients peuvent avoir des allergies ou des sensibilités particulières à certains ingrédients ou formulations. La catégorisation peut prendre en compte ces facteurs pour offrir des produits adaptés.
 - ✓ *Facteurs démographiques* : L'âge, le sexe, le lieu de résidence et le niveau de revenu sont des critères classiques de segmentation qui peuvent influencer les préférences en matière de produits solaires.
 - ✓ *Attitudes et valeurs* : Certains clients peuvent être sensibles aux questions environnementales et préférer des produits solaires respectueux de l'environnement, tandis que d'autres peuvent être plus axés sur la praticité ou le prestige de la marque.
 - ✓ *Comportements d'achat* : Certains clients peuvent être fidèles à une marque spécifique, tandis que d'autres peuvent être plus enclins à essayer de nouveaux produits ou à rechercher des offres spéciales.

3- Relation avec les clients (Consumer Relationships) علاقة مع العملاء :

- a. Quel type de relation chaque segment de clients attend il de nous ?
 اي نوع من العلاقة يتوقعه كل فئة من العملاء منا؟
- ✓ *Les utilisateurs réguliers et fidèles* : Ces clients attendent une relation de confiance avec la marque. Ils peuvent rechercher des offres spéciales pour leur fidélité, un accès anticipé aux nouveaux produits et un service clientèle réactif pour répondre à leurs questions et préoccupations.
 - ✓ *Les clients sensibles aux enjeux environnementaux* : Ils peuvent attendre de la transparence sur les pratiques de durabilité de la marque, des emballages écologiques,

des formulations respectueuses de l'environnement et des initiatives de responsabilité sociale d'entreprise.

- ✓ *Les clients à la recherche d'expérience* : Ils peuvent rechercher une relation plus immersive avec la marque, à travers des expériences en magasin, des événements de sensibilisation, des collaborations avec des influenceurs ou des contenus engageants sur les réseaux sociaux.
- ✓ *Les clients à la recherche de solutions personnalisées* : Ces clients peuvent attendre des recommandations personnalisées en fonction de leur type de peau, de leurs préoccupations spécifiques et de leur mode de vie. Ils peuvent apprécier des services de consultation en ligne ou en magasin pour trouver les produits les mieux adaptés à leurs besoins.
- ✓ *Les clients à la recherche de prestige et d'exclusivité* : Ils peuvent rechercher une relation plus haut de gamme avec la marque, avec des produits de qualité supérieure, des emballages élégants et des offres exclusives réservées aux membres ou aux clients VIP.
- ✓ *Les clients occasionnels à la recherche de bonnes affaires* : Ils peuvent être sensibles aux promotions et aux offres spéciales, recherchant des produits solaires de qualité à des prix compétitifs. Ils peuvent également apprécier une communication claire et concise sur les caractéristiques et les avantages des produits.

b. Comment entretenons-nous actuellement les relations avec nos clients ?

كيف نحافظ حاليًا على العلاقات مع عملائنا؟

- ✓ *Programmes de fidélité* : Nos marques proposent des programmes de fidélité qui récompensent les clients réguliers par des points, des remises ou des cadeaux spéciaux en échange de leurs achats répétés. Ces programmes incitent les clients à rester fidèles à la marque.
- ✓ *Communication personnalisée* : Nos marques utilisent souvent des données client pour personnaliser les communications, en envoyant des e-mails ou des notifications mobiles avec des offres spéciales, des recommandations de produits ou des informations pertinentes basées sur les préférences et les habitudes d'achat des clients.
- ✓ *Services clientèle réactif* : Un service clientèle réactif et efficace est essentiel pour entretenir de bonnes relations avec les clients. Cela inclut la réponse rapide aux questions et préoccupations des clients, que ce soit par téléphone, e-mail, chat en ligne ou réseaux sociaux.
- ✓ *Contenu engageant sur les réseaux sociaux* : Les réseaux sociaux sont un excellent moyen pour les marques de cosmétiques de créer une communauté engagée et d'interagir directement avec leurs clients. Elles peuvent partager du contenu inspirant, des conseils de beauté, des tutoriels et répondre aux commentaires et messages des clients.
- ✓ *Événements et démonstrations en magasin* : Dans ce service, les événements en magasin, les séances de démonstration de produits et les consultations personnalisées permettent aux clients de vivre une expérience plus immersive avec la marque et renforcent les liens entre eux.
- ✓ *Feedback et améliorations continue* : Le service après vendre peuvent recueillir régulièrement les commentaires et les avis des clients sur leurs produits et services.

c. Comment pouvons-nous améliorer ou personnaliser nos interactions avec nos clients ?

كيف يمكننا تحسين أو تخصيص تفاعلاتنا مع عملائنا؟

- ✓ *Analyse des données clients* : Notre marque Utilisez les données client pour mieux comprendre les préférences, les habitudes d'achat et les comportements des clients. Cela peut inclure l'analyse des historiques d'achat, des interactions sur les réseaux sociaux, des enquêtes de satisfaction et d'autres données pertinentes.

- ✓ *Personnalisation des offres et recommandations* : Dans ce service, les informations recueillies sont utilisées pour proposer des offres et des recommandations de produits personnalisés. Cela peut se faire à travers des e-mails, des notifications push, des recommandations de produits sur le site web ou des offres spéciales basées sur les préférences individuelles des clients.
- ✓ *Programmes de fidélité améliorés* : Notre marque renforce les programmes de fidélité en offrant des récompenses plus attrayantes et en les adaptant aux intérêts et aux comportements des clients. Par exemple, proposez des récompenses spéciales pour les clients les plus fidèles ou des offres exclusives pour les membres VIP.
- ✓ *Communication personnalisée* : La personnalisation de la communication avec les clients implique l'utilisation de leur nom, l'envoi de messages d'anniversaire et la proposition de contenus pertinents en fonction de leurs centres d'intérêt et de leurs préoccupations en matière de beauté et de protection solaire.
- ✓ *Services de consultation et d'assistance personnalisés* : Des services de consultation en ligne ou en magasin sont offerts pour aider les clients à trouver les produits les mieux adaptés à leurs besoins spécifiques. Les recommandations personnalisées, qui tiennent compte du type de peau, des préoccupations spécifiques et du style de vie des clients, peuvent améliorer leur satisfaction et leur fidélité.
- ✓ *Evènements et expérience client exclusives* : Des événements exclusifs, des démonstrations de produits et des expériences en magasin sont organisés pour offrir à vos clients des occasions uniques d'interagir avec la marque et de découvrir de nouveaux produits de manière personnalisée.

4-Canaux de distribution (Channels) قنوات التوزيع :

a- Par quels canaux nos clients veulent-ils être atteints ?

من خلال أي قنوات يفضل عملاؤنا أن يتم التواصل معهم؟

- ✓ *En ligne (Site Web et Applications mobiles)* : De nombreux clients apprécient la commodité des achats en ligne. Un site web bien conçu et convivial, ainsi qu'une application mobile offrant une expérience d'achat fluide, peuvent attirer et fidéliser les clients.
- ✓ *Réseaux Sociaux* : Les plateformes de médias sociaux comme Instagram, Facebook, TikTok et Pinterest sont des canaux importants pour interagir avec les clients, promouvoir des produits, partager des contenus engageants et recueillir des avis.
- ✓ *Magasins Physiques* : Certains clients préfèrent faire leurs achats en personne pour pouvoir tester les produits, obtenir des conseils personnalisés et vivre une expérience d'achat tactile. Les magasins physiques peuvent également servir de lieux pour des événements spéciaux et des démonstrations de produits.
- ✓ *Marketplaces en Ligne* : Les clients peuvent également rechercher des crèmes solaires et des produits cosmétiques sur des marketplaces en ligne comme Amazon, eBay ou Alibaba, où ils peuvent comparer les prix et lire les avis des clients avant d'effectuer un achat.
- ✓ *E-mails et Notifications Push* : Les e-mails promotionnels et les notifications push peuvent être utilisés pour informer les clients sur les offres spéciales, les nouveaux produits et les événements à venir, ainsi que pour leur fournir des recommandations personnalisées.
- ✓ *Partenariats et Collaborations* : Nos marques peuvent également atteindre les clients à travers des partenariats et des collaborations avec d'autres entreprises ou des influenceurs dans le domaine de la beauté et du bien-être, en utilisant leur réseau existant pour toucher de nouveaux publics.

b- Quels canaux sont les plus efficaces pour atteindre chaque segment de clients ?

ما هي القنوات الأكثر فعالية للوصول إلى كل فئة من العملاء؟

- ✓ *Utilisateurs Réguliers et Fidèles* : E-mails personnalisés, programmes de fidélité avec des récompenses attrayantes, notifications push via des applications mobiles, accès anticipé aux nouveaux produits et offres spéciales pour les membres fidèles.
- ✓ *Clients Sensibles aux Enjeux Environnementaux* : Communication transparente via les réseaux sociaux et le site web sur les pratiques de durabilité et les ingrédients respectueux de l'environnement, collaborations avec des organisations environnementales, emballages écologiques et campagnes de sensibilisation.
- ✓ *Clients à la Recherche d'Expérience* : Contenus engageants sur les réseaux sociaux, vidéos tutoriels sur YouTube et Instagram, événements en magasin ou pop-up stores pour offrir une expérience immersive avec la marque, collaborations avec des influenceurs et des créateurs de contenu.
- ✓ *Clients à la Recherche de Solutions Personnalisées* : Services de consultation en ligne ou en magasin pour des recommandations personnalisées, chat en direct sur le site web pour répondre aux questions des clients en temps réel, recommandations de produits personnalisés basés sur l'historique d'achat et les préférences.
- ✓ *Clients à la Recherche de Prestige et d'Exclusivité* : Communication haut de gamme via des campagnes publicitaires ciblées sur les réseaux sociaux et les magazines de mode, événements exclusifs pour les clients VIP, collaborations avec des célébrités et des marques de luxe.
- ✓ *Clients Occasionnels à la Recherche de Bonnes Affaires* : Promotions et offres spéciales via des e-mails promotionnels et des notifications push, présence sur des marketplaces en ligne populaires comme Amazon avec des prix compétitifs, publicités ciblées sur les réseaux sociaux mettant en avant les avantages des produits à prix abordable.

c- Comment pouvons-nous intégrer différents canaux pour améliorer l'expérience clients ?

كيف يمكننا دمج مختلف القنوات لتحسين تجربة العملاء؟

- ✓ *Consistance de la Marque* : Notre marque assure notre identité visuelle sur tous les canaux, que ce soit en ligne (site web, réseaux sociaux, e-mails) ou hors ligne (magasins physiques, événements). Cela garantit une expérience client uniforme et reconnaissable.
- ✓ *Omnicanalité* : L'offre d'une expérience fluide et transparente aux clients en leur permettant de passer facilement d'un canal à un autre. Par exemple, les clients devraient pouvoir consulter des produits en ligne, puis les acheter en magasin ou vice versa, sans perdre de données ou d'informations sur leur parcours d'achat.
- ✓ *Personnalisation* : Pour personnaliser l'expérience sur chaque canal, exploitons les données client. Par exemple, envoyons des recommandations de produits personnalisés par e-mail en fonction de l'historique d'achat d'un client, ou proposons des offres spéciales sur les réseaux sociaux en fonction de leurs intérêts déclarés.
- ✓ *Interactions Multicanal* : Pour renforcer l'engagement des clients, encourageons les interactions entre différents canaux. Par exemple, incitons les clients à partager des photos de leurs produits sur les réseaux sociaux en échange de récompenses ou d'avantages spéciaux, ou utilisons les données des interactions en magasin pour personnaliser les communications en ligne.

- ✓ *Service Clientèle Intégré* : Le service clientèle est cohérent sur tous les canaux et que les clients peuvent facilement obtenir de l'aide ou poser des questions, que ce soit par téléphone, par e-mail, via le chat en ligne ou sur les réseaux sociaux.
- ✓ *Analyse et Optimisation Continue* : Pour suivre les interactions des clients sur différents canaux et identifier les points de friction ou les opportunités d'amélioration, recourons à des outils d'analyse. Ensuite, utilisons ces informations pour optimiser et affiner votre stratégie multicanale au fil du temps.

5-Partenaires clés (Key Partnerships) : الشراكة الرئيسية :

a. Qui sont nos partenaires clés ?

من هم شركاؤنا الرئيسيون؟

Dans la fabrication de crèmes pour la peau, nos partenaires clés sont généralement :

- Fournisseurs d'ingrédients
- Fabricants d'emballages
- Fabricants d'équipements
- Laboratoires de recherche et développement
- Distributeurs et détaillants
- Consultants réglementaires

Ces partenaires jouent des rôles essentiels dans la chaîne d'approvisionnement, de la formulation à la distribution des produits finis.

b. Quels sont les partenariats qui nous aident à réduire les coûts, à accéder à de nouvelles ressources ou à améliorer notre proposition de valeur ?

ما هي الشراكات التي تساعدنا على خفض التكاليف أو الوصول إلى موارد جديدة أو تحسين قيمتنا المقترحة؟

Pour réduire les coûts, accéder à de nouvelles ressources et améliorer notre proposition de valeur dans la fabrication de crèmes pour la peau, nous envisageons les partenariats suivants :

- Achats en gros avec des fournisseurs d'ingrédients.
- Collaboration avec des laboratoires de recherche et développement.
- Alliances avec des fabricants d'emballages innovants.
- Partenariats avec des universités ou des institutions de recherche.
- Accords de distribution avec des entreprises établies.
- Collaboration avec des consultants en efficacité opérationnelle.

Ces partenariats peuvent contribuer à optimiser nos opérations, à stimuler l'innovation et à élargir notre portée sur le marché.

c. Comment pouvons-nous aligner nos intérêts avec ceux de nos partenaires ?

كيف يمكننا مزامنة مصالحنا مع تلك لشركانا؟

Pour aligner nos intérêts avec ceux de nos partenaires dans la fabrication de crèmes pour la peau :

- Communiquez ouvertement pour comprendre leurs objectifs.
- Identifiez des objectifs communs et alignez nos activités.
- Créez de la valeur mutuelle par le partage des bénéfices et l'innovation.
- Cultivez la transparence et la confiance pour une relation solide.

- Soyez flexible et adaptable aux besoins changeants.
- Effectuez des évaluations régulières pour améliorer la collaboration.

Ces stratégies favorisent des relations de partenariat fructueuses et bénéfiques pour toutes les parties impliquées.

6-Activités clés (Key Activities): الأنشطة الرئيسية:

- a. Quelles sont les actions principales que nous devons entreprendre pour livrer notre proposition de valeur ?

ما هي الأنشطة الرئيسية التي يجب علينا القيام بها لتقديم قيمتنا المقترحة؟

- ✓ *Recherche et Développement (R&D)* : Notre engagement dans la recherche et le développement se traduit par des investissements dans de nouvelles formulations de crèmes solaires et de produits cosmétiques. Nous utilisons des ingrédients innovants et des technologies de pointe pour répondre aux besoins et aux attentes des clients.
- ✓ *Contrôle Qualité et Assurance* : Notre marque mettra en place des processus rigoureux de contrôle qualité pour s'assurer que tous les produits répondent aux normes de sécurité et de qualité les plus élevées, en effectuant des tests et des évaluations approfondis à chaque étape du processus de production.
- ✓ *Fabrication et Production* : Notre service sert à organiser la fabrication et la production des produits en tenant compte de la demande du marché, en assurant une gestion efficace des stocks et en garantissant des délais de livraison rapides et fiables.
- ✓ *Marketing et Communication* : Dans le cadre de nos efforts promotionnels, des stratégies marketing créatives et ciblées sont développées pour promouvoir les produits auprès des clients. Cette approche utilise une combinaison de publicité traditionnelle, de marketing digital, de relations publiques, d'influenceurs et de campagnes sur les réseaux sociaux.
- ✓ *Distribution et Logistique* : Pour distribuer les produits aux points de vente physiques et en ligne, un réseau de distribution efficace est mis en place. Ce réseau travaille avec des détaillants, des partenaires de distribution et des marketplaces pour atteindre un large public de manière efficace.
- ✓ *Service Clientèle et Support* : Un service clientèle exceptionnel est assuré en répondant aux questions des clients, en traitant les retours et les remboursements de manière efficace, et en offrant un support avant, pendant et après l'achat pour garantir la satisfaction et la fidélité des clients.
- ✓ *Éducation et Sensibilisation* : Notre compagnie sensibilise les clients aux avantages des crèmes solaires et des produits cosmétiques, en fournissant des informations éducatives sur les ingrédients, les techniques d'application et les meilleures pratiques en matière de soins de la peau et de protection solaire.

- b. Quelles sont les opérations essentielles pour notre entreprise ?

ما هي العمليات الأساسية لشركتنا؟

- ✓ *Approvisionnement en Ingrédients et Matières Premières* : L'approvisionnement constant en ingrédients de haute qualité pour la fabrication des produits sera assuré, en établissant des relations solides avec des fournisseurs fiables et en gérant efficacement les stocks.
- ✓ *Développement de Produits et Formulation* : Dans le cadre de notre investissement dans la recherche et le développement, nous développons de nouvelles formulations de produits répondant aux tendances du marché et aux besoins des clients, en tenant compte des réglementations et des normes en matière de sécurité des cosmétiques.

- ✓ *Fabrication et Production* : Organisation de la fabrication et la production des produits de manière efficace, en optimisant les processus de fabrication pour assurer la qualité et la rentabilité, tout en respectant les délais de livraison.
- ✓ *Contrôle Qualité et Assurance* : Des contrôles qualité rigoureux sont mis en place à chaque étape de la production pour garantir la conformité aux normes de sécurité et de qualité. Cela inclut l'effectuation de tests et d'analyses approfondis sur les produits finis.
- ✓ *Gestion des Stocks et de la Logistique* : La gestion efficace des stocks de produits finis et de matières premières sera assurée par notre marque afin d'éviter les ruptures de stock et les surstocks. Les processus logistiques seront optimisés pour permettre une distribution rapide et efficace des produits.
- ✓ *Marketing et Promotion des Produits* : Des stratégies marketing efficaces sont développées par notre marque pour promouvoir les produits auprès des clients cibles. Cela implique l'utilisation d'une combinaison de publicité, de promotion des ventes, de marketing digital et de relations publiques.
- ✓ *Vente et Distribution* : Un réseau de distribution solide est mis en place pour distribuer les produits aux points de vente physiques et en ligne. Cela implique la collaboration avec des détaillants, des distributeurs et des partenaires de vente au détail pour atteindre un large public.
- ✓ *Service Clientèle et Support* : Un service clientèle de qualité est assuré en répondant aux questions et aux préoccupations des clients, en traitant les retours et les réclamations de manière efficace, et en offrant un support avant et après-vente pour garantir la satisfaction des clients.

c. Quelles sont les activités qui créent le plus de valeur pour nos clients ?

ما هي الأنشطة التي تخلق أكبر قيمة لعملائنا؟

- ✓ *Recherche et Développement de Produits* : L'innovation dans le développement de nouvelles formulations de crèmes solaires et de produits cosmétiques qui offrent des avantages uniques, tels que la protection solaire avancée, l'hydratation, l'anti-âge ou le contrôle de la brillance, crée une valeur significative pour les clients en répondant à leurs besoins spécifiques.
- ✓ *Contrôle Qualité et Assurance* : La qualité et la sécurité des produits sont garanties grâce à des processus rigoureux de contrôle qualité. Cela crée de la valeur en inspirant la confiance des clients dans la fiabilité et l'efficacité des produits qu'ils achètent.
- ✓ *Personnalisation des Produits et des Services* : Des produits et des services personnalisés sont offerts pour répondre aux besoins spécifiques de chaque client, tels que des recommandations de produits adaptées à leur type de peau ou à leurs préoccupations individuelles. Cela crée une expérience d'achat plus pertinente et satisfaisante.
- ✓ *Service Clientèle et Support* : Un service clientèle exceptionnel est fourni en répondant rapidement et efficacement aux questions, aux préoccupations et aux demandes des clients, ce qui crée de la valeur en renforçant la satisfaction client et en fidélisant la clientèle.
- ✓ *Éducation et Sensibilisation* : Des informations et des conseils sont fournis pour éduquer les clients sur les avantages des crèmes solaires et des produits cosmétiques, ainsi que sur les meilleures pratiques en matière de soins de la peau et de protection solaire. Cela crée de la valeur en aidant les clients à prendre des décisions éclairées et à obtenir les résultats souhaités.
- ✓ *Expérience Client Transparente et Cohérente* : Une expérience client cohérente et transparente est offerte à travers tous les canaux de vente et de service, du premier contact à l'achat et au-delà. Cela crée de la valeur en renforçant la confiance et la fidélité des clients.

7- Ressources clés (Key resources): الموارد الرئيسية:

a. Quels sont nos actifs matériels, immatériels et humains essentiels ?

ما هي الأصول المادية وغير المادية والبشرية الأساسية لدينا؟

✓ *Actifs Matériels*

- I. Installations de Production : Des installations de production modernes et équipées pour fabriquer les crèmes solaires et les produits cosmétiques conformément aux normes de qualité et de sécurité.
- II. Équipements de Fabrication : Des équipements spécialisés pour le mélange, le conditionnement et l'étiquetage des produits, ainsi que des machines de remplissage automatisées pour assurer l'efficacité et la précision de la production.
- III. Stocks de Matières Premières : Des stocks suffisants de matières premières de haute qualité, telles que des filtres UV, des agents hydratants, des émulsifiants et des conservateurs, pour garantir une production ininterrompue.

✓ *Actifs Immatériels*

- I. Propriété Intellectuelle : Des marques déposées, des brevets et des droits d'auteur sur les formulations uniques, les noms de produits et les campagnes publicitaires, qui confèrent à l'entreprise un avantage concurrentiel et une valeur de marque.
- II. Relations Clientèle : Une base de données clientèle solide avec des informations sur les préférences, les habitudes d'achat et les commentaires des clients, permettant une communication personnalisée et une fidélisation efficace.
- III. Contenu Marketing : Du contenu marketing de haute qualité, tel que des visuels attractifs, des vidéos tutoriels et des articles de blog informatifs, pour promouvoir les produits et éduquer les clients sur les avantages des crèmes solaires et des produits cosmétiques.

✓ *Actifs Humains*

- I. Équipe de Recherche et Développement : Des chercheurs et des scientifiques qualifiés pour innover et développer de nouvelles formulations de produits, en utilisant des ingrédients sûrs et efficaces.
- II. Équipe de Fabrication : Des opérateurs qualifiés et expérimentés pour gérer la production et assurer la qualité des produits fabriqués.
- III. Équipe Marketing et Ventes : Des professionnels du marketing et des ventes pour promouvoir les produits, gérer les canaux de distribution et établir des relations avec les clients et les partenaires commerciaux.
- IV. Service Clientèle : Des représentants du service clientèle compétents pour répondre aux questions des clients, traiter les retours et les réclamations, et fournir un support avant et après-vente de haute qualité.

b. Quels sont les outils, les technologies ou les partenariats dont nous avons besoin pour réussir ?

ما هي الأدوات والتكنولوجيا أو الشراكات التي نحتاجها لتحقيق النجاح؟

Pour réussir dans la fabrication de crèmes pour la peau, nous aurons besoin des éléments suivants :

- Systèmes de gestion de la chaîne d'approvisionnement.
- Logiciels de gestion de la relation client.
- Technologies de fabrication avancées.
- Systèmes de contrôle de la qualité.
- Partenariats de recherche et développement.
- Accords de distribution et de marketing.

➤ Consultants spécialisés.

En tirant parti de ces ressources de manière stratégique, nous pouvons améliorer l'efficacité de nos opérations, développer des produits innovants et étendre notre présence sur le marché.

c. Quels sont les principaux avantages concurrentiels de nos ressources ?

ما هي المزايا التنافسية الرئيسية لمواردنا؟

- ✓ *Innovation Produit* : La capacité à développer et à introduire sur le marché des produits innovants et différenciés, grâce à des efforts de recherche et développement continus et à une expertise en formulation et en technologie.
- ✓ *Qualité et Sécurité* : La garantie de la qualité et de la sécurité des produits grâce à des contrôles qualité rigoureux, des tests approfondis et des normes élevées de fabrication, qui renforcent la confiance des clients dans la marque.
- ✓ *Marque et Réputation* : Une marque forte et une réputation solide dans l'industrie, basées sur des années d'expérience, des valeurs d'intégrité et d'engagement envers la satisfaction des clients.
- ✓ *Distribution et Accessibilité* : Un réseau de distribution étendu et efficace, comprenant une présence dans les canaux de vente physiques et en ligne, ainsi que des partenariats stratégiques avec des détaillants et des partenaires de distribution clés.
- ✓ *Service Clientèle Exceptionnel* : Un service clientèle de haute qualité, offrant une assistance proactive, des conseils personnalisés et une réponse rapide aux besoins et aux préoccupations des clients, ce qui renforce la fidélité et la satisfaction client.
- ✓ *Expertise en Marketing et en Communication* : Une expertise en marketing et en communication, utilisant des stratégies innovantes et créatives pour promouvoir les produits, engager les clients et différencier la marque de ses concurrents.
- ✓ *Durabilité et Responsabilité Sociale* : L'engagement envers la durabilité environnementale et sociale, avec des pratiques de fabrication respectueuses de l'environnement, des emballages écologiques et des initiatives de responsabilité sociale d'entreprise, qui attirent les clients soucieux de l'environnement.

8- Charges et coûts (Coste structure) : التكاليف

a. Quels sont les coûts fixes et variables associés à notre modèle économique ?

ما هي التكاليف الثابتة والمتغيرة المرتبطة بنموذجنا الاقتصادي؟

Dans la fabrication de crèmes pour la peau, nous avons des coûts fixes et variables associés à notre modèle économique :

Coûts fixes :

- ✓ Équipements de production : Achat de machines de fabrication, de réservoirs de stockage, etc.
- ✓ Installations : Acquisition ou location d'un espace de production, ainsi que les frais d'entretien, de loyer, d'électricité etc.
- ✓ Salaires du personnel (les opérateurs de production, les techniciens, et le personnel administratif,...).
- ✓ Recherche et développement : Les coûts liés à la recherche, à la formulation et au développement de nouvelles recettes, ainsi qu'à la validation des produits.
- ✓ Frais généraux et administratifs

Coûts variables :

- ✓ Matériaux et ingrédients : Ingrédients et des matières premières (les émoullissants, les agents hydratants, les parfums, etc.).
- ✓ Emballages : Les contenants, les étiquettes et autres matériaux d'emballage utilisés pour conditionner nos produits.
- ✓ Main-d'œuvre variable (les heures supplémentaires, les primes de production, etc.).
- ✓ Frais de distribution (Expédition, stockage et distribution des produits finis vers les clients ou les points de vente).
- ✓ Marketing et promotion : Activités de marketing, de publicité et de promotion visant à promouvoir nos produits et à attirer les clients.

En comprenant ces coûts fixes et variables, nous pouvons élaborer une stratégie économique qui prend en compte les différents facteurs financiers impliqués dans notre modèle d'entreprise.

b. Quels sont les coûts les plus importants pour notre entreprise ?

ما هي التكاليف الأكثر أهمية لشركتنا؟

Les coûts les plus importants pour notre entreprise de fabrication de crèmes pour la peau comprennent généralement :

- ✓ Les matériaux et ingrédients
- ✓ La main-d'œuvre
- ✓ Les équipements de production
- ✓ Le marketing et la promotion
- ✓ La recherche et développement
- ✓ Les frais généraux et administratifs

En identifiant et en gérant efficacement ces coûts, nous pouvons optimiser la rentabilité de notre entreprise.

c. Comment pouvons-nous réduire les coûts ou améliorer l'efficacité de nos opérations ?

كيف يمكننا خفض التكاليف أو تحسين كفاءة عملياتنا؟

Pour réduire les coûts ou améliorer l'efficacité de nos opérations dans la fabrication de crèmes pour la peau, nous envisageons les stratégies suivantes :

- ✓ Optimisation de la chaîne d'approvisionnement
- ✓ Automatisation des processus
- ✓ Gestion des stocks efficace
- ✓ Amélioration de l'efficacité énergétique
- ✓ Optimisation des processus de production
- ✓ Formation du personnel
- ✓ Utilisation efficace des technologies de l'information

En appliquant ces mesures, nous pouvons augmenter l'efficacité de notre entreprise tout en réduisant les coûts.

9- Revenus (Revenue) : مصادر الدخل

a. Quels produits ou services nos clients sont-ils prêts à payer ?

ما هي المنتجات أو الخدمات التي يكون عملاؤنا على استعداد لدفع ثمنها؟

Voici quelques types de produits et de services pour lesquels de nombreux clients sont généralement prêts à payer :

- ✓ *Protection Solaire Avancée* : Les crèmes solaires offrant une protection solaire élevée, à large spectre et résistante à l'eau, ainsi que des produits contenant des ingrédients innovants tels que des antioxydants et des filtres solaires minéraux, sont souvent recherchés et appréciés par les clients soucieux de leur santé et de leur bien-être.
- ✓ *Produits de Soins de la Peau de Haute Qualité* : Les produits de soins de la peau de qualité supérieure, tels que les crèmes hydratantes, les sérums anti-âges et les nettoyants doux, formulés avec des ingrédients naturels et efficaces, sont appréciés par les clients souhaitant obtenir une peau saine et éclatante.
- ✓ *Produits Cosmétiques Innovants* : Les produits cosmétiques innovants, tels que les fonds de teint légers avec une protection solaire intégrée, les rouges à lèvres longue tenue et les mascaras volumateurs, qui offrent des résultats exceptionnels et une facilité d'utilisation, sont souvent recherchés par les clients à la recherche de produits de maquillage de qualité.
- ✓ *Personnalisation des Produits et des Services* : Les produits et services personnalisés, tels que les crèmes solaires adaptées au type de peau ou les consultations en ligne avec des experts en beauté, qui répondent aux besoins spécifiques des clients et offrent une expérience d'achat plus pertinente et satisfaisante.
- ✓ *Éducation et Conseils* : Des services éducatifs et des conseils d'experts en matière de soins de la peau et de maquillage sont assurés. Cela inclut des tutoriels en ligne, des séances de consultation en magasin et des newsletters informatives, qui aident les clients à prendre des décisions éclairées et à obtenir les meilleurs résultats avec leurs produits.

b. Quels sont les différents moyens par lesquels nous pouvons générer des revenus ?

ما هي الطرق المختلفة التي يمكننا من خلالها تحقيق الدخل؟

- ✓ *Vente de Produits* : La vente directe de crèmes solaires, de produits de soins de la peau et de produits cosmétiques constitue la source principale de revenus pour de nombreuses entreprises du secteur. Cela peut se faire à travers des magasins physiques, des boutiques en ligne, des distributeurs, des pharmacies, des supermarchés et d'autres canaux de vente au détail.
- ✓ *Ventes en Ligne* : La vente en ligne via un site web de commerce électronique ou des marketplaces en ligne permet d'atteindre un public plus large et de faciliter les achats des clients, ce qui peut augmenter les revenus de l'entreprise.
- ✓ *Abonnements et Programmes de Fidélité* : La mise en place de programmes d'abonnement ou de fidélité, où les clients s'engagent à acheter régulièrement des produits en échange d'avantages ou de réductions spéciales, peut générer des revenus récurrents et fidéliser la clientèle.
- ✓ *Services de Consultation et d'Assistance* : La fourniture de services de consultation en ligne ou en magasin, où les clients peuvent obtenir des conseils personnalisés sur les soins de la peau, le maquillage et l'utilisation des produits, peut constituer une source de revenus supplémentaire.
- ✓ *Partenariats et Coopérations* : La conclusion de partenariats avec d'autres entreprises ou des influenceurs dans le domaine de la beauté et du bien-être, où les produits de l'entreprise sont promus auprès d'un nouveau public, peut générer des revenus grâce à des accords de parrainage ou de commission.

- ✓ *Événements et Expériences Client* : L'organisation d'événements spéciaux, de démonstrations de produits et d'expériences client en magasin ou en ligne, où les clients peuvent découvrir et acheter des produits dans un cadre convivial, peut stimuler les ventes et fidéliser la clientèle.
- ✓ *Publicité et Partenariats Médias* : La vente d'espaces publicitaires sur le site web de l'entreprise, les réseaux sociaux ou d'autres médias, ainsi que la conclusion de partenariats de co-branding avec d'autres marques ou publications, peut générer des revenus supplémentaires grâce à des collaborations marketing.

c. Quel est notre modèle de tarification ?

ما هو نموذج التسعير لدينا؟

En fonction de la stratégie commerciale et des objectifs de l'entreprise, on peut choisir un modèle de tarification qui lui permet de maximiser ses revenus, de fidéliser les clients et de se démarquer de la concurrence sur le marché des crèmes solaires et des cosmétiques, voici quelque modèle de tarification couramment utilisés dans ce secteur :

- ✓ *Prix Bas/Économique* : Une stratégie de tarification axée sur les prix bas, visant à attirer les clients sensibles au prix en offrant des produits abordables et accessibles. Cela peut être particulièrement efficace dans les segments de marché axés sur le volume et la commodité.
- ✓ *Prix Premium/Haut de Gamme* : Une stratégie de tarification visant à positionner les produits comme des produits de qualité supérieure et à justifier des prix plus élevés en mettant en avant des ingrédients de haute qualité, des formulations innovantes et des avantages uniques.
- ✓ *Tarification par Paliers* : Un modèle de tarification basé sur plusieurs niveaux de prix pour différents produits ou gammes de produits, permettant aux clients de choisir en fonction de leurs besoins, de leurs préférences et de leur budget.
- ✓ *Tarification Dynamique* : Une stratégie de tarification qui ajuste les prix en fonction de la demande, des tendances du marché et d'autres facteurs externes, permettant à l'entreprise de maximiser ses revenus tout en répondant aux fluctuations de la demande.
- ✓ *Tarification Freemium* : Un modèle de tarification où les produits de base sont proposés gratuitement, tandis que des fonctionnalités ou des avantages supplémentaires sont proposés moyennant un supplément, permettant aux clients d'essayer avant d'acheter et de passer à des offres premium si nécessaire.
- ✓ *Abonnements et Plans de Service* : Un modèle de tarification basé sur des abonnements mensuels ou annuels, où les clients paient un montant récurrent en échange d'un accès continu à des produits, des services ou des avantages exclusifs.
- ✓ *Tarification par Valeur* : Une stratégie de tarification qui aligne le prix sur la valeur perçue par les clients, en mettant en avant les avantages et les résultats des produits plutôt que simplement les coûts de production.



Business Model Canévas : BMC

Partenaires clés

- Fournisseurs d'écorces de grenade : 40 000 DZD par an.
- Fournisseurs d'autres ingrédients : 27 500 000 DZD par an.
- Distributeurs et détaillants : 150 000 DZD par an.
- Organisations de certification : 100 000 DZD par an.

Activités clés

- Recherche et Développement : 250 000 DZD par an.
- Production : 27 500 000 DZD par an.
- Marketing et Promotion : 150 000 DZD par an.
- Distribution : 1 000 000 DZD par an.
- Service client : 200 000 DZD par an.

Canaux de distribution

- Boutiques en ligne : 150 000 DZD par an.
- Magasins bio et pharmacies : 100 000 DZD par an.
- Salons et foires : 300 000 DZD par an.
- Vente directe : 100 000 DZD par an.

Proposition de valeur

- Crème solaire naturelle et biologique : 2 500 DZD par unité (50g).
- Produit écologique : Approuvé par des labels bio.
- Protection efficace et soin de la peau : Formulée pour une protection UV optimale et des bienfaits pour la peau.

Relation clients

- Service personnalisé : 100 000 DZD par an.
- Fidélisation : 150 000 DZD par an.
- Support client : 100 000 DZD par an.

Segment client

- Consommateurs soucieux de la santé : 40% des clients.
- Familles : 30% des clients.
- Sportifs et amateurs de plein air : 20% des clients.
- Personnes à la peau sensible : 10% des clients.

Coûts

- Coûts de production : 27 540 000 DZD par an.
- R&D : 250 000 DZD par an.
- Marketing : 150 000 DZD par an.
- Distribution : 1 000 000 DZD par an.
- Personnel : 720 000 DZD par an.
- Partenaires clés : 290 000 DZD par an.
- Relation clients : 350 000 DZD par an.
- Canaux de distribution : 650 000 DZD par an.
- Énergie (électricité, eau, etc.) : 600 000 DZD par an.
- Infrastructures (location) : 600 000 DZD par an.
- Total : 32 150 000 DZD par an.

Canaux de distribution

- Boutiques en ligne : 150 000 DZD par an.
- Magasins bio et pharmacies : 100 000 DZD par an.
- Salons et foires : 300 000 DZD par an.
- Vente directe : 100 000 DZD par an.

Revenus

- Prix par unité : 2 500 DZD
- Unités vendues : 15 000 unités par an
- Total des revenus : 15 000 unités x 2 500 DZD = 37 500 000 DZD

Synthèse financière annuelle

Revenu total:

- **Ventes directes** : 37 500 000 DZD

Coût total:

- **Coûts de production** : 27 540 000 DZD
- **R&D** : 250 000 DZD
- **Marketing** : 150 000 DZD
- **Distribution** : 1 000 000 DZD
- **Personnel** : 720 000 DZD
- **Partenaires clés** : 290 000 DZD
- **Relation clients** : 350 000 DZD
- **Canaux de distribution** : 650 000 DZD
- **Énergie** : 600 000 DZD
- **Infrastructures (location)** : 600 000 DZD
- **Total** : 32 150 000 DZD

Profit Annuel:

- **Total des revenus** : 37 500 000 DZD
- **Total des coûts** : 32 150 000 DZD
- **Résultat net** : 5 350 000 DZD

Résumé

Les dommages cutanés induits par les rayons UV et le stress oxydatif nécessitent des solutions protectrices efficaces. Les extraits de *Punica granatum* L. sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, offrant une perspective prometteuse pour la formulation de crèmes solaires naturelles. Ce travail vise à préparer une crème solaire à base d'extraits polyphénoliques de grenade, en évaluant leur capacité protectrice contre les UV et leur potentiel antioxydant. Les extraits aqueux (EAEG) et hydroalcooliques (EHAEG) des écorces de grenade ont été préparés, ainsi que leurs fractions à l'acétate d'éthyle (EAEG-AE et EHAEG-AE). Les composés bioactifs ont été dosés, et les activités antioxydantes ont été évaluées par les tests DPPH et FRAP. Des crèmes solaires ont ensuite été formulées et testées pour leur homogénéité, stabilité, viscosité, pH, et SPF. Les extraits hydroalcooliques et leurs fractions présentaient des concentrations élevées en polyphénols et flavonoïdes. Les tests antioxydants ont classé les extraits selon l'activité : EHAEG-AE > EAEG-AE > EAEG > EHAEG. La crème à base d'EAEG a montré une excellente stabilité, un comportement rhéofluidifiant, un pH de 5,21 et un SPF de 60. Les extraits de grenade, particulièrement ceux à base d'eau, se révèlent prometteurs pour la formulation de crèmes solaires efficaces. Les perspectives incluent l'optimisation des méthodes d'extraction, les évaluations in vivo, et le développement de produits complémentaires.

Mots-clés : *Punica granatum* L., polyphénols, antioxydants, crèmes solaires, rayons UV

Abstract

Skin damage induced by UV rays and oxidative stress necessitates effective protective solutions. Extracts from *Punica granatum* L. are recognised for their antioxidant properties, offering a promising perspective for the formulation of natural sunscreens. This work aims to prepare a sunscreen based on polyphenolic extracts of pomegranate, evaluating their UV protective capacity and antioxidant potential. Aqueous (EAEG) and hydroalcoholic (EHAEG) extracts from pomegranate peels were prepared, along with their ethyl acetate fractions (EAEG-AE and EHAEG-AE). Bioactive compounds were quantified, and antioxidant activities were assessed using DPPH and FRAP tests. Sunscreens were then formulated and tested for homogeneity, stability, viscosity, pH, and SPF. Hydroalcoholic extracts and their fractions exhibited high concentrations of polyphenols and flavonoids. Antioxidant tests ranked the extracts according to activity: EHAEG-AE > EAEG-AE > EAEG > EHAEG. The EAEG-based cream showed excellent stability, shear-thinning behaviour, a pH of 5.21, and an SPF of 60. Pomegranate extracts, particularly those based on water, show promise for the formulation of effective sunscreens. Future work includes optimising extraction methods, conducting in vivo evaluations, and developing complementary products.

Keywords: *Punica granatum* L., polyphenols, antioxidants, sunscreens, UV rays

ملخص

تتطلب الأضرار الجلدية الناتجة عن الأشعة فوق البنفسجية والإجهاد التأكسدي حلولاً وقائية فعالة. تُعرف مستخلصات نبات الرمان (*Punica granatum* L.) بخصائصها المضادة للأكسدة، مما يوفر بديلاً واعداً لصياغة الكريمات الشمسية الطبيعية. يهدف هذا العمل إلى إعداد كريم واقٍ من الشمس يعتمد على مستخلصات بوليفينولية من قشور الرمان، مع تقييم قدرتها على الحماية من الأشعة فوق البنفسجية وإمكاناتها المضادة للأكسدة. تم تحضير مستخلصات مائية (EAEG) ومستخلصات مائية كحولية (EHAEG) من قشور الرمان، وكذلك كسورها المشتقة من أسيتات الإيثيل (EAEG-AE و EHAEG-AE). تم قياس المركبات النشطة بيولوجياً، وتم تقييم الأنشطة المضادة للأكسدة باستخدام اختباري DPPH و FRAP. بعد ذلك، تم صياغة الكريمات الشمسية واختبارها من حيث التجانس والثباتية والزوجة ودرجة الحموضة (pH) وعامل الحماية من الشمس (SPF). أظهرت المستخلصات المائية الكحولية وكسورها تركيزات عالية من البوليفينولات والفلافونويدات. صنفت الاختبارات المضادة للأكسدة المستخلصات حسب النشاط: EHAEG-AE > EAEG-AE > EAEG > EHAEG. أظهر الكريم المستند إلى EAEG استقراراً ممتازاً، وسلوكاً ريولوجياً، ودرجة حموضة بلغت 5,21، وعامل حماية من الشمس (SPF) بلغ 60. تظهر مستخلصات الرمان، خصوصاً تلك القائمة على الماء، واعداً لصياغة كريمات شمسية فعالة. تشمل الأفاق المستقبلية تحسين طرق الاستخلاص، التقييمات الحية (in vivo)، وتطوير منتجات تكميلية. الكلمات المفتاحية: *Punica granatum* L.، البوليفينولات، مضادات الأكسدة، الكريمات الشمسية، الأشعة فوق البنفسجية.