



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département de Biochimie et Biologie
Cellulaire et Moléculaire

قسم الكيمياء الحيوية والبيولوجيا
الخلوية والجزيئية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

**Évaluation de l'activité antioxydante et photoprotectrice de l'extrait
méthanolique d'une plante appartenant au genre *Helosciadium* (Apiaceae)**

Présenté par : BOUDEMIA Heithem
MENAD Akram

Le : 24/06/2025

Jury d'évaluation :

Président du jury : Dr KHELALFA Khaoula MCB Université Constantine 1 Frères Mentouri

Rapporteur : Dr LEFAHAL Mostefa MCA Université Constantine 3 Salah Boubnider

Examinatrice : Dr AZZOUZI Salima MCA Université Constantine 3 Salah Boubnider

**Année universitaire
2024 - 2025**

Remerciement

On remercie Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Dr **Lefahal Mostefa**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury à **Madame la Présidente Khelalfa Khaoula**, pour l'honneur qu'elle m'a fait en présidant cette soutenance, ainsi qu'à **Madame Azzouzi Salima**, examinatrice, pour l'intérêt qu'elle a porté à mon travail.*

Nous tenons à remercier chaleureusement tout le personnel de l'unité de recherche : valorisation des ressources naturelles molécules bioactives et analyses physico-chimiques et biologiques

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverai jamais à leur exprimer mon amour sincère.

*À mon précieux cadeau de Dieu, à qui je dois ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **Menad Haoues**.*

*À la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux : mon adorable mère **Mehazgem Ouarda**.*

*À mes chères sœurs **Bouchra, moufida et kawther**, et à mes chers frères **oualid, Manar et zaki**, qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leur offre la chance et le bonheur.*

À eux, qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

*Et à mon encadreur **Dr M. Lfahal**, pour ses conseils, son accompagnement et son implication précieuse dans la réalisation de ce travail.*

*À tous mes amis, et spécialement à **Iyad, Rami, Ali, Islem, Raouf, Souheil, Khalil et Aymen**, pour leur présence, leur amitié sincère et leur soutien constant.*

*À mon binôme **Heithem**, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

Akram

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

À mes merveilleux parents, ce travail est avant tout le fruit de votre éducation, de vos sacrifices et de votre amour inconditionnel. Merci de m'avoir appris la valeur de l'effort, le respect de soi et des autres, et surtout, de ne jamais abandonner. Je vous aime.

À mon frère et à ma sœur, vous êtes la lumière de mes journées et la douceur qui apaise les moments difficiles. Vous grandissez sous mes yeux et, à chaque étape, vous me rappelez la beauté de l'innocence et la force de l'amour fraternel. Je vous dédie ce travail avec tout mon cœur, en espérant être un exemple que vous serez fiers de suivre un jour.

À mes chères tantes, vous avez toujours été pour moi bien plus que de simples tantes : des mères de cœur, des épaules rassurantes, des présences constantes et bienveillantes.

À mon encadrant Dr M. Lefah, pour son encadrement rigoureux, ses conseils éclairés et sa disponibilité tout au long de ce travail.

À mes amis et à mes camarades, avec qui j'ai partagé une partie de mon parcours et de ma vie, et avec qui j'ai vécu des moments incoubables de joie et de folie au cours de ces années. Un remerciement tout particulier à mon ami, camarade et frère de cœur, mon binôme Akram, pour sa présence, son soutien constant et son amitié précieuse tout au long de ce chemin.

Et à moi-même parce que je le mérite.

Haithem

Liste des abréviations

UV : Ultra-Violet

PPS : Produits de protection solaire

SPF : Facteur de protection solaire

ADN : Désoxyribonucléique

TAC : Capacité antioxydante totale

DPPH : 2,2-diphényl-1-picryl hydrazyl

TFC : Teneur en flavonoïdes totaux

TPC : Teneur en polyphénols totaux

EAG : Equivalent acide gallique

EQ : Equivalent quercétine

EAA : Equivalent acide ascorbique

λ_c : La longueur d'onde critique

A(λ) : Absorbance monochromatique

EE (λ) : Le spectre de l'effet érythémateux

I (λ) : Le spectre de l'intensité du soleil

Abs (λ) : Absorbance

CW : longueur d'onde critique

CF : Facteur de correction

IR : Infrarouges

CE : Communauté Européenne

PABA : Para-aminobenzoïque

ISO : Organisation internationale de normalisation

PMMA : Polyméthylméthacrylate

PPD : Assombrissement Pigmentaire Persistant

APG : *Angiosperm Phylogeny*

DCM : Dichlorométhane

ASC : Aire Sous la Courbe

v/v: volume/volume

p/p : poids/poids

% : Pourcentage

C° : Degré Celsius

Na₂CO₃ : Carbonate de sodium

AlCl₃ : Chlorure d'aluminium

Mo : Molybdène

FeCl₃ : Chlorure ferrique

BHT : Hydroxytoluène butylé

EtOAc : Acétate d'éthyle

MeOH : Méthanol

FDA : Food and Drug Administration

Table des matières

Introduction.....	1
--------------------------	----------

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I.1 Généralité	4
I.2 Structure de la peau	4
I.3 Fonctions de la peau	5
I.4 Impact du rayonnement solaire sur la peau.....	6
I.4.1 Rayonnements solaire.....	6
I.4.1.1 Rayonnements ultraviolets	6
I.4.1.2 Effets bénéfiques des rayonnements UV.....	7
I.4.1.3 Effets néfastes des rayonnements UV	8
I.5 Photoprotection.....	9
I.5.1 Produits de protection solaire (PPS).....	9
I.5.1.1 Filtres ultraviolets UV	10
I.5.1.1.1 Filtres UV chimiques (organiques).....	10
I.5.1.1.2 Filtres UV physiques (minéraux)	12
I.5.1.1.2.1 Limites des composés naturels	16
I.5.1.2 Toxicité des filtres UV	16
I.5.2 Évaluation de l'efficacité des produits de protection solaire.....	17
I.5.2.1 Méthode in vivo de détermination des FPS.....	17
I.5.2.2 Méthodes in vitro de détermination des FPS.....	18
I.5.2.3 Protection contre les UVA.....	19
I.6 La famille des Apiacées	20
I.6.1 Caractères généraux des Apiécées.....	21
I.6.2 Classification de la famille des Apiacées	22
I.6.3 Phytochimie des Apiacées.....	24
I.6.4 Importances économique et thérapeutique de la famille des Apiacées	24
I.6.5 Toxicité des Apiacées.....	26
I.7 Présentation du genre Helosciadium	26
I.7.1 Généralité	26
I.7.2 Classification du genre Helosciadium	27
I.7.3 Usage traditionnel de certaines espèces appartenant au genre Helosciadium	28

I.7.4	Phytochimie des espèces appartenant au genre <i>Helosciadium</i>	28
-------	--	----

Chapitre II : Matériels et Méthodes

II.1	Récolte de la matière végétale.....	36
II.2	Extraction	36
II.3	Caractérisation phytochimique	36
II.3.1	La teneur en phénols totaux (TPC).....	36
II.3.2	La teneur en flavonoïdes totaux (TFC).....	36
II.4	Evaluation de l'activité antioxydante	37
II.4.1	Piégeage du radical 2-diphényl-picrylhydrazyl (DPPH)	37
II.4.2	La capacité antioxydante totale (TAC) par le test phosphomolybdène	37
II.4.3	Activité de réduction par la formation du complexe Fe ⁺² -phénanthroline	37
II.5	Evaluation de l'effet photoprotecteur	38
II.5.1	Évaluation du potentiel de filtration des UV	38
II.5.2	Détermination du facteur de protection solaire (FPS) in vitro	38
II.5.3	Evaluation de la protection contre les rayonnements UVA.....	38
II.5.3.1	Détermination de longueur d'onde critique λ_c	38
II.5.3.2	Détermination du rapport UVA/UVB	39
II.5.3.3	Détermination du rapport UVAI/UV	39
II.5.4	Evaluation de photostabilité	40
II.5.5	Evaluation de thermostabilité	40
II.5.6	Test de la capacité de l'extrait méthanolique à booster le FPS d'un écran solaire	40

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1	Teneur en polyphénols et flavonoïdes	44
III.1.1	Teneur en polyphénols totaux TPC	44
III.1.2	Teneur en flavonoïdes totaux TFC	45
III.2	Evaluation de l'activité antioxydante in vitro	46
III.2.1	Piégeage du radical 2-diphényl-picrylhydrazyl (DPPH)	46
III.2.2	Activité de réduction par la formation du complexe Fe ⁺² -phénanthroline	47
III.2.3	La capacité antioxydante totale (TAC).....	48
III.3	Evaluation de l'effet photoprotecteur de l'extrait méthanolique.....	50
III.3.1	Évaluation du potentiel d'absorption des rayonnements UV	50
III.3.2	Evaluation du facteur de protection solaire (FPS) in vitro	51

III.3.3	Evaluation de la protection contre les rayonnements UVA.....	52
III.3.4	Evaluation de la photostabilité et la thermostabilité.....	53
III.3.4.1	Évaluation de la photostabilité après irradiation UV.....	53
III.3.4.2	Évaluation de la thermostabilité	55
III.3.5	Test de la capacité de l'extrait méthanolique à booster le FPS d'un écran solaire	56
Conclusion perspectives.....		64

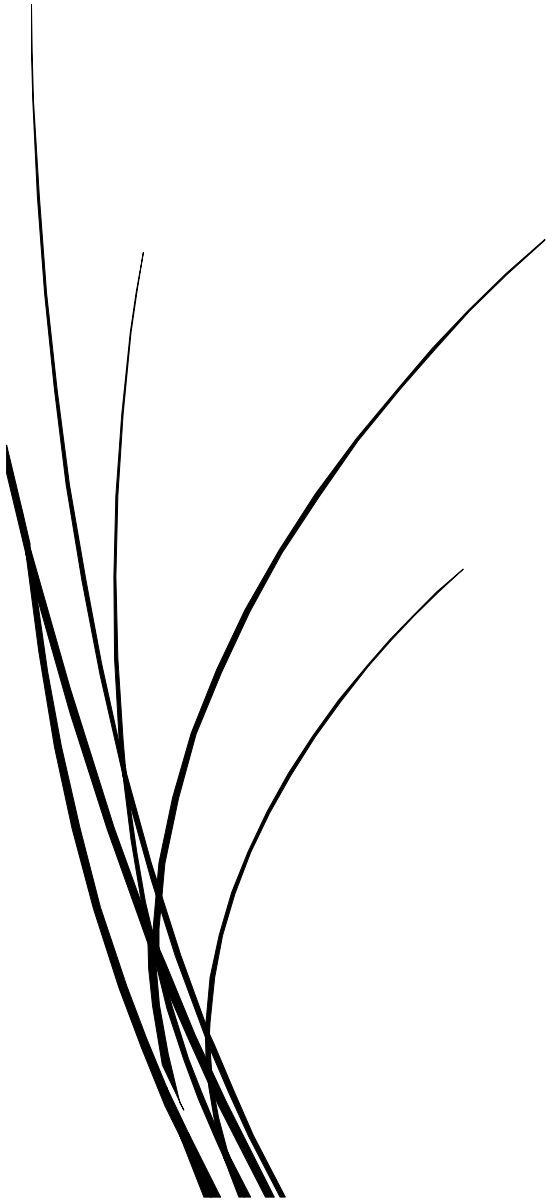
Liste des figures

Figure 1 : Structure de la peau.....	4
Figure 2 : Les rayons emis par le soleil.....	6
Figure 3 : Effets nefastes des rayonnements uv (l'erytheme actinique)	8
Figure 4 : Effets nefastes des rayonnements uv (les carcinomes epidermoïdes)	9
Figure 5 : Mode d'action des filtres uv organiques.....	11
Figure 6 : Differentes classes des filtres uv organiques	12
Figure 7 : Mode d'action des filtres uv minéraux	13
Figure 8 : Structure chimique de certains composes naturels qui ont des proprietes protectrices contre les UV	14
Figure 9 : Zéaxanthine	15
Figure 10 : Effets nefastes des filtres uv sur les coraux	17
Figure 11 : Methode in vivo de determination des FPS	18
Figure 12 : Methode in vitro de determination des FPS	19
Figure 13 : Produit solaire a large spectre	20
Figure 14 : Repartition geographique mondiale des apiacees.....	21
Figure 15 : Ombelle simple et ombelle composee des apiacees	22
Figure 16 : Cladogramme des angiospermes selon apg III : position de l'ordre des apiales...	23
Figure 17 : Quelques especes representatives de la famille des apiaceae.	26
Figure 18 : Quelques especes representatives du genre helosciadium.....	27
Figure 19 : Courbe d'etalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphenols	44
Figure 20 : Courbe d'etalonnage de la quercetine pour le dosage des flavonoïdes	45
Figure 21 : Courbe d'etalonnage de l'acide ascorbique (test dpsh).....	46
Figure 22 : Courbe d'etalonnage de l'acide ascorbique (test phenanthroline).....	48
Figure 23 : Courbe d'etalonnage de l'acide ascorbique	49
Figure 24 : Le potentiel d'absorption des rayonnements UVA et UVB	50
Figure 25 : Courbe d'etalonnage du benzophenone 3 et de l'extrait methanolique.....	52
Figure 26 : Air sous la courbe avant et apres irradiation UV.....	54
Figure 27 : Air sous la courbe de l'extrait methanolique apres exposition a la chaleur	55
Figure 28 : Le potentiel d'absorption des rayonnements UV	57

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caracteristiques des differents types de rayons ultraviolets	7
Tableau 2 : Classification des produits de protection solaire selon la commission europeenne	20
Tableau 3 : Repartition mondiales des genres d'apiacées.....	21
Tableau 4 : Filtres uv contenus dans la formule testee	41
Tableau 5 : Teneur en composes phenoliques et flavonoïdiques totaux de l'extrait methanolique.....	44
Tableau 6 : Activite antioxydante evaluee par la methode dp ₉₈₀ exprimee en equivalents d'acide ascorbique (EAA)	47
Tableau 7 : Activite antioxydante evaluee par la methode a la phenanthroline, exprimee en equivalents d'acide ascorbique (EAA)	48
Tableau 8 : Capacite antioxydante totale (TAC) évaluée par la methode au phenanthroline, exprimee en equivalents d'acide ascorbique (EAA)	49
Tableau 9 : Parametres de l'activite photoprotectrice.....	51
Tableau 10 : Concentration necessaire pour atteindre les fps specifiques	52
Tableau 11 : Pourcentage residuel de l'aire sous la courbe (%) en fonction de temps d'exposition au rayonnement UV	54
Tableau 12 : Pourcentage residuel de l'aire sous la courbe (%) en fonction de temps d'exposition a la chaleur.....	56
Tableau 13 : Valeurs FPS de crème commerciale incorporee par differentes concentrations de l'extrait methanolique	57

Introduction



Introduction

Les produits de beauté et notamment les cosmétiques sont largement utilisés non seulement pour valoriser la beauté, mais aussi pour prendre soin de la peau, les dents, et parfumer le corps, ou encore décorer la peau pour des raisons culturelles ou religieuses (McMullen & Dell'Acqua, 2023).

Au cours des dernières décennies, les activités humaines ont entraîné une dégradation significative de la couche d'ozone, barrière naturelle contre les rayonnements solaires nocifs. Cette altération a entraîné une augmentation du rayonnement ultraviolet (UV) atteignant la surface terrestre, ce qui a provoqué une hausse préoccupante des maladies cutanées liées à une exposition excessive au soleil (Napagoda *et al.*, 2016).

Actuellement, les produits de protection solaire représentent la stratégie la plus couramment utilisée pour limiter la pénétration des UV dans la peau. Ces produits contiennent des substances capables d'absorber, de réfléchir ou de diffuser les rayons UV, protégeant ainsi la peau. Par ailleurs, il a été mentionné que certains ingrédients actifs sont toxiques ce qui attiré l'intention de plusieurs auteurs scientifiques à chercher des sources naturelles sûres et non toxiques (des extraits végétales et algues marines).

En effet, l'industrie cosmétique commence également à s'intéresser par les ingrédients d'origine naturelles qui représentent une source riche en composés bioactifs. Les extraits issus de plantes peuvent non seulement améliorer l'aspect de la peau, mais contribuent également au traitement de diverses affections dermatologiques, tout en étant doux, sûrs et bien tolérés (Michalak, 2023).

L'Algérie, avec ses 2 381 741 km² de superficie, est le plus vaste pays bordant la Méditerranée. Elle se caractérise par une biodiversité remarquable, notamment en ce qui concerne les plantes médicinales et aromatiques, largement utilisées dans les savoirs et pratiques traditionnels à travers les différentes régions. Ce patrimoine végétal constitue un réservoir précieux de ressources naturelles, offrant un fort potentiel pour le développement de solutions innovantes et durables en cosmétique (Hadjadj, K. *et al.*, 2019), notamment dans le domaine de la photoprotection.

Dans ce contexte, notre travail s'est intéressé à l'évaluation du potentiel photoprotecteur d'un extrait méthanolique issue d'une plante algérienne appartenant au genre *Helosciadium* de la famille des Apiacées. Pour cela, nous avons structuré le présent travail en trois chapitres.

Le chapitre I est divisé en deux grandes sections :

La première section est consacrée aux généralités sur la peau humaine, à ses principales fonctions, ainsi qu'aux effets des rayonnements solaires, notamment les rayons ultraviolets, sur les tissus cutanés et la photoprotection.

La seconde section présente des généralités sur la famille des Apiacées, en mettant en évidence ses caractéristiques botaniques, ses propriétés biologiques, ainsi que ses usages traditionnels. Elle se termine par une description de genre *Helosciadium*, auquel appartient la plante de notre étude.

Le chapitre II est consacré à la partie expérimentale, avec une présentation du matériel utilisé et des méthodes appliquées pour l'extraction des composés, le dosage des polyphénols et flavonoïdes, l'évaluation de l'activité antioxydante (tests DPPH, TAC, Phénanthroline), ainsi que l'étude des paramètres photoprotecteurs (FPS, λ_c , rapport UVA/UVB et UVAI/UV), en outre, une analyse de photostabilité et de thermostabilité de l'extrait a été réalisée.

Le chapitre III mis en évidence les résultats obtenus et leur discussion, permettant d'interpréter les données expérimentales et de tirer des conclusions.

Références

- Hadjadj, K., Benaïssa, M., Mahammedi, M., Ouragh, A., & Rahmoune, A. (2019). *Importance des plantes médicinales pour la population rurale du parc national de Djebel Aïssa (Sud-Ouest algérien)*. 199. <https://popups.uliege.be/0457-4184/index.php?id=1865>.
- McMullen, R. L., & Dell'Acqua, G. (2023). History of Natural Ingredients in Cosmetics. *Cosmetics*, 10(3), 71. <https://doi.org/10.3390/cosmetics10030071>
- 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>
- Napagoda, M. T., Malkanthi, B. M. A. S., Abayawardana, S. A. K., Qader, M. M., & Jayasinghe, L. (2016). Photoprotective potential in some medicinal plants used to treat skin diseases in Sri Lanka. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 479. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1455-8>

Chapitre I

Synthèse Bibliographique



I.1 Généralité

La peau constitue un organe fondamental qui recouvre l'ensemble du corps humain. Chez l'adulte, elle s'étend sur une surface comprise entre 1,2 et 2,2 m², représentant environ quatre kilogrammes, soit 7 % de la masse corporelle totale. Son épaisseur est variable suivant les régions de l'organisme, allant de 1.5 à 4 millimètres. La peau est également désignée sous le terme de tegment en raison de sa fonction de recouvrement. Cependant, elle ne se limite pas à envelopper le corps, mais remplit de nombreuses fonctions vitales. Grâce à ses propriétés, à la fois souples et résistantes, la peau constitue une barrière protectrice contre les agressions extérieures (Marieb & Hoehn, 2014).

I.2 Structure de la peau

Sur le plan structural, la peau est un organe composé de trois couches complémentaires : l'épiderme, le derme et l'hypoderme (Kolarsick *et al.*, 2011).

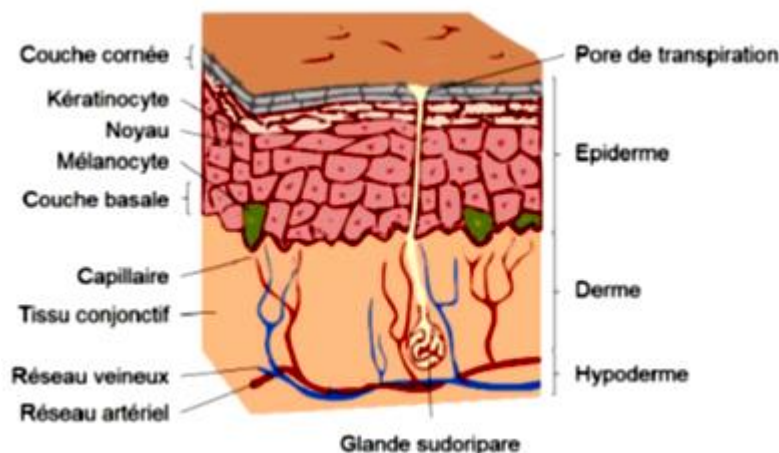


Figure 1 : Structure de la peau

L'épiderme, la couche la plus superficielle de la peau, est constitué d'épithélium squameux stratifié. Il comprend principalement des kératinocytes et des mélanocytes. En plus de ces cellules, l'épiderme contient également d'autres types cellulaires, tels que les cellules de Langerhans et les cellules de Merkel. Néanmoins, les kératinocytes constituent la majeure partie de la population des cellules épidermiques, environ 80 % d'entre elles provenant de l'ectoderme (Gilaberte *et al.*, 2016). Ces cellules se différencient vers les couches supérieures de l'épiderme, à la suite d'un processus de maturation qui est séparé en quatre phases ou

couches (la couche basale, la couche épineuse, la couche granuleuse, la couche cornée) (Gawkrodger & Arden-Jones, 2016).

D'autre part, les mélanocytes localisés dans la couche basale de l'épiderme, synthétisent la mélanine, responsables de la pigmentation et de la protection contre les rayonnements ultraviolets. De plus, les cellules de Langerhans originaires du moelle osseuse, se situent dans les couches épineuse et basale de l'épiderme, assurant la vigilance immunitaire (Lotfollahi, 2024). Enfin, les cellules de Merkel sont associées aux terminaisons nerveuses sensibles situées au niveau de la couche basale (Laverdet *et al.*, 2018).

Le derme est la couche la plus profonde de la peau. Il est essentiellement constitué de tissu conjonctif contenant des fibres de collagène, d'élastine, des vaisseaux sanguins, des nerfs, des glandes et des follicules pileux. Le derme peut être divisé en deux parties :

- ✓ Le derme papillaire, situé en surface, contient des récepteurs sensoriels tels que les corpuscules de Meissner.
- ✓ Le derme réticulaire, plus en profondeur, est composé d'un tissu conjonctif dense qui confère à la peau sa solidité et sa souplesse.

La structure du derme lui permet de jouer un rôle crucial dans la protection et la régénération cutanée (Tortora *et al.*, 2022).

L'hypoderme, aussi nommé tissu sous-cutané ou fascia superficiel, se situe juste en dessous de la peau. Ce matériau est essentiellement constitué de graisse. Même s'il ne fait pas partie intégrante de la peau, il assure une connexion entre celle-ci et les structures sous-jacentes, tout en emmagasinant les nutriments. L'hypoderme joue également un rôle de tampon face aux impacts et protège les tissus internes des changements brusques de température humaine (Marieb & Keller, 2020).

I.3 Fonctions de la peau

La peau joue plusieurs rôles fondamentaux, elle sert de barrière protectrice contre les agressions extérieures (pathogènes, rayonnements ultraviolets, toxines etc.), participe à la régulation thermique, à la perception de stimuli sensoriels et à la synthèse hormonale (vitamine D, et différentes hormones). En outre, elle joue un rôle immunitaire en activant les lymphocytes T via les cellules de Langerhans et les kératinocytes (Dréno, 2009). Par ailleurs,

il a été mentionné que la peau peut être considérée comme un indicateur diagnostique important, en fournissant des informations sur l'état de santé général d'un individu (Yousef *et al.*, 2025).

I.4 Impact du rayonnement solaire sur la peau

I.4.1 Rayonnements solaire

Le soleil émet un rayonnement polychromatique et continu s'étendant des rayons cosmiques aux ondes radios, cette émission est filtrée par la couche d'ozone qui arrête les radiations les plus nocives (Beani, 2022). Le spectre terrestre ne comporte ainsi que les ultraviolets (UV) B et A, le visible et une partie des infrarouges (IR) (Figure 2).

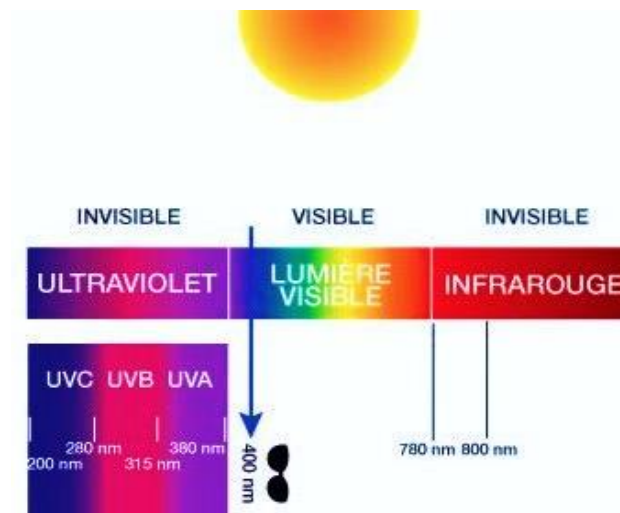


Figure 2 : Les rayons émis par le soleil

I.4.1.1 Rayonnements ultraviolets

Les rayonnements UV constituent un rayonnement électromagnétique non ionisant constitué de photons de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. En effet, il y'a trois catégories de rayonnements UV qui sont classés selon leur longueur d'onde; UVA (320-400 nm: UV-AI de 340 à 400 nm et UV-AII de 320 à 340 nm), UVB (290-320 nm) et UVC (100-290 nm) (Kurzawa *et al.*, 2022).

Tableau 1 : Caractéristiques des différents types de rayons ultraviolets

Types de rayons	Caractéristiques générales	Références
UVA	Représentent environ 95 % des UV terrestres pénétrant profondément dans la peau, les UVA atteignent le derme. Ils interagissent avec les fibres d'élastine et de collagène, affectant ainsi la structure et la souplesse de la peau.	(Diffey, 2002)
UVB	Malgré leur rareté (5 à 10 % du rayonnement solaire), ce type de rayonnement affectent la couche épidermique de la peau et peuvent provoquer un érythème, qui peut se transformer en coup de soleil, mais il participe également à une réaction liée à la formation de la vitamine D dans la peau L'intensité des UVB augmente de 4 % tous les 300 m d'élévation et de 3 % par degré de diminution de latitude.	(D'Orazio <i>et al.</i> , 2013) (Sanches Silveira & Myaki Pedroso, 2014). (Kurzawa <i>et al.</i> , 2022).
UVC	Les UVC possèdent une grande énergie. ils sont complètement absorbés par la couche d'ozone et ne parviennent pas à toucher le sol terrestre.	(D'Orazio <i>et al.</i> , 2013)

I.4.1.2 Effets bénéfiques des rayonnements UV

Les rayonnements solaires ont des effets bénéfiques sur notre organisme. Ils jouent un rôle primordial dans la synthèse de la vitamine D, impliquée dans le fonctionnement de nombreux tissus tels que les os, la peau ou encore le système immunitaire (Leccia, 2013). En effet, les UVB permettent la transformation de la provitamine D3 (ou 7-déhydrocholestérol) en prévitamine D3, qui est ensuite modifiée en vitamine D3 au niveau du foie, des reins et des kératinocytes (Raymond-Lezman & Riskin, 2023). Par conséquent,

l'exposition au soleil constitue donc une source d'apport en vitamine D pour l'organisme, qui complète l'apport alimentaire.

Les variables climatiques et saisonnières, en particulier le rayonnement solaire, influencent l'humeur. Les rayonnements solaires jouent un rôle majeur dans l'équilibre du système sérotoninergique, notamment dans le métabolisme et la sécrétion nocturne de la mélatonine. Ces modifications neurobiologiques contribuent à l'apparition de troubles affectifs saisonniers (Son & Shin, 2021). La peau influence l'humeur de manière significative. Sous l'effet de rayonnement UV, les kératinocytes produisant des endorphines, subissent une régulation thymique, ce qui explique pourquoi les syndromes dépressifs sont plus fréquents en hiver (Dréno, 2009).

I.4.1.3 Effets néfastes des rayonnements UV

Bien que la peau dispose de moyens naturels pour assurer une photoprotection, ceux-ci peuvent devenir insuffisants si l'exposition aux UV se prolonge ou si leur intensité augmente. Les UV peuvent entraîner un stress oxydant en formant des radicaux libres et causer des dommages à l'ADN, aux protéines et aux lipides. L'ensemble de ces altérations compromet le fonctionnement et la survie des cellules et modifie l'ensemble du tissu cutané (Mélissopoulos, 2012). L'exposition aux rayons UV sans moyens de protection peut provoquer l'érythème actinique, également appelé « coup de soleil ». C'est une brûlure de la peau qui se manifeste par une rougeur, un œdème et une sensation de chaleur apparaissant quelques heures après l'exposition au soleil.



Figure 3 : Effets néfastes des rayonnements UV (l'érythème actinique)

À long terme, l'exposition aux rayons UV peut provoquer le photovieillissement ou l'héliodermie, ce phénomène est le résultat de l'accumulation de doses d'UV et se manifeste par un vieillissement précoce du tissu cutané. En outre, l'exposition à ces rayons est identifiée comme étant le principal facteur de risque de la majorité des cancers cutanés (Tang *et al.*, 2024), notamment les carcinomes épidermoïdes ou basocellulaires, qui représentent 90 % des cancers cutanés.



Figure 4 : Effets néfastes des rayonnements UV (les carcinomes épidermoïdes)

I.5 Photoprotection

La photoprotection fait référence à l'ensemble des moyens naturels ou artificiels visant à atténuer les dommages cutanés induits par les rayonnements solaires (Meunier, 2008). Bien que la peau ait ses propres mécanismes de défense naturels tels que l'épaississement de la couche cornée (Chader & Gacem, 2020), le système pigmentaire (Zamudio Díaz *et al.*, 2024), le systèmes de réparation de l'ADN ainsi que le systèmes antioxydants endogènes (Md Jaffri, 2023), ces moyens de protection deviennent insuffisants afin de protéger une peau normale surexposée ou une peau pathologiquement photosensible. il est devenue primordialement indispensable à recourir aux d'autres moyens de photoprotection dits artificielles et notamment ceux reposant sur l'application des produits de photoprotection (PPS) (Lacour & Béani, 2007).

I.5.1 Produits de protection solaire (PPS)

La méthode la plus répandue pour protéger la peau des rayons ultraviolets (UV) repose sur l'utilisation de produits de protection solaire (PPS), ces formulations commerciales,

appliquées directement sur la peau, agissent par différents mécanismes pour prévenir les coups de soleil et limiter les effets délétères des rayons UV.

Les produits de protection solaire (PPS) également appelées écrans solaires, sont des produits topiques qui protègent la peau du rayonnement UVB et UVA (Harshada M. Sanap *et al.*, 2024), ces produits sont des complexes contenant d'une part des actifs et notamment les filtres UV et d'une autre part des ingrédients supplémentaires tels que, les antioxydants ou les extraits de plantes (Leccia *et al.*, 2019), des émollients, des émulsifiants, des épaississants, des conservateurs, des renforçateurs, des exhausteurs sensoriels et des conservateurs (Pawlowski *et al.*, 2021). Ils doivent être bien tolérés par la peau (non allergisants et non toxiques), résister à l'eau et à la sueur, et être photostables afin d'assurer une protection durable. Enfin, leur texture doit être acceptable d'un point de vue cosmétique (Thomas & Bonnevalle, 2011).

I.5.1.1 Filtres ultraviolets UV

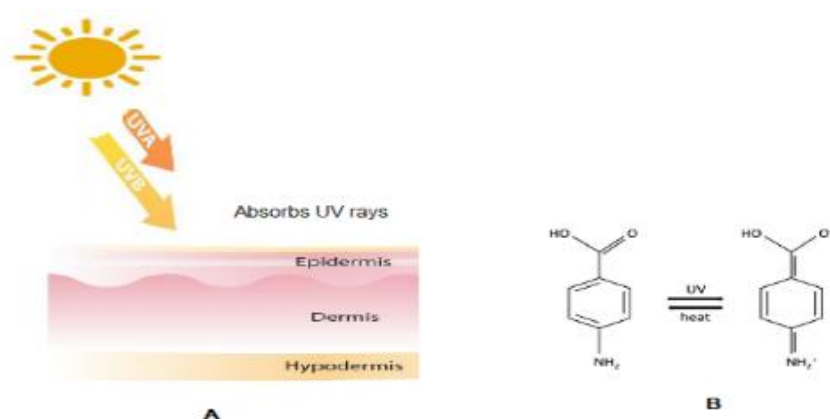
Les filtres UV, éléments clés des produits solaires, se divisent en filtres chimiques (organiques) et minéraux (physiques). Conformément à la réglementation cosmétique (CE) n° 1223/2009, un filtre UV est une substance destinée à protéger la peau en absorbant, réfléchissant ou diffusant les rayons ultraviolets. L'annexe VI de cette réglementation répertorie 28 filtres UV autorisés, chacun soumis à une concentration maximale précise afin d'assurer à la fois une protection efficace et la sécurité des consommateurs (Jesus, *et al.*, 2022). Un filtre idéal doit avoir les propriétés suivantes :

- ✓ posséder un large spectre (UV-B et UV-A)
- ✓ être efficace à faible concentration
- ✓ être photostable
- ✓ être non toxique et non allergisant
- ✓ être compatible avec les excipients courants
- ✓ présenter un coût modique

I.5.1.1.1 Filtres UV chimiques (organiques)

Les filtres UV chimiques (organiques) agissent en absorbant les rayons UV (Abou-Dahech *et al.*, 2022), la plupart des filtres UV organiques sont des composés organiques contenant un ou plusieurs cycles aromatiques. À l'état fondamental, leurs électrons conjugués

(délocalisés) se trouvent aux niveaux d'énergie les plus bas possibles. Après avoir absorbé une certaine quantité d'énergie, les électrons peuvent passer à un état excité, ce qui conduit à la polarisation transitoire de la molécule. La molécule excitée retourne ensuite spontanément à l'état fondamental en émettant de la chaleur ou un rayonnement de grande longueur d'onde (Figure 2B) (Breakell *et al.*, 2024).



Filtre UV organique (PABA)

Figure 5 : Mode d'action des filtres UV organiques

Les filtres UV organiques sont également classés en filtres UVA (benzophénones, avobenzone, meradimate, etc.), filtres UVB (dérivés PABA, cinnamates, salicylates, octocrylène, etc.), ou filtres à large spectre (ecamsule, drometrizole, trisiloxane, bemotrizinol, bisoctrizole, octocrylène) (Ngoc *et al.*, 2019).

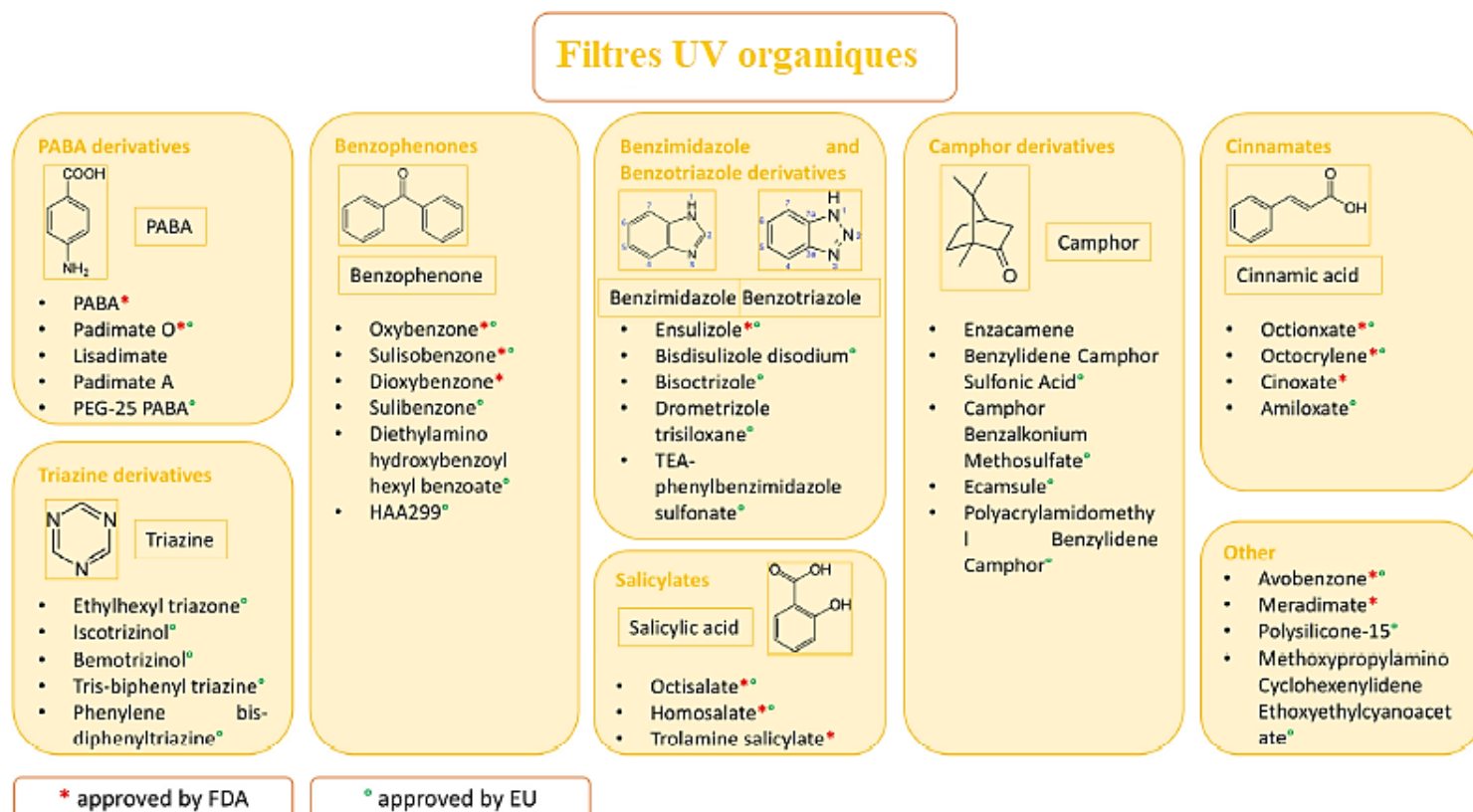


Figure 6 : Différentes classes des filtres UV organiques (Milutinov *et al.*, 2024)

I.5.1.1.2 Filtres UV physiques (minéraux)

Les filtres UV inorganiques (minéraux), parfois appelés « physiques », sont constitués de microparticules de minéraux qui diffusent et réfléchissent les rayons UV (Pniewska & Kalinowska-Lis, 2024). Les deux principes actifs physiques les plus utilisés sont l'oxyde de zinc et le dioxyde de titane, il offrent une protection à large spectre contre les rayons UVA et UVB (Geofrey *et al.*, 2019) et sont moins susceptibles de provoquer des irritations, ce qui les rend plus adaptés aux peaux sensibles (Garnacho Saucedo *et al.*, 2020).

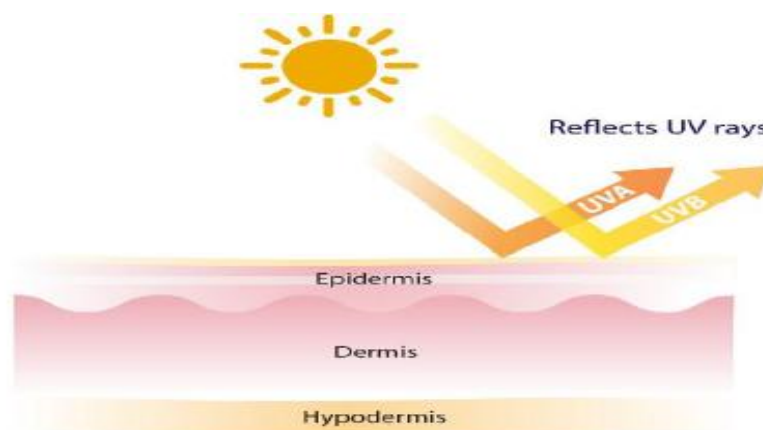


Figure 7 : Mode d'action des filtres UV minéraux (Harshada M. Sanap *et al.*, 2024)

Ces dernières années, les chercheurs ont montré un intérêt croissant pour l'utilisation d'ingrédients naturels dans l'industrie cosmétique et affirment que ces produits sont l'avenir des cosmétiques, ce qui implique l'utilisation de filtres UV naturels (Li *et al.*, 2023).

Les composés naturels sont généralement considérés comme non toxiques et non irritants et présentent moins d'effets secondaires sur la peau que les composés synthétiques (Mansuri *et al.*, 2021), ils sont mieux tolérés et ont un impact négligeable sur la peau et sur l'environnement (Stevanato *et al.*, 2014). Les composés naturels aromatiques présentent généralement un spectre d'absorption couvrant une plage de longueurs d'onde de 200 à 400 nanomètres, ainsi qu'une activité antioxydante. Par conséquent, ces composants naturels sont plus avantageux en tant que filtres UV et sont susceptibles d'être l'avenir des produits solaires (Li *et al.*, 2023).

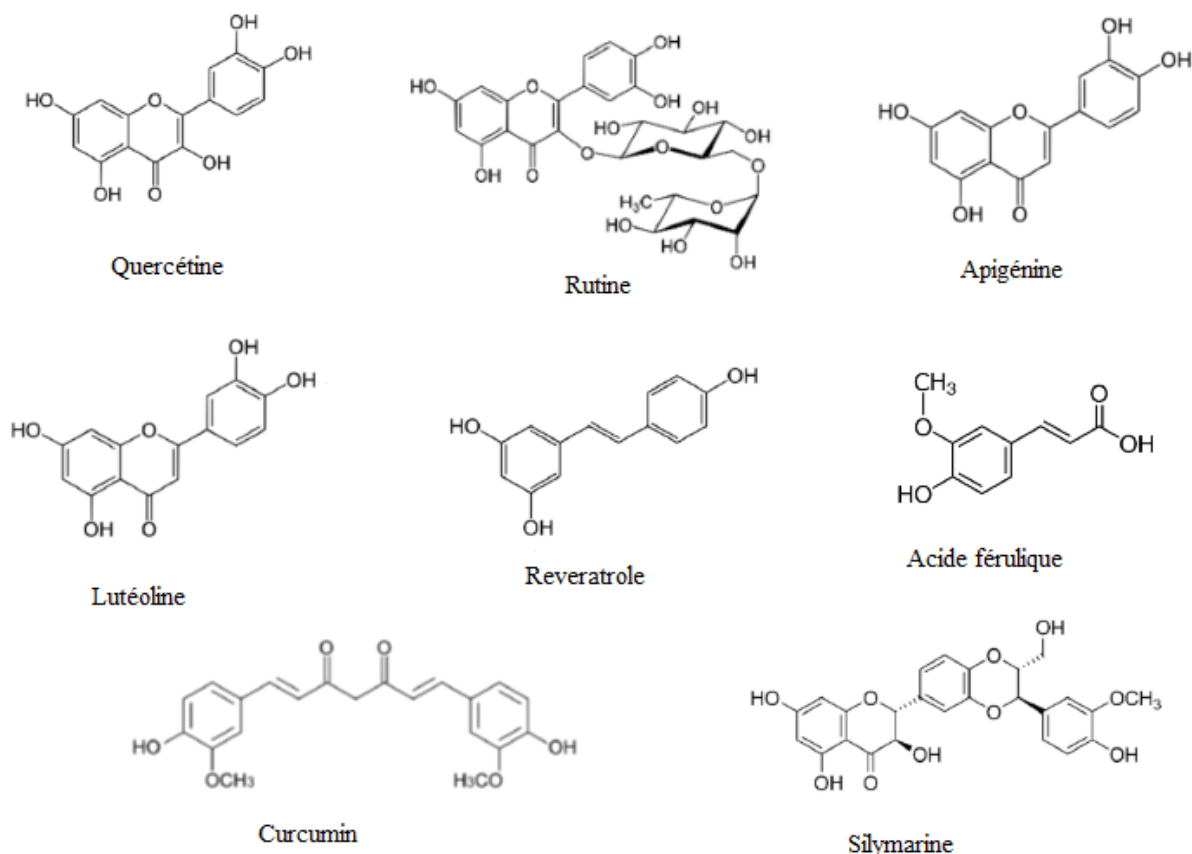


Figure 8 : Structure chimique de certains composés naturels qui ont des propriétés protectrices contre les UV

Les caroténoïdes sont des pigments lipophiles présents dans les plantes, les animaux et les micro-organismes, la structure chimique des caroténoïdes contient un système de doubles liaisons conjuguées qui est responsable de leurs effets photoprotecteurs (Milutinov *et al.*, 2024). Bien que la plupart des caroténoïdes présentent des pics d'absorption dans le domaine visible, le système conjugué permet d'absorber des longueurs d'onde plus courtes, y compris la lumière UV (Stahl & Sies, 2012). La structure chimique avec un plus grand nombre de doubles liaisons conjuguées, comme la zéaxanthine et le β -carotène avec 11 doubles liaisons, entraîne un déplacement du maximum d'absorption vers des longueurs d'onde plus grandes (Ashenafi *et al.*, 2023).

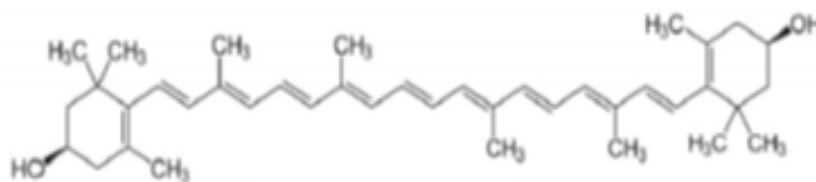


Figure 9 : Zéaxanthine

Les extraits de plantes ayant une double propriété photoprotectrice et antioxydante, par exemple, se sont révélés prometteurs dans les écrans solaires et les formulations cosmétiques. Les extraits phénoliques ont ainsi été proposés comme l'une des matières premières fonctionnelles les plus efficaces pour les produits cosmétiques photoprotecteurs et anti-âge (Ayad *et al.*, 2024). Il est à noter que les graines d'amande, particulièrement riches en composés polyphénoliques, notamment des acides phénoliques et des flavonoïdes, possèdent des propriétés photoprotectrices qui ont fait l'objet de quelques recherches. Une étude *in vivo* a été réalisée en exposant des souris aux rayons UVB, et les changements dans la peroxydation des lipides et les niveaux de glutathion ont été analysés. Il a ainsi été observé que le niveau de peroxydation des lipides diminuait et que le niveau de glutathion augmentait après l'application de la crème formulée, ce qui suggère que cette formulation possède des propriétés protectrices contre les dommages causés par les rayonnements ultraviolets (Sharma & Sharma, 2023).

Les huiles végétales ont attiré l'attention des scientifiques pour le développement de formulations d'écrans solaires en raison de leurs propriétés d'absorption des UV et de l'amélioration des caractéristiques des produits finaux, telles que l'absorption par la peau et la facilité d'étalement (Montenegro & Santagati, 2019). Des études ont révélé que certaines huiles végétales présentent des valeurs SPF notables. (Saraf & Kaur, 2010), ont préparé des solutions hydroalcooliques d'huiles non volatiles et volatiles sélectionnées et ont étudié leur potentiel de protection solaire en mesurant les valeurs SPF *in vitro* des formulations. Il ressort de cette étude que l'huile d'olive et l'huile de menthe poivrée présentent les valeurs SPF les plus élevées, avec 7,55 et 6,67, parmi les huiles non volatiles et volatiles, respectivement. L'huile de jojoba, caractérisée par une forte capacité hydratante, est largement employée pour traiter les peaux sèches. Elle contient de l'acide myristique, une substance chimique végétale

qui joue un rôle dans la protection contre les rayons UV (avec un SPF 4) (Sharma & Sharma, 2023).

I.5.1.1.2.1 Limites des composés naturels

Il est important de noter que ni FDA ni l'Union européenne ne reconnaissent de composés naturels en tant que filtres UV approuvés. Il s'avère par conséquent nécessaire de poursuivre la mise en œuvre de la réglementation pour ces composés afin de permettre la production et la commercialisation de produits pharmaceutiques et cosmétiques contenant des composés naturels en tant que filtres UV. Certains des composés naturels mentionnés comme filtres UV potentiels, tels que les flavonoïdes, sont peu solubles dans l'eau, ce qui peut contribuer à une faible absorption *in vivo* et à une capacité limitée de pénétrer à travers la peau (Szulc-Musioł *et al.*, 2023; Nagula & Wairkar, 2019). Par ailleurs, l'un des inconvénients des préparations topiques à base de produits naturels tels que les vitamines C et E est la possibilité de perturber la stabilité de ces formulations lorsqu'elles sont exposées à l'air et à la lumière (Keen & Hassan, 2016).

I.5.1.2 Toxicité des filtres UV

Les principaux défis des filtres UV dans les produits solaires sont leur photo-instabilité, leur toxicité pour l'humain et leur impact environnemental. Plusieurs études ont révélé que les filtres UV organiques, en particulier des dérivés de benzophénone et de cinnamate, ont été découverts dans des échantillons biologiques tels que le sang et l'urine et pénètrent donc dans la circulation sanguine (Ayad *et al.*, 2024). En outre, certains filtres UV peuvent perturber le système endocrinien, notamment par des activités oestrogéniques, androgéniques et thyroïdiennes (Jesus, Sousa, *et al.*, 2022; Juliano & Magrini, 2017; Huang *et al.*, 2021; Lorigo *et al.*, 2018). Les filtres UV les plus dangereux sont les cétones aromatiques, telles que les dérivés de la benzophénone et du dibenzoylméthane, qui provoquent généralement des réactions toxiques et allergiques en raison de leurs produits de photodégradation, suivis par les systèmes à double bande insaturés que l'on trouve dans les cinnamates et l'octocrylène, qui sont connus pour leur capacité à provoquer des réactions, causant une dermatite de contact allergique (Ayad *et al.*, 2024).

Les filtres UV sont fortement recommandés pour atténuer les effets néfastes des rayons UV, et il y a donc une augmentation des effets négatifs associés à leurs concentrations, en particulier dans les systèmes aquatiques (Jesus, Sousa, *et al.*, 2022). Des recherches

antérieures ont montré que certains filtres UV organiques se bioaccumulent, en particulier dans les organismes marins, et sont détectés dans l'eau, les sédiments et les eaux usées (Milutinov *et al.*, 2024). En effet, plusieurs études ont révélé que les filtres UV chimiques (organiques) étaient nocifs pour les coraux (Figure 10) et les moules, ainsi que pour les algues, les crevettes de saumure, les crustacés, les dauphins et les poissons (Ayad *et al.*, 2024). L'un des effets négatifs les plus importants des filtres UV organiques est l'inhibition de la croissance (Jesus, Sousa, *et al.*, 2022; Juliano & Magrini, 2017; Huang *et al.*, 2021; Corinaldesi *et al.*, 2018; Lozano *et al.*, 2020; Mitchelmore *et al.*, 2021).



Figure 10 : Effets néfastes des filtres UV sur les coraux (T. Thomas *et al.*, 2024)

I.5.2 Évaluation de l'efficacité des produits de protection solaire

Divers paramètres permettent d'évaluer l'efficacité des produits solaires, notamment le facteur de protection solaire (FPS) contre les UVB et le niveau de protection contre les UVA, complétés par des approches *in vivo*, *in vitro* ou *in silico*, chacune présentant ses propres avantages et inconvénients.

I.5.2.1 Méthode *in vivo* de détermination des FPS

La référence internationale en matière de tests *in vivo* pour la détermination du facteur de protection solaire (FPS) est la norme ISO 24444:2019. La mesure du FPS implique l'application de 2 mg/cm² de produit solaire sur une zone précise de la peau, habituellement située au centre du dos. Ensuite, cette région est exposée à une série de cinq doses progressives de rayonnement solaire simulé. L'efficacité du produit est déterminée en comparant la dose de rayonnement UVB requise pour provoquer un érythème sur une peau

protégée à celle nécessaire pour induire la même réaction sur une peau non protégée. Ainsi, un écran solaire, avec un FPS de 30, signifie que la peau protégée est exposée, en théorie, à 30 fois moins de rayonnement UVB qu'une peau non protégée, réduisant ainsi le risque de coup de soleil (Salih *et al.*, 2024)

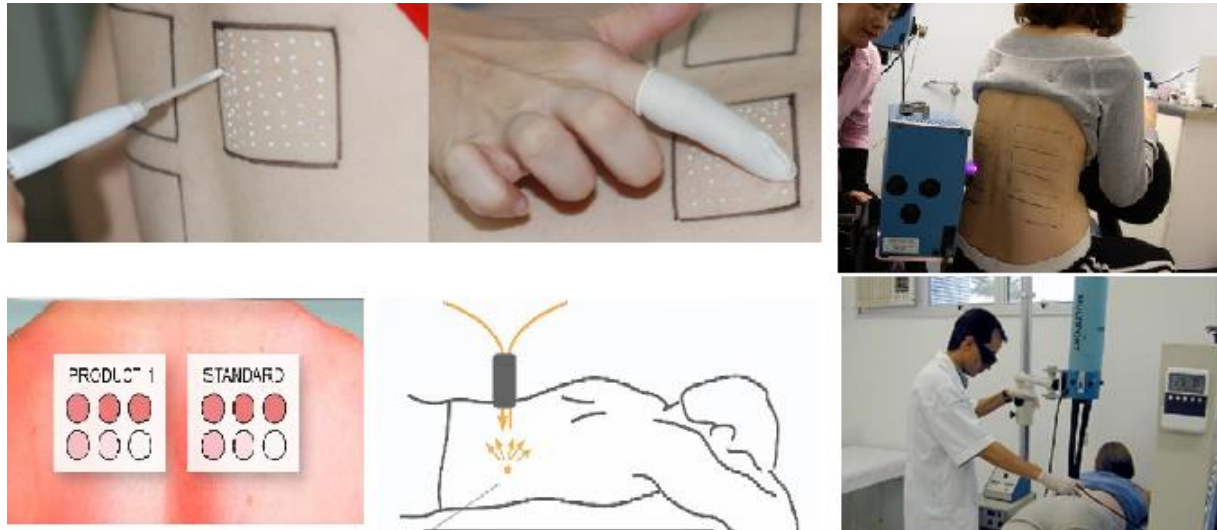


Figure 11 : Méthode in vivo de détermination des FPS

I.5.2.2 Méthodes *in vitro* de détermination des FPS

Les méthodes *in vitro* pour évaluer l'efficacité des produits solaires représentent une alternative prometteuse aux tests *in vivo*, évitant les contraintes éthiques et logistiques liées à l'utilisation de volontaires humains. Ces techniques s'appuient sur des substrats artificiels imitant la peau humaine, permettant de mesurer la transmittance des rayons ultraviolets (UV) avant et après l'application du produit. Pour garantir des résultats fiables, ces substrats doivent être transparents aux UV (290-400 nm) et présenter une topographie similaire à celle de la peau, assurant une répartition homogène et réaliste du produit. Parmi les substrats couramment utilisés, les plaques de polyméthylméthacrylate (PMMA) se distinguent par leur rugosité contrôlée et leur reproductibilité. Cependant, le choix du substrat optimal et la standardisation des protocoles de test restent des défis majeurs pour assurer la précision et la pertinence des évaluations de la protection solaire (Zou *et al.*, 2022).



Figure 12 : Méthode in vitro de détermination des FPS

I.5.2.3 Protection contre les UVA

Les méthodes d'évaluation de la protection des UVA sont classées en approches *in vivo* et *in vitro*. La méthode PPD (Persistent Pigment Darkening) est un processus *in vivo* qui mesure l'assombrissement de la peau pendant 2 à 4 heures après une exposition aux UVA. Il permet de calculer le facteur de protection UVA (UVA PF) en comparant les doses d'UVA nécessaires pour obtenir cet effet sur une peau protégée ou non (Pelizzo *et al.*, 2012).

Les méthodes *in vitro*, s'appuient sur la mesure de la de la transmittance, tout comme FPS in vitro. La méthode de la FDA (États-Unis) utilise la longueur d'onde critique (λ_c) définie comme la longueur d'onde à laquelle 90% de l'absorption totale du produit solaire, entre 290 et 400 nm est atteinte. Pour qu'un produit soit considéré comme offrant une protection à large spectre, cette longueur d'onde critique doit être supérieure ou égale à 370 nm (Figure 13). La méthode COLIPA recommande un rapport SPF/UVA-PF inférieur ou égal à 3 qui combine UVA-PF et longueur d'onde critique (≥ 370 nm). Enfin, les méthodes de Boots (Royaume-Uni), classent la protection UVA au niveau d'une note stellaire (0 – 5) basée sur le rapport entre l'absorption des UVA et des UVB avant et après irradiation (Pelizzo *et al.*, 2012).

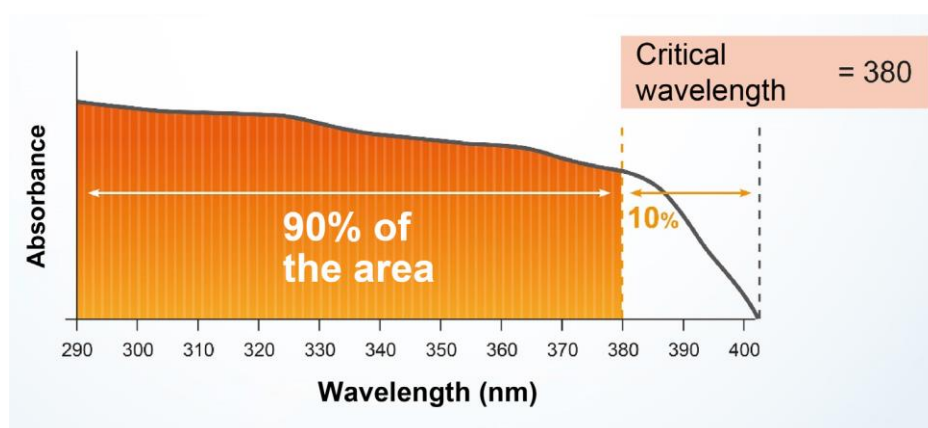


Figure 13 : Produit solaire à large spectre (Addor *et al.*, 2022)

Tableau 2 : Classification des produits de protection solaire selon la commission européenne

Protection	FPS mesuré	FPS affiché	λ_c	FP-UVA
Faible	6 à 14	6 ou 10	≥ 370 nm	$[\geq \text{FPS}/3]$
Moyenne	15 à 29	15, 20 ou 25		
Haute	30 à 59	30 ou 50		
Très haute	≥ 60	50+		

I.6 La famille des Apiacées

La famille des Apiacées (également appelée Ombellifères), est aussi connue comme la famille de la carotte ou du persil, regroupe des plantes aromatiques, souvent herbacées, bisannuelles, annuelles ou vivaces, et parfois des arbustes ou des arbres. Elle comprend plus de 3 700 espèces réparties en 434 genres (Lariushin, 2012), principalement dans les régions tempérées, surtout dans l'hémisphère Nord (Dupont & Guignard, 2012). D'après (Quezel & Santa, 1963), l'Algérie abrite 56 genres et 130 espèces d'Apiacées, dont 24 espèces endémiques et 26 sous espèces sont répertoriées

Plusieurs plantes de la famille des Apiacées peuvent être consommées comme aliments, tandis que d'autres sont utilisées en médecine en raison de leurs propriétés

thérapeutiques. De nombreuses plantes de cette famille peuvent être toxiques et entraîner des intoxications.



Figure 14 : Répartition géographique mondiale des Apiacées (Heywood, 1996)

Tableau 3 : Répartition mondiales des genres d'apiacées (Pimenov & Leonov, 1993)

Continent	Genres	Endémiques
Afrique	126	50
Asie	265	159
Amérique	197	52
Europe	139	29
Australie	36	29

I.6.1 Caractères généraux des Apiécées

La famille des Apiécées se caractérise par une structure variée du corps souterrain, une racine pivotante qui est tubéreuse (un tubercule) ou un rhizome. Les feuilles sont alternes, généralement avec une gaine bien développée, et sont souvent composées avec un limbe profondément divisé, souvent pennatiséqué à plusieurs fois. Ces plantes ont généralement une disposition de fleurs en ombelles composées et sont appelées ombellifères. Elles portent également des fleurs régulières et généralement bisexuelles avec un arrangement tétramère :

5 sépales + 5 pétales + 5 étamines + 2 carpelles. Enfin, leur fruit est un schizocarpe qui se divise généralement en deux akènes appelés méricarpes (Badoc, 2020).

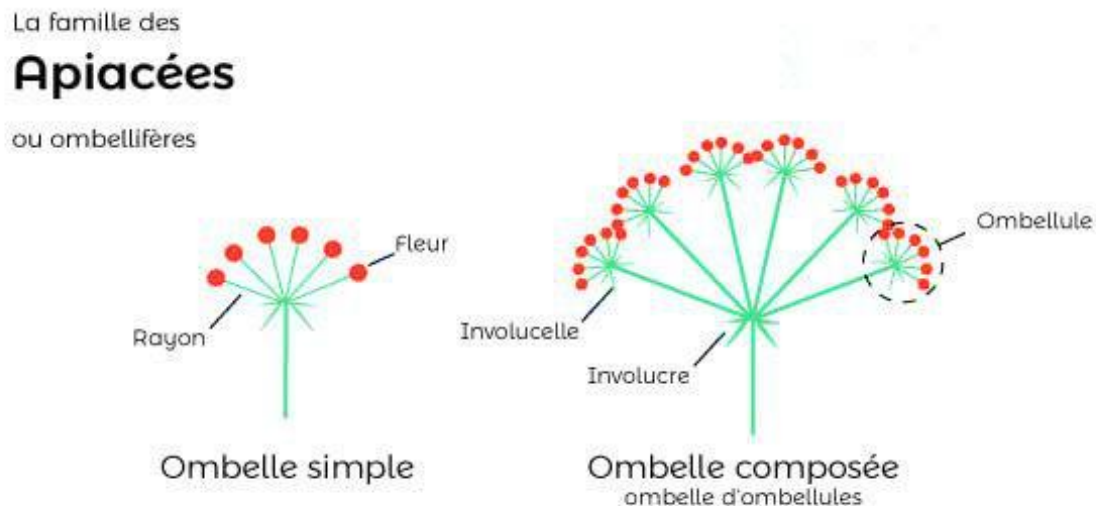


Figure 15 : Ombelle simple et ombelle composée des Apiacées

I.6.2 Classification de la famille des Apiacées

Les Apiacées sont une famille de plantes hautement évoluées parmi les Angiospermes. Selon la classification systématique botanique APG III (*Angiosperm Phylogeny Group III*), les Apiacées font partie de l'ordre des Apiales (Lariushin, 2012). Leur position dans la classification est la suivante (Chase & Reveal, 2009) :

- ✓ L'embranchement des Spermatophytes (plantes à graines), aussi appelées Phanérogames.
- ✓ Relèvent du sous-embranchement des Angiospermes (plantes à ovaires).
- ✓ Font partie du clade des Eudicotylédones (ou dicotylédones vraies, avec deux cotylédons).
- ✓ Sont incluses dans le clade des Eudicotylédones centrales (Core Eudicots).
- ✓ Classées dans la classe des Asteropsida (Asteridées).
- ✓ Intègrent la sous-classe des Euastéridées II (campanulids).
- ✓ L'ordre des Apiales.
- ✓ La famille des Apiaceae (Ombellifères).

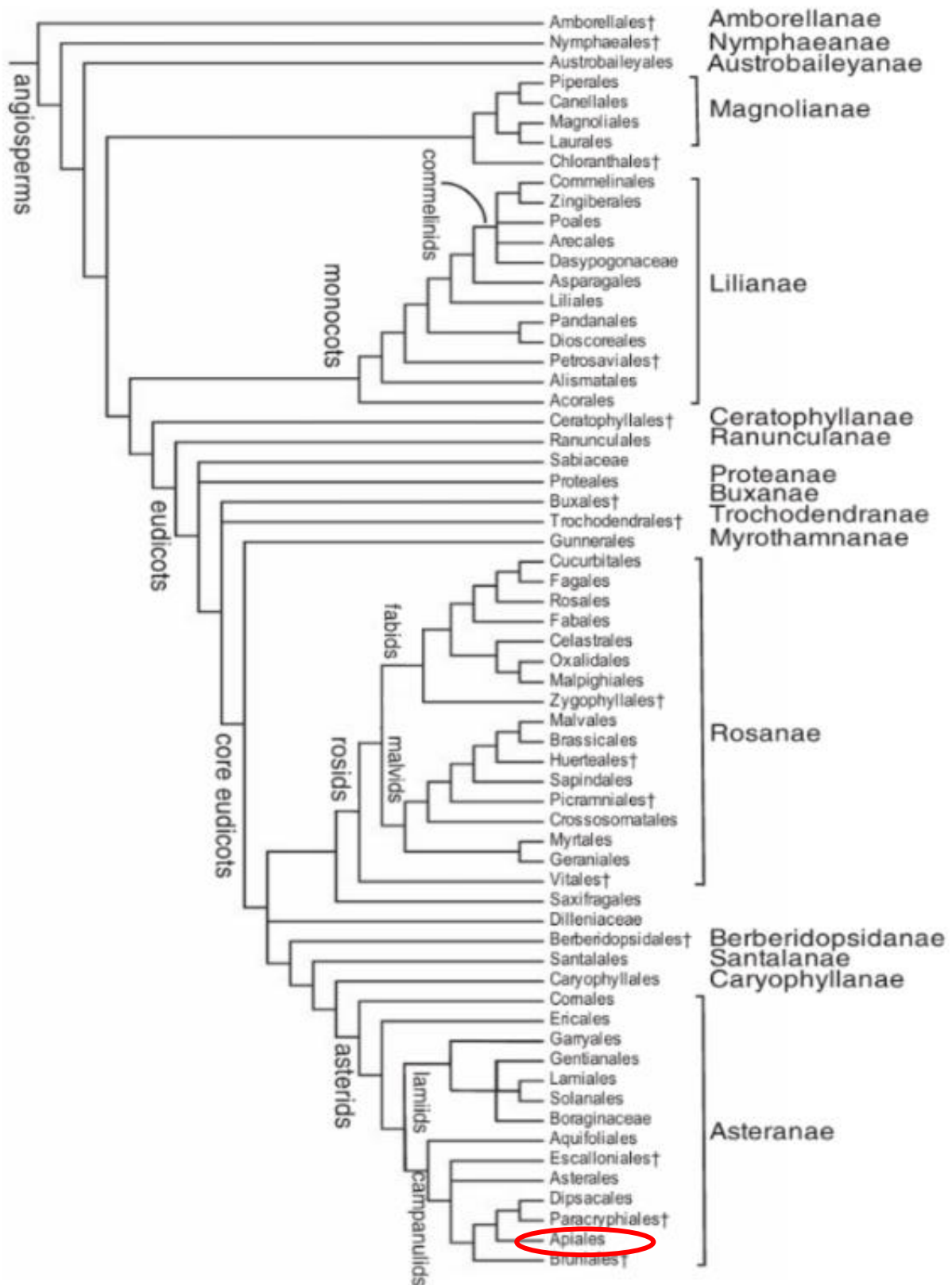


Figure 16 : Cladogramme des Angiospermes selon APG III : Position de l'Ordre des Apiales

I.6.3 Phytochimie des Apiacées

La famille des Apiacées est connue par sa richesse en métabolites secondaires, et notamment les coumarines, les flavonoïdes, les composés acétyléniques et les lactones sesquiterpéniques, ainsi que des huiles essentielles.

Les huiles essentielles des Apiacées se caractérisent par leur richesse en dérivés phénylpropaniques, tels que l'anéthole (*Pimpinella anisum*), l'apiole (*Apium petroselinum*) et la foeniculine (*Foeniculum vulgare*), elles contiennent également des terpènes, comme le β -caryophyllène, le limonène ou la carvone (Bruneton, 2009).

Des études antérieures ont permis d'identifier la présence de plusieurs molécules flavoniques dans les Apiacées telles que l'apigénine, la lutéoline, l'apigénine-7-*O*-glucoside, la lutéoline-7-*O*-glucoside (*Ammoides atlantica*) (Louaar *et al.*, 2008), la quercitine, la tamarixétine, l'isorhamnétine-3-*O*-rutinoside, la kaempferol-3-*O*-rutinoside (*Bupleurum montanum*) (Benahmed *et al.*, 2008). Par ailleurs, l'apigénine-7-*O*-rutinoside a été isolé à partir de l'espèce *Bunium alpinum* (Lefahal *et al.*, 2023).

Les coumarines ont aussi marqué leur présence dans certaines espèces de la famille Apiacée. En effet, une récente étude réalisée sur l'espèce *Seseli petraeum* a permis d'identifier certaines coumarines tels que, petracoumarin, selinidin, anomalin, calipteryxin et samidin (Onder *et al.*, 2022)

I.6.4 Importances économique et thérapeutique de la famille des Apiacées

Les taxons appartenant à cette famille présentent une importance économique certaine (Zengin *et al.*, 2020), et sont par ailleurs utilisées à diverses fins (Sayed-Ahmad *et al.*, 2017), notamment dans les secteurs de l'industrie alimentaire, pharmaceutique et cosmétique.

Il est important de noter que certaines Apiacées ont été utilisées comme épices, arômes, assaisonnements et colorants, et parfois même comme conservateurs, depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours, et notamment dans les régions d'Inde, de Chine et des pays d'Asie du Sud-Est, où l'utilisation de ces espèces est particulièrement répandue (Thiviya *et al.*, 2021).

Dans le secteur de la cosmétologie, les extraits de certaines Apiacées, en particulier ceux dérivés de la carotte (*Daucus carota*) et la coriandre (*Coriandrum sativum*), sont couramment employés en tant qu'agents de protection solaire naturels et comme sources d'antioxydants naturels. En effet, ces espèces sont caractérisées par leurs richesses en 7-hydroxycoumarine, un composé qui présente une capacité d'absorption significative des rayonnements ultraviolets (Stahl & Sies, 2012).

En outre, il est bien mentionné que les huiles essentielles issues de diverses espèces telles que, *Pimpinella anisum* (anis), *Carum carvi* (carvi), *Coriandrum sativum* (coriandre), *Cuminum cyminum* (cumin) et *Foeniculum* (fenou) sont employées dans le secteur de l'industrie cosmétique du fait de leurs propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et antiseptiques, anti-inflammatoires et anticancéreuses (Sharifi-Rad *et al.*, 2017; Abate *et al.*, 2021)

Les graines des Apiacées sont considérées comme une source prometteuse d'acide pétrosélinique, ce composé, peu courant en milieu naturel, est le seul isomère naturel de l'acide oléique. Sa teneur dans les huiles de graines d'Apiaceae est généralement supérieure à 50 %. Il présente plusieurs applications industrielles, notamment comme matière première oléochimique de haute valeur (Bagci, 2007). Comme le rapportent plusieurs recherches, l'ajout d'huiles riches en acide pétrosélinique à des produits alimentaires présente plusieurs avantages. En effet, ces huiles permettent d'améliorer les propriétés texturales des produits sans augmenter le taux de cholestérol LDL dans le sérum sanguin. Outre son action anti-inflammatoire, l'acide pétrosélinique peut être employé dans des préparations cosmétiques destinées à traiter et à prendre soin de l'épiderme, notamment en tant qu'agent hydratant (Delbeke *et al.*, 2016).

En effet, plusieurs études récentes ont rapporté que plusieurs espèces de la famille des Apiacées sont des sources de substances phytochimiques bioactives. Ces substances sont dotées de propriétés antioxydantes, antibactériennes, antibiotiques, antimicrobiennes, anti-inflammatoires, antidiabétiques, anticancérigènes, cardioprotectrices, antihyperglycémiques et hypolipidémiques (Khalil *et al.*, 2018; Saleem *et al.*, 2017; Pandey *et al.*, 2012).



Figure 17 : Quelques espèces représentatives de la famille des Apiaceae.

A : *Daucus carota* ; **B :** *Coriandrum sativum* ; **C :** *Pimpinella anisum* ; **D :** *Foeniculum vulgare*

I.6.5 Toxicité des Apiacées

La famille des Apiacées renferme des espèces très toxiques pouvant entraîner la mort par ingestion, comme la grande cigüe (*Conium maculatum* L.), elle contient de nombreux alcaloïdes dérivés de la pipéridine, comme le « coniine », qui est très abondant dans les fruits, tandis que l'appareil végétal est riche en conicine. L'intoxication par cette plante peut entraîner des symptômes tels que des éblouissements, une mydriase, des vertiges, une soif intense, une sensation de refroidissement progressif, une baisse de la sensibilité et de la motilité, ainsi qu'une paralysie du diaphragme provoquant l'arrêt respiratoire (Botineau, 2010).

I.7 Présentation du genre *Helosciadium*

I.7.1 Généralité

Le nom *Helosciadium* vient du grec ancien : *helos* signifiant marais et *sciadium* signifiant ombrelle, en référence à la forme des inflorescences typiques de la famille des Apiacées. *Helosciadium* désigne donc une plante des marais avec des inflorescences en ombelle. Ce genre comprend environ six espèces principales : *H. nodiflorum*, *H. repens*,

H. inundatum, *H. bulbosum*, *H. lateriflorum*, ainsi que *Helosciadium crassipes* (Curiosorum, 1824), originaire d'Europe et d'Afrique du Nord.

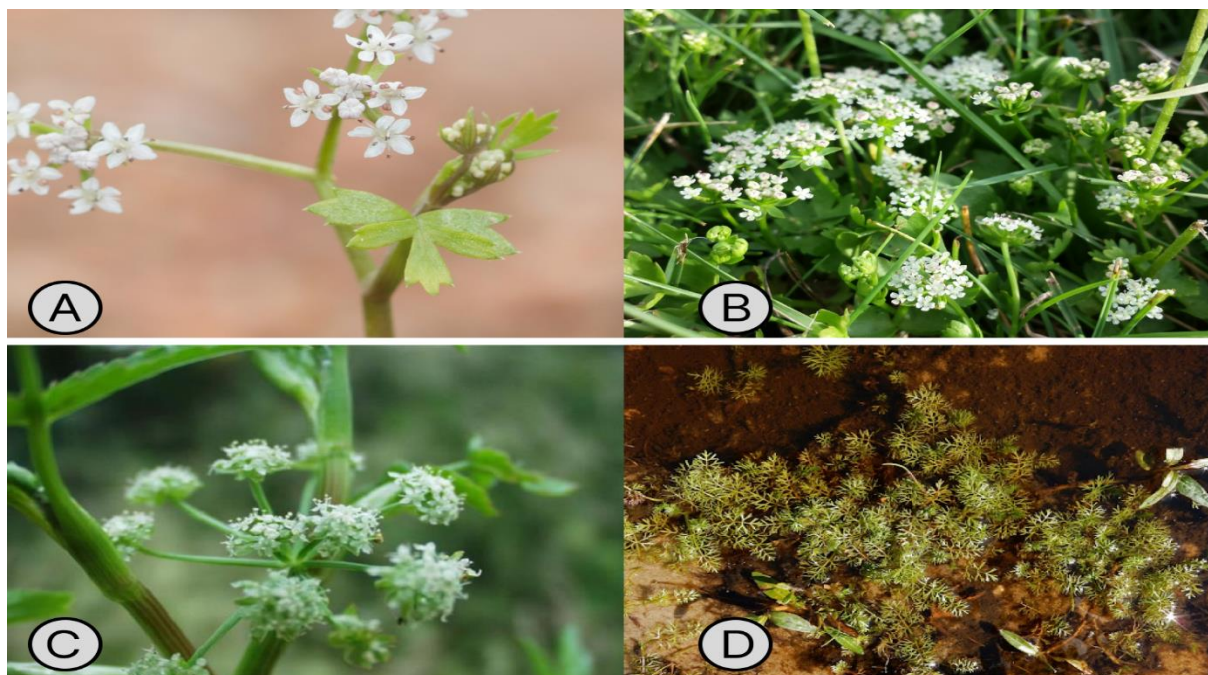


Figure 18 : Quelques espèces représentatives du genre *Helosciadium*.

A : *Helosciadium crassipes* ; B : *Helosciadium repens* ; C : *Helosciadium nodiflorum* ;

D : *Helosciadium inundatum*

I.7.2 Classification du genre *Helosciadium*

La classification botanique du genre *Helosciadium* telle qu'établie par le système phylogénétique APG III est la suivante :

Règne	Plantae
Embranchement	Spermatophyta
Sous-embranchement	Angiospermes
Clade	Eudicotylédones
Order	Apiales
Famille	Apiaceae
Genre	<i>Helosciadium</i>

I.7.3 Usage traditionnel de certaines espèces appartenant au genre *Helosciadium*

Les espèces appartenant au genre *Helosciadium* sont largement utilisées en médecine traditionnelle. Les parties aériennes de l'espèce *Helosciadium nodiflorum* sont utilisées pour préparer une décoction considérée comme un bon diurétique et un décongestionnant des reins et des voies urinaires. Cette plante est également considérée comme un bon tonique, un laxatif et un remède contre l'arthrite (Maggi *et al.*, 2019). L'espèce *Helosciadium repens* a été utilisées dans la médecine traditionnelle, et ses racines et feuilles comestibles peuvent être consommées, comme celles d'autres plantes de la famille des Apiacées.

I.7.4 Phytochimie des espèces appartenant au genre *Helosciadium*

Les espèces de ce genre sont connue par sa richesse en métabolites secondaires, et notamment, les flavonoïdes, les acides phénoliques ainsi que les huiles essentielles. L'huile essentielle de *Helosciadium nodiflorum*, une espèce qui possède des propriétés antitoxiques et qui réduit la production d'aflatoxines par *Aspergillus parasiticus* (Noorbakhsh *et al.*, 2017), est riche en germacrène D, limonène, β -(Z)-ocimène, terpinolène et en phénylpropanoïdes (dillapiol, myristicine), tous des composés identifiés dans cette plante. On y trouve également des acides phénoliques tels que le 3,4-dicaffeoylquinic et les acides chlorogéniques, ainsi que des flavonoïdes tels que la quercétine-3-O-glucoside (Maggi *et al.*, 2019 ; Guijarro-Real *et al.*, 2019).

Références

- Abate, L., Bachheti, A., Bachheti, R. K., Husen, A., Getachew, M., & Pandey, D. P. (2021). Potential Role of Forest-Based Plants in Essential Oil Production: An Approach to Cosmetic and Personal Health Care Applications. In A. Husen, R. K. Bachheti, & A. Bachheti (Eds.), *Non-Timber Forest Products* (pp. 1–18). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73077-2_1
- Abou-Dahech, M., Boddu, S. H., Devi Bachu, R., Babu, R. J., Shahwan, M., Al-Tabakha, M. M., & Tiwari, A. K. (2022). A mini-review on limitations associated with UV filters. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(11), 104212. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104212>
- Addor, F. A. S., Barcaui, C. B., Gomes, E. E., Lupi, O., Marçon, C. R., & Miot, H. A. (2022). Sunscreen lotions in the dermatological prescription: Review of concepts and controversies. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 97(2), 204–222. <https://doi.org/10.1016/j.abd.2021.05.012>
- Ashenafi, E. L., Nyman, M. C., Shelley, J. T., & Mattson, N. S. (2023). Spectral properties and stability of selected carotenoid and chlorophyll compounds in different solvent systems. *Food Chemistry Advances*, 2, 100178. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100178>
- Ayad, R., Cakmak, Y. S., Ozusaglam, M. A., Medjroubi, K., & Akkal, S. (2018). *In vitro* antioxidant and antimicrobial activities of aerial parts of Algerian *Jurinea humilis* DC (Asteraceae). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 16(12), 2903. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v16i12.14>
- Ayad, R., Lefahal, M., Makhoulfi, E. H., & Akkal, S. (2024). Photoprotection strategies with antioxidant extracts: A new vision. *Physical Sciences Reviews*, 9(6), 2273–2286. <https://doi.org/10.1515/psr-2022-0313>
- Badoc, A. (2020). *Les Apiacées* [Video/mp4]. Université de Bordeaux - SAM. <https://doi.org/10.60527/D3A5-XD36>
- Bagci, E. (2007). Fatty acids and tocochromanol patterns of some Turkish Apiaceae (Umbelliferae) plants; a chemotaxonomic approach. *Acta Botanica Gallica*, 154(2), 143–151. <https://doi.org/10.1080/12538078.2007.10516050>
- Beani, J.-C. (2022). Rayonnement solaire: Aspects fondamentaux. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie - FMC*, 2(3), 192–204. <https://doi.org/10.1016/j.fander.2022.01.002>
- Ben Tahar, I., Kus-Liśkiewicz, M., Lara, Y., Javaux, E., & Fickers, P. (2020). Characterization of a nontoxic pyomelanin pigment produced by the yeast *Yarrowia lipolytica*. *Biotechnology Progress*, 36(2), e2912. <https://doi.org/10.1002/btpr.2912>
- Benahmed, M., Elomri, A., Akkal, S., Laouar, H., Vérité, P., & Seguin, E. (2008). Flavonoids from *Bupleurum montanum* Coss. (Apiaceae). *Planta Medica*, 74(09), s-0028-1084434. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1084434>
- Botineau, M. (2010). *Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs*. Tec & doc.
- Boulacel, I., Harkati, B., Ayad, R., Demirtas, I., Laouer, H., & Akkal, S. (2019). Phytochemical Studies Antibacterial and Antioxidant Activities of Aerial Parts of *Ferula lutea* (Poir.) Maire. *Acta Scientifica Naturalis*, 6(1), 17–25. <https://doi.org/10.2478/asn-2019-0003>

- Breakell, T., Kowalski, I., Foerster, Y., Kramer, R., Erdmann, M., Berking, C., & Heppt, M. V. (2024). Ultraviolet Filters: Dissecting Current Facts and Myths. *Journal of Clinical Medicine*, 13(10), 2986. <https://doi.org/10.3390/jcm13102986>
- Bruneton, J. (2009). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (4. éd., rev. et augm). Editions Tec & Doc ; Editions médicales internationales.
- Caballero-Gallardo, K., Quintero-Rincón, P., Stashenko, E. E., & Olivero-Verbel, J. (2022). Photoprotective Agents Obtained from Aromatic Plants Grown in Colombia: Total Phenolic Content, Antioxidant Activity, and Assessment of Cytotoxic Potential in Cancer Cell Lines of *Cymbopogon flexuosus* L. and *Tagetes lucida* Cav. Essential Oils. *Plants*, 11(13), 1693. <https://doi.org/10.3390/plants11131693>
- Chader, H., & Gacem, H. (2020). Impact of solar radiation on health. *Batna Journal of Medical Sciences (BJMS)*, 7(2), 151–158. <https://doi.org/10.48087/BJMSra.2020.7219>
- Chase, M. W., & Reveal, J. L. (2009). A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III: PHYLOGENETIC CLASSIFICATION OF LAND PLANTS. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 122–127. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.01002.x>
- Cherfia, R., Zaiter, A., Akkal, S., Chaimbault, P., Abdelwahab, A. B., Kirsch, G., & Kacem Chaouche, N. (2020). New approach in the characterization of bioactive compounds isolated from *Calycotome spinosa* (L.) Link leaves by the use of negative electrospray ionization LITMS , LC-ESI-MS/MS, as well as NMR analysis. *Bioorganic Chemistry*, 96, 103535. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.103535>
- Corinaldesi, C., Marcellini, F., Nepote, E., Damiani, E., & Danovaro, R. (2018). Impact of inorganic UV filters contained in sunscreen products on tropical stony corals (*Acropora* spp.). *Science of The Total Environment*, 637–638, 1279–1285. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.108>
- Correia, P., Araújo, P., Ribeiro, C., Oliveira, H., Pereira, A. R., Mateus, N., de Freitas, V., Brás, N. F., Gameiro, P., Coelho, P., Bessa, L. J., Oliveira, J., & Fernandes, I. (2021). Anthocyanin-Related Pigments: Natural Allies for Skin Health Maintenance and Protection. *Antioxidants*, 10(7), 1038. <https://doi.org/10.3390/antiox10071038>
- Curiosorum, A. C. L. N. (1824). *Nova acta physico-medica Academiae Caesareae Leopoldino-Carolinae Naturae Curiosorum*. 12, 125–126.
- Delbeke, E. I. P., Everaert, J., Uitterhaegen, E., Verweire, S., Verlee, A., Talou, T., Soetaert, W., Van Bogaert, I. N. A., & Stevens, C. V. (2016). Petroselinic acid purification and its use for the fermentation of new sophorolipids. *AMB Express*, 6(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s13568-016-0199-7>
- Diffey, B. L. (2002). Human exposure to solar ultraviolet radiation. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 1(3), 124–130. <https://doi.org/10.1046/j.1473-2165.2002.00060.x>
- 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>
- Dréno, B. (2009). Anatomie et physiologie de la peau et de ses annexes. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, 136, S247–S251. [https://doi.org/10.1016/S0151-9638\(09\)72527-X](https://doi.org/10.1016/S0151-9638(09)72527-X)
- Dupont, F., & Guignard, J.-L. (2012). *Botanique: Les familles de plantes* (15. éd). Elsevier Masson.
- Félix, C., Félix, R., Carmona, A. M., Januário, A. P., Dias, P. D. M., Vicente, T. F. L., Silva, J., Alves, C., Pedrosa, R., Novais, S. C., & Lemos, M. F. L. (2021). Cosmeceutical Potential of *Grateloupia turuturu*:

- Using Low-Cost Extraction Methodologies to Obtain Added-Value Extracts. *Applied Sciences*, 11(4), 1650. <https://doi.org/10.3390/app11041650>
- Garnacho Saucedo, G. M., Salido Vallejo, R., & Moreno Giménez, J. C. (2020). Effects of solar radiation and an update on photoprotection. *Anales de Pediatría (English Edition)*, 92(6), 377.e1-377.e9. <https://doi.org/10.1016/j.anpede.2020.04.003>
- Geoffrey, K., Mwangi, A. N., & Maru, S. M. (2019). Sunscreen products: Rationale for use, formulation development and regulatory considerations. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 27(7), 1009–1018. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2019.08.003>
- Gilaberte, Y., Prieto-Torres, L., Pastushenko, I., & Juarranz, Á. (2016). Anatomy and Function of the Skin. In *Nanoscience in Dermatology* (pp. 1–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802926-8.00001-X>
- Guijarro-Real, C., Rodríguez-Burruezo, A., Prohens, J., Raigón, M. D., & Fita, A. (2019). HS-SPME analysis of the volatiles profile of water celery (*Apium nodiflorum*), a wild vegetable with increasing culinary interest. *Food Research International*, 121, 765–775. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.054>
- Harshada M. Sanap, Bhakti Y. Sabale, Chaitali R. Dhale, Saurabh S. Pol, & Ajay D. More. (2024). Review on Formulation and Evaluation of Sunscreen. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 203–213. <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-22438>
- Heywood, V. H. (1996). *Les Plantes à fleurs: 306 familles de la flore mondiale*. Nathan.
- Huang, Y., Law, J. C.-F., Lam, T.-K., & Leung, K. S.-Y. (2021). Risks of organic UV filters: A review of environmental and human health concern studies. *Science of The Total Environment*, 755, 142486. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142486>
- Jesus, A., Augusto, I., Duarte, J., Sousa, E., Cidade, H., Cruz, M. T., Lobo, J. M. S., & Almeida, I. F. (2022). Recent Trends on UV filters. *Applied Sciences*, 12(23), 12003. <https://doi.org/10.3390/app122312003>
- Jesus, A., Sousa, E., Cruz, M., Cidade, H., Lobo, J., & Almeida, I. (2022). UV Filters: Challenges and Prospects. *Pharmaceuticals*, 15(3), 263. <https://doi.org/10.3390/ph15030263>
- Jordão, A. C., dos Santos, G. S., Teixeira, T. R., Gluzezak, A. J. P., de Souza Azevedo, C. B., de Castro Pereira, K., Tonani, L., Gaspar, L. R., von Zeska Kress, M. R., Colepicolo, P., & Debonisi, H. M. (2024). Assessment of the photoprotective potential and structural characterization of secondary metabolites of Antarctic fungus *Arthrinium* sp. *Archives of Microbiology*, 206(1), 35. <https://doi.org/10.1007/s00203-023-03756-w>
- Juliano, C., & Magrini, G. (2017). Cosmetic Ingredients as Emerging Pollutants of Environmental and Health Concern. A Mini-Review. *Cosmetics*, 4(2), 11. <https://doi.org/10.3390/cosmetics4020011>
- Keen, M., & Hassan, I. (2016). Vitamin E in dermatology. *Indian Dermatology Online Journal*, 7(4), 311. <https://doi.org/10.4103/2229-5178.185494>
- Khalil, N., Ashour, M., Fikry, S., Singab, A. N., & Salama, O. (2018). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of selected Apiaceous fruits. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4(1), 88–92. <https://doi.org/10.1016/j.fjps.2017.10.004>
- Kolarsick, P. A. J., Kolarsick, M. A., & Goodwin, C. (2011). Anatomy and Physiology of the Skin: *Journal of the Dermatology Nurses' Association*, 3(4), 203–213. <https://doi.org/10.1097/JDN.0b013e3182274a98>

- Kurzawa, M., Wilczyńska, E., Brudzyńska, P., & Sionkowska, A. (2022a). Total Phenolic Content, Antioxidant Capacity and UV Radiation Protection Properties of Marigold (*Calendula officinalis*), Carrot (*Daucus carota*), Tomato (*Solanum lycopersicum*) and Hop (*Humulus lupulus*) Extracts. *Cosmetics*, 9(6), 134. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9060134>
- Kurzawa, M., Wilczyńska, E., Brudzyńska, P., & Sionkowska, A. (2022b). Total Phenolic Content, Antioxidant Capacity and UV Radiation Protection Properties of Marigold (*Calendula officinalis*), Carrot (*Daucus carota*), Tomato (*Solanum lycopersicum*) and Hop (*Humulus lupulus*) Extracts. *Cosmetics*, 9(6), 134. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9060134>
- Lacour, J. P., & Béani, J. C. (2007). Photoprotection naturelle, photoprotection externe (topique et vestimentaire). *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, 134(5), 18–24. [https://doi.org/10.1016/S0151-9638\(07\)89241-6](https://doi.org/10.1016/S0151-9638(07)89241-6)
- Lariushin, B. (2012). *Apiaceae family* (Vol. 1).
- Laverdet, B., Girard, D., & Desmoulière, A. (2018). Physiologie de la peau, réparation cutanée et réaction stromale. *Actualités Pharmaceutiques*, 57(581), 20–23. <https://doi.org/10.1016/j.actpha.2018.10.004>
- Leccia, M.-T. (2013). Peau, soleil et vitamine D: Réalités et controverses. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, 140(3), 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.annder.2012.12.003>
- Leccia, M.-T., Lebbe, C., Claudel, J.-P., Narda, M., & Basset-Seguín, N. (2019). New Vision in Photoprotection and Photorepair. *Dermatology and Therapy*, 9(1), 103–115. <https://doi.org/10.1007/s13555-019-0282-5>
- Lefahal, M., Makhoulfi, E., Ayad, R., Boussetla, A., Elhattab, M., Keskin, M., & Akkal, S. (2023). Highlighting the Cosmeceutical Potential of the Edible *Bunium alpinum* Waldst& Kit (Apiaceae) Growing in Algeria: In vitro Antioxidant and Photoprotective Effects. *Gazi University Journal of Science*, 36(1), 108–118. <https://doi.org/10.35378/gujs.1052131>
- Li, L., Chong, L., Huang, T., Ma, Y., Li, Y., & Ding, H. (2023a). Natural products and extracts from plants as natural UV filters for sunscreens: A review. *Animal Models and Experimental Medicine*, 6(3), 183–195. <https://doi.org/10.1002/ame2.12295>
- Li, L., Chong, L., Huang, T., Ma, Y., Li, Y., & Ding, H. (2023b). Natural products and extracts from plants as natural UV filters for sunscreens: A review. *Animal Models and Experimental Medicine*, 6(3), 183–195. <https://doi.org/10.1002/ame2.12295>
- Lorigo, M., Mariana, M., & Cairrao, E. (2018). Photoprotection of ultraviolet-B filters: Updated review of endocrine disrupting properties. *Steroids*, 131, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2018.01.006>
- Lotfollahi, Z. (2024). The anatomy, physiology and function of all skin layers and the impact of ageing on the skin. *Wound Practice and Research*, 32(1). <https://doi.org/10.33235/wpr.32.1.6-10>
- Louaer, S., Akkal, S., Bayet, C., Laouer, H., & Guilet, D. (2008). Flavonoids of Aerial Parts of an Endemic Species of the Apiaceae of Algeria, *Ammoides atlantica*. *Chemistry of Natural Compounds*, 44(4), 516–517. <https://doi.org/10.1007/s10600-008-9110-3>
- Lozano, C., Matallana-Surget, S., Givens, J., Nouet, S., Arbuckle, L., Lambert, Z., & Lebaron, P. (2020). Toxicity of UV filters on marine bacteria: Combined effects with damaging solar radiation. *Science of The Total Environment*, 722, 137803. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137803>
- Maggi, F., Giuliani, C., Fico, G., Ricciutelli, M., Bramucci, M., Quassinti, L., Petrelli, D., Vitali, L. A., Cianfaglione, K., Tirillini, B., Sut, S., & Dall'Acqua, S. (2019). Secondary metabolites, secretory

- structures and biological activity of water celery (*Apium nodiflorum* (L.) Lag.) growing in central Italy. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 153(2), 325–335. <https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1492992>
- Mansuri, R., Diwan, A., Kumar, H., Dangwal, K., & Yadav, D. (2021). Potential of Natural Compounds as Sunscreen Agents. *Pharmacognosy Reviews*, 15(29), 47–56. <https://doi.org/10.5530/phrev.2021.15.5>
- MARIEB, E., & HOEHN, K. (2014). *ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE HUMAINES 9E EDITION*. PEARSON.
- Marieb, E. N., & Keller, S. M. (2020). *Biologie humaine: Principes d'anatomie et de physiologie* (12e édition). ERPI.
- Md Jaffri, J. (2023). Reactive Oxygen Species and Antioxidant System in Selected Skin Disorders. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, 30(1), 7–20. <https://doi.org/10.21315/mjms2023.30.1.2>
- Mélissopoulos, A. (2012). *La peau: Structure et physiologie* (2e édition). Éditions Tec & doc.
- Meunier, L. (2008). Photoprotection (interne et externe). *EMC - Dermatologie*, 3(1), 1–14. [https://doi.org/10.1016/S0246-0319\(08\)48433-9](https://doi.org/10.1016/S0246-0319(08)48433-9)
- Milutinov, J., Pavlović, N., Ćirin, D., Atanacković Krstonošić, M., & Krstonošić, V. (2024). The Potential of Natural Compounds in UV Protection Products. *Molecules*, 29(22), 5409. <https://doi.org/10.3390/molecules29225409>
- Mitchelmore, C. L., Burns, E. E., Conway, A., Heyes, A., & Davies, I. A. (2021). A Critical Review of Organic Ultraviolet Filter Exposure, Hazard, and Risk to Corals. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(4), 967–988. <https://doi.org/10.1002/etc.4948>
- Montenegro, L., & Santagati, L. M. (2019). Use of Vegetable Oils to Improve the Sun Protection Factor of Sunscreen Formulations. *Cosmetics*, 6(2), 25. <https://doi.org/10.3390/cosmetics6020025>
- Nagula, R. L., & Wairkar, S. (2019). Recent advances in topical delivery of flavonoids: A review. *Journal of Controlled Release*, 296, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2019.01.029>
- Ngoc, Tran, Moon, Chae, Park, & Lee. (2019). Recent Trends of Sunscreen Cosmetic: An Update Review. *Cosmetics*, 6(4), 64. <https://doi.org/10.3390/cosmetics6040064>
- Noorbakhsh, F., Lotfali*, E., Ghajari, A., Ansari, S., Mohammadi, R., & Arab-Mazar, Z. (n.d.). The Effect of Chenopodium Album and Apium Nodiflorum on the Expression of the Regulatory Gene (aflR) that Produces Aflatoxin in Aspergillus parasiticus. *Herbal Medicines Journal*, In press. <https://doi.org/10.22087/hmj.v0i0.612>
- Onder, A., Cinar, A. S., Baran, M. Y., Kuruüzüm-Uz, A., & Trendafilova, A. (2022). Coumarins from Seseli petraeum M. Bieb. (Apiaceae) and their α -glucosidase inhibitory activity. *South African Journal of Botany*, 144, 458–463. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.09.022>
- Pandey, M. M., Vijayakumar, M., Rastogi, S., & Rawat, A. K. S. (2012). Phenolic Content and Antioxidant Properties of Selected Indian Spices of Apiaceae. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 18(3), 246–256. <https://doi.org/10.1080/10496475.2012.680548>
- Panyakaew, J., Chalom, S., Sookhee, S., Saijai, A., Chandet, N., Meepowpan, P., Thavornnyutikarn, P., & Mungkornasawakul, P. (2021). Kaempferia Sp. Extracts as UV Protecting and Antioxidant Agents in Sunscreen. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 27(1), 37–56. <https://doi.org/10.1080/10496475.2020.1777614>

- Pawlowski, S., Herzog, B., Sohn, M., Petersen-Thiery, M., & Acker, S. (2021). EcoSun Pass: A tool to evaluate the ecofriendliness of UV filters used in sunscreen products. *International Journal of Cosmetic Science*, 43(2), 201–210. <https://doi.org/10.1111/ics.12681>
- Pelizzo, M., Zattra, E., Nicolosi, P., Peserico, A., Garoli, D., & Alaibac, M. (2012). *In Vitro* Evaluation of Sunscreens: An Update for the Clinicians. *ISRN Dermatology*, 2012, 1–4. <https://doi.org/10.5402/2012/352135>
- Pimenov, M. G., & Leonov, M. V. (1993). *The genera of the umbelliferae: A nomenclator*. Royal botanic gardens.
- Pniewska, A., & Kalinowska-Lis, U. (2024). A Survey of UV Filters Used in Sunscreen Cosmetics. *Applied Sciences*, 14(8), 3302. <https://doi.org/10.3390/app14083302>
- Quezel, P., & Santa, S. (1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris.
- Rajnochová Svobodová, A., Gabrielová, E., Michaelides, L., Kosina, P., Ryšavá, A., Ulrichová, J., Zálešák, B., & Vostálová, J. (2018). UVA-photoprotective potential of silymarin and silybin. *Archives of Dermatological Research*, 310(5), 413–424. <https://doi.org/10.1007/s00403-018-1828-6>
- Raymond-Lezman, J. R., & Riskin, S. I. (2023). Benefits and Risks of Sun Exposure to Maintain Adequate Vitamin D Levels. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.38578>
- Saleem, F., Sarkar, D., Ankolekar, C., & Shetty, K. (2017). Phenolic bioactives and associated antioxidant and anti-hyperglycemic functions of select species of Apiaceae family targeting for type 2 diabetes relevant nutraceuticals. *Industrial Crops and Products*, 107, 518–525. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.023>
- Salih, H., Psomadakis, C., & George, S. M. C. (2024). Sunscreens: A Narrative Review. *Skin Health and Disease*, 4(6), ski2.432. <https://doi.org/10.1002/ski2.432>
- Sanches Silveira, J. E. P., & Myaki Pedroso, D. M. (2014). UV light and skin aging. *Reviews on Environmental Health*, 29(3). <https://doi.org/10.1515/reveh-2014-0058>
- Saraf, S., & Kaur, C. (2010). *In vitro* sun protection factor determination of herbal oils used in cosmetics. *Pharmacognosy Research*, 2(1), 22. <https://doi.org/10.4103/0974-8490.60586>
- Sayed-Ahmad, B., Talou, T., Saad, Z., Hijazi, A., & Merah, O. (2017). The Apiaceae: Ethnomedicinal family as source for industrial uses. *Industrial Crops and Products*, 109, 661–671. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.027>
- Sayre, R. M., Agin, P. P., LeVee, G. J., & Marlowe, E. (1979). A COMPARISON OF IN VIVO AND IN VITRO TESTING OF SUNSCREENING FORMULAS. *Photochemistry and Photobiology*, 29(3), 559–566. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1979.tb07090.x>
- Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., Tundis, R., Sharifi-Rad, M., Loizzo, M., Ademiluyi, A., Sharifi-Rad, R., Ayatollahi, S., & Iriti, M. (2017). Biological Activities of Essential Oils: From Plant Chemoecology to Traditional Healing Systems. *Molecules*, 22(1), 70. <https://doi.org/10.3390/molecules22010070>
- Sharma, M., & Sharma, A. (2023). A Review on Nature Based Sunscreen Agents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1110(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1110/1/012047>

- Son, J., & Shin, J. (2021). Bimodal effects of sunlight on major depressive disorder. *Comprehensive Psychiatry*, 108, 152232. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2021.152232>
- Stahl, W., & Sies, H. (2012). β -Carotene and other carotenoids in protection from sunlight. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 96(5), 1179S-1184S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.034819>
- Stevanato, R., Bertelle, M., & Fabris, S. (2014). Photoprotective characteristics of natural antioxidant polyphenols. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 69(1), 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.02.014>
- Szulc-Musioł, B., Siemiradzka, W., & Dolińska, B. (2023). Formulation and Evaluation of Hydrogels Based on Sodium Alginate and Cellulose Derivatives with Quercetin for Topical Application. *Applied Sciences*, 13(13), 7826. <https://doi.org/10.3390/app13137826>
- Tang, X., Yang, T., Yu, D., Xiong, H., & Zhang, S. (2024). Current insights and future perspectives of ultraviolet radiation (UV) exposure: Friends and foes to the skin and beyond the skin. *Environment International*, 185, 108535. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108535>
- Thiviya, P., Gamage, A., Piumali, D., Merah, O., & Madhujith, T. (2021). Apiaceae as an Important Source of Antioxidants and Their Applications. *Cosmetics*, 8(4), 111. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8040111>
- Thomas, P., & Bonneville, A. (2011). Produits de protection solaire. *EMC - Cosmétologie et dermatologie esthétique*, 6(1), 1–10. [https://doi.org/10.1016/S1283-0143\(11\)70771-3](https://doi.org/10.1016/S1283-0143(11)70771-3)
- Thomas, T., Fat, M., & Kearns, G. (2024). Sunscreens: Potential hazards to environmental and human health. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1471574. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1471574>
- Tortora, G. J., Derrickson, B., & Dubé, S. (2022). *Manuel d'anatomie et de physiologie humaines* (3e éd). Éditions du Renouveau pédagogique.
- Yefrida, Y., Suyani, H., Aziz, H., & Efdi, M. (2018). Comparison of Iron Reduction Methods on the Determination of Antioxidants Content in Vegetables Sample. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(5), 2418–2424. <https://doi.org/10.13005/ojc/340525>
- Yousef, H., Alhaji, M., Fakoya, A. O., & Sharma, S. (2025). Anatomy, Skin (Integument), Epidermis. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470464/>
- Zamudio Díaz, D. F., Busch, L., Kröger, M., Klein, A. L., Lohan, S. B., Mewes, K. R., Vierkotten, L., Witzel, C., Rohn, S., & Meinke, M. C. (2024). Significance of melanin distribution in the epidermis for the protective effect against UV light. *Scientific Reports*, 14(1), 3488. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53941-0>
- Zengin, G., Sinan, K. I., Ak, G., Mahomoodally, M. F., Paksoy, M. Y., Picot-Allain, C., Glamocilja, J., Sokovic, M., Jekő, J., Cziáky, Z., Rodrigues, M. J., Pereira, C. G., & Custodio, L. (2020). Chemical profile, antioxidant, antimicrobial, enzyme inhibitory, and cytotoxicity of seven Apiaceae species from Turkey: A comparative study. *Industrial Crops and Products*, 153, 112572. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112572>
- Zou, W., Ramanathan, R., Urban, S., Sinclair, C., King, K., Tinker, R., & Bansal, V. (2022). Sunscreen testing: A critical perspective and future roadmap. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 157, 116724. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116724>

Chapitre II

Matériels et Méthodes



I.8 Récolte de la matière végétale.

Les parties aériennes de l'espèce étudiée ont été collectées en mai 2022 à Elkala. La plante a été identifiée par le Prof. Dr. H. Laouer botaniste du Département de biologie et d'écologie végétale, Université Ferhat Abbas (Sétif, Algérie).

I.9 Extraction

Les parties aériennes pulvérisées de la plante ont été successivement extraites avec différents solvants de polarité croissante. Un total de 100 g de parties aériennes en poudre a été trempé dans du dichlorométhane (DCM) en ration (1/10) à température ambiante pendant 72 h. Le macérât a été filtré à l'aide d'un papier filtre Watman N°1 et le filtrat obtenu a été concentré à sec sous pression réduite à 40°C à l'aide d'un évaporateur rotatif produisant un extrait de dichlorométhane. Le résidu obtenu a été séché à l'air et extrait avec de l'acétate d'éthyle puis de le méthanol selon une procédure similaire à celle adoptée pour la préparation de l'extrait de dichlorométhane. Enfin, les extraits obtenus (DCM, EtOAc et MeOH) ont été pesés et conservés à 4°C jusqu'à leur utilisation.

I.10 Caractérisation phytochimique

I.10.1 La teneur en phénols totaux (TPC)

La teneur en polyphénols de l'extrait méthanolique est déterminée par la méthode de (Boulacel *et al.*, 2019). Brièvement, 300µl de l'extrait (dissous dans le méthanol) ont été ajoutés à 1500µl de réactif de Folin-Ciocalteu (10 fois dilué). La solution a été mélangée et incubée pendant 4 minutes. Après l'incubation, 1200 µl d'une solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 (7,5%) a été ajoutée. Le mélange final a été secoué et puis incubé pendant deux heures dans l'obscurité à température ambiante. L'absorbance a été mesurée par un spectrophotomètre à 765 nm.

La teneur en polyphénols totaux est exprimée en milligrammes d'équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g).

I.10.2 La teneur en flavonoïdes totaux (TFC)

La teneur en flavonoïdes de l'extrait méthanolique obtenus est déterminée par la méthode de (Ayad *et al.*, 2018). Un volume de 1 ml de l'extrait (1mg/ mL dans le MeOH)

a été ajouté à un volume égal d'une solution d' AlCl_3 (2% dans le méthanol). Le mélange final a été secoué et puis incubé pendant 10 min dans l'obscurité à température ambiante. L'absorbance a été mesurée par un spectrophotomètre à 430 nm.

La teneur en flavonoïdes totaux est exprimé en milligrammes d'équivalent de quercétine par gramme d'extrait mg (EQ/g).

I.11 Evaluation de l'activité antioxydante

I.11.1 Piégeage du radical 2-diphényl-picrylhydrazyl (DPPH)

L'évaluation de l'effet scavenger de l'extrait méthanolique vis-vis au radical DPPH a été évaluée selon le protocole décrit par (Lefahal *et al.*, 2022). Pratiquement, 400µl de l'extrait à une concentration (1mg/ mL dans le MeOH) sont mélangées avec 1600µl d'une solution méthanolique de DPPH (0.004%). L'absorbance est lue à 517nm après une période d'incubation de 30 minutes à l'abri de la lumière et à une température ambiante.

I.11.2 La capacité antioxydante totale (TAC) par le test phosphomolybdène

La capacité antioxydante totale (TAC) de l'extrait a été déterminée selon la méthode de phosphomolybdène décrite par (Cherfia *et al.*, 2020). Un volume de 300µl l'extrait méthanolique (1mg/ mL dans le MeOH) est mélangé avec 3 ml de solution du réactif (0.6 M acide sulfurique, 28 mm de phosphate de sodium et 4 mm de molybdate d'ammonium). Les tubes contenant le mélange réactionnel sont incubés à 95°C pendant 90 min. Après refroidissement, l'absorbance des solutions est mesurée à 695nm.

I.11.3 Activité de réduction par la formation du complexe Fe^{+2} -phénanthroline

L'activité de réduction par la formation du complexe Fe^{+2} -phénanthroline a été réalisée selon la méthode décrite par (Yefrida *et al.*, 2018) avec de quelques modification. Un volume de 0,6 mL de l'extrait (1mg/ mL dans le MeOH) a été ajouté à un volume de 1 mL de FeCl_3 (0.2%) et 0,5 mL phénanthroline (0.5%), ensuite le volume est complété à 10 mL par le méthanol. Le mélange a été agité vigoureusement et incubé pendant 20 min à température ambiante. L'absorbance a été déterminée à 510 nm.

Les résultats de l'effet antioxydant sont exprimés en milligramme équivalent d'acide ascorbique par gramme d'extrait (mg EAA/ g).

I.12 Evaluation de l'effet photoprotecteur

I.12.1 Évaluation du potentiel de filtration des UV

Le potentiel de filtration des rayonnements UV de l'extrait méthanolique a été réalisé comme a été décrit par (Félix *et al.*, 2021). Pratiquement, l'absorption des rayonnements UV de l'extrait (200 µg/mL) a été enregistrée entre 290 et 400 nm.

I.12.2 Détermination du facteur de protection solaire (FPS) *in vitro*

La détermination du FPS *in vitro* a été réalisée par la méthode de dilution (Rajnochová Svobodová *et al.*, 2018; Correia *et al.*, 2021). Pour cela, une quantité de 10 mg d'échantillon a été dilué dans le MeOH. Ensuite, un scan spectrophotométrique aux longueurs d'onde 290 à 320 nm avec des intervalles de 5 nm a été réalisé et les absorbance sont enregistrées. Des courbes d'étalonnage ont été construites en utilisant différentes concentrations (25-200µg/mL) d'échantillons et l'oxybenzone a été utilisé pour déterminer des valeurs SPF de 15 et 30, qui sont couramment utilisées comme valeurs SPF de référence pour les produits commerciaux. Le FPS a été calculé en utilisant l'équation de Mansur (Sayre *et al.*, 1979).

$$\text{FPS} = \text{CF} \sum_{290}^{320} \text{EE}(\lambda) \text{I}(\lambda) \text{abs}(\lambda)$$

EE (λ): le spectre de l'effet érythémateux, I (λ): le spectre de l'intensité du soleil, Abs (λ): absorbance, CF: facteur de correction (=10). Les valeurs du produit EE * I sont des valeurs constantes, normalisées pour une longueur d'onde donnée

I.12.3 Evaluation de la protection contre les rayonnements UVA

I.12.3.1 Détermination de longueur d'onde critique λ_c

La longueur d'onde critique λ_c est la longueur d'onde à laquelle 90 % de l'aire sous la courbe d'absorbance est trouvée en considérant l'intégrale du spectre d'absorption de 290 à 400 nm avec un trajet optique de 1,0 cm (Panyakaew *et al.*, 2021). Ce paramètre est calculé en utilisant la formule suivante:

$$\int_{290}^{\lambda_c} A(\lambda) d(\lambda) = 0,9 \int_{290}^{400} A(\lambda) d(\lambda)$$

$A(\lambda)$: absorbance monochromatique, λ : longueur d'onde.

Pour les longueurs d'onde critiques inférieures à 325 nm, il n'y a pas de protection contre les rayons UV, mais dans le cas d'une longueur d'onde critique supérieure à 370 nm, la protection contre les rayons UV est maximale (Kurzawa *et al.*, 2022b).

I.12.3.2 Détermination du rapport UVA/UVB

L'extrait méthanolique a également été examiné pour son rapport d'absorbance UVA/UVB selon le système Boots Star Rating (système de notation par étoiles) (Caballero-Gallardo *et al.*, 2022)

Le rapport UVA/UVB	Protection contre UVA
(0,0 - 0,2)	Trop faible (-)
(0,2 - 0,4)	Modéré (*)
(0,4 - 0,6)	Bonne (**)
(0,6 - 0,8)	Supérieur (***)
$\geq 0,8$	Maximal (****)

Le rapport UVA/UVB a été calculé en utilisant la formule suite:

$$\frac{\text{UVA}}{\text{UVB}} = \left[\int_{320}^{400} A(\lambda) d(\lambda) / \int_{320}^{400} d(\lambda) \right] / \left[\int_{290}^{320} A(\lambda) d(\lambda) / \int_{290}^{320} d(\lambda) \right]$$

$A(\lambda)$: absorbance monochromatique, λ : longueur d'onde.

I.12.3.3 Détermination du rapport UVAI/UV

$$\frac{\text{UVAI}}{\text{UV}} = \left[\int_{340}^{400} A(\lambda) d(\lambda) / \int_{340}^{400} d(\lambda) \right] / \left[\int_{290}^{400} A(\lambda) d(\lambda) / \int_{290}^{400} d(\lambda) \right]$$

I.12.4 Evaluation de photostabilité

Le test de photostabilité de l'extrait méthanolique a été réalisé à l'aide d'une chambre lumineuse équipée d'une lampe UV à 365 nm de longueur d'onde, selon la méthode adoptée par (Almeida *et al.*, 2020) avec quelques modifications. Des solutions de 200 µg/mL de l'extrait méthanolique ont été préparées dans des flacons volumétriques, qui ont par la suite été exposées à la radiation pendant 120 minutes. Les spectres d'absorption des solutions dans la gamme 290-400 nm ont été enregistrés. Les résultats de photostabilité sont exprimés en pourcentage de l'aire sous la courbe des échantillons irradiés par rapport à l'aire sous la courbe des échantillons non irradiés, considérée comme 100 % (Jordão *et al.*, 2024) selon la formule suivante :

$$ASC = (ASC \text{ après irradiation}) / (ASC \text{ avant irradiation}) * 100$$

I.12.5 Evaluation de thermostabilité

L'extrait méthanolique a initialement été préparé dans l'eau (200 µg/mL) dans des tubes à essai en verre avec bouchon. Sa thermostabilité a été évaluée par exposition à une température de 50 °C pendant une heure dans un bain-marie. Les spectres d'absorption des solutions dans la gamme de 290 à 400 nm ont été enregistrés et les résultats de thermostabilité sont exprimés en pourcentage de l'aire sous la courbe des échantillons exposés à la chaleur par rapport à l'aire sous la courbe des échantillons non exposés, considérée comme 100%.

$$ASC = (ASC \text{ exposé}) / (ASC \text{ non exposé}) * 100$$

I.12.6 Test de la capacité de l'extrait méthanolique à booster le FPS d'un écran solaire

Afin de tester la capacité de l'extrait méthanolique à booster le facteur de protection solaire (FPS) lors de son incorporation dans une formulation, nous avons sélectionné un écran solaire commercial dont la valeur SPF est connue pour réaliser ce test. Le tableau suivant présente les différents filtres UV contenus dans la formule testée.

Tableau 4 : Filtres UV contenus dans la formule testée

Filtres UV
Octocrylene, Butyl Methoxydibenzoylmethane, Ethylhexyl Methoxycinnamate, Phenylbenzimidazole Sulfonic Acid, Titanium Dioxide

Ce test a été réalisé selon la méthodologie de Ben Tahar et ses collaborateurs (Ben Tahar *et al.*, 2020), avec quelques modifications. En effet, un échantillon de crème solaire (0,1 g) a été dissous dans 10 ml d'eau et d'éthanol dans un rapport 60:40 (v/v), puis l'extrait méthanolique a été ajouté à la solution de crème solaire à des concentrations finales de, 0,02 et 0,03% (p/p). Le mélange a été vortexé vigoureusement pendant 10 minutes à vitesse maximale, puis filtré en utilisant un papier filtre de 0,45 μm . Ce filtrat a été dilué cinq fois dans une solution d'eau et d'éthanol (60:40, v/v). Ensuite les valeurs de FPS sont mesurées en utilisant l'équation de Mansur.

Références

- Almeida, W. A. da S., Sousa, L. R. D., dos Santos Antunes, A., de Azevedo, A. S., do Nascimento, A. M., Amparo, T. R., de Souza, G. H. B., dos Santos, O. D. H., Andrade, Â. L., Cazati, T., de Abreu Vieira, P. M., Bueno, P. C. P., & dos Santos, V. M. R. (2020). Green Propolis: In Vitro Photoprotective and Photostability Studies of Single and Incorporated Extracts in a Sunscreen Formulation. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 30(3), 436–443. <https://doi.org/10.1007/s43450-020-00071-z>
- Ayad, R., Cakmak, Y. S., Ozusaglam, M. A., Medjroubi, K., & Akkal, S. (2018). *In vitro* antioxidant and antimicrobial activities of aerial parts of Algerian *Jurinea humilis* DC (Asteraceae). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 16(12), 2903. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v16i12.14>
- Ben Tahar, I., Kus-Liśkiewicz, M., Lara, Y., Javaux, E., & Fickers, P. (2020). Characterization of a nontoxic pyomelanin pigment produced by the yeast *Yarrowia lipolytica*. *Biotechnology Progress*, 36(2), e2912. <https://doi.org/10.1002/btpr.2912>
- Boulacel, I., Harkati, B., Ayad, R., Demirtas, I., Laouer, H., & Akkal, S. (2019). Phytochemical Studies Antibacterial and Antioxidant Activities of Aerial Parts of *Ferula lutea* (Poir.) Maire. *Acta Scientifica Naturalis*, 6(1), 17–25. <https://doi.org/10.2478/asn-2019-0003>
- Caballero-Gallardo, K., Quintero-Rincón, P., Stashenko, E. E., & Olivero-Verbel, J. (2022). Photoprotective Agents Obtained from Aromatic Plants Grown in Colombia: Total Phenolic Content, Antioxidant Activity, and Assessment of Cytotoxic Potential in Cancer Cell Lines of *Cymbopogon flexuosus* L. and *Tagetes lucida* Cav. Essential Oils. *Plants*, 11(13), 1693. <https://doi.org/10.3390/plants11131693>
- Cherfia, R., Zaiter, A., Akkal, S., Chaimbault, P., Abdelwahab, A. B., Kirsch, G., & Kacem Chaouche, N. (2020). New approach in the characterization of bioactive compounds isolated from *Calycotome spinosa* (L.) Link leaves by the use of negative electrospray ionization LITMS, LC-ESI-MS/MS, as well as NMR analysis. *Bioorganic Chemistry*, 96, 103535. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.103535>
- Correia, P., Araújo, P., Ribeiro, C., Oliveira, H., Pereira, A. R., Mateus, N., de Freitas, V., Brás, N. F., Gameiro, P., Coelho, P., Bessa, L. J., Oliveira, J., & Fernandes, I. (2021). Anthocyanin-Related Pigments: Natural Allies for Skin Health Maintenance and Protection. *Antioxidants*, 10(7), 1038. <https://doi.org/10.3390/antiox10071038>
- Félix, C., Félix, R., Carmona, A. M., Januário, A. P., Dias, P. D. M., Vicente, T. F. L., Silva, J., Alves, C., Pedrosa, R., Novais, S. C., & Lemos, M. F. L. (2021). Cosmeceutical Potential of *Grateloupia turuturu*: Using Low-Cost Extraction Methodologies to Obtain Added-Value Extracts. *Applied Sciences*, 11(4), 1650. <https://doi.org/10.3390/app11041650>
- Jordão, A. C., dos Santos, G. S., Teixeira, T. R., Gluzezak, A. J. P., de Souza Azevedo, C. B., de Castro Pereira, K., Tonani, L., Gaspar, L. R., von Zeska Kress, M. R., Colepicolo, P., & Deboni, H. M. (2024). Assessment of the photoprotective potential and structural characterization of secondary metabolites of Antarctic fungus *Arthrinium* sp. *Archives of Microbiology*, 206(1), 35. <https://doi.org/10.1007/s00203-023-03756-w>
- Kurzawa, M., Wilczyńska, E., Brudzyńska, P., & Sionkowska, A. (2022b). Total Phenolic Content, Antioxidant Capacity and UV Radiation Protection Properties of Marigold (*Calendula officinalis*), Carrot (*Daucus*

- carota), Tomato (*Solanum lycopersicum*) and Hop (*Humulus lupulus*) Extracts. *Cosmetics*, 9(6), 134. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9060134>
- Lefahal, M., Makhloufi, E., Ayad, R., Boussetla, A., Elhattab, M., Keskin, M., & Akkal, S. (2022). Highlighting the Cosmeceutical Potential of the Edible *Bunium alpinum* Waldst& Kit (Apiaceae) Growing in Algeria: In vitro Antioxidant and Photoprotective Effects. *GAZI UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE*. <https://doi.org/10.35378/gujs.1052131>
- Rajnochová Svobodová, A., Gabrielová, E., Michaelides, L., Kosina, P., Ryšavá, A., Ulrichová, J., Zálešák, B., & Vostálová, J. (2018). UVA-photoprotective potential of silymarin and silybin. *Archives of Dermatological Research*, 310(5), 413–424. <https://doi.org/10.1007/s00403-018-1828-6>
- Sayre, R. M., Agin, P. P., LeVee, G. J., & Marlowe, E. (1979). A COMPARISON OF IN VIVO AND IN VITRO TESTING OF SUNSCREENING FORMULAS. *Photochemistry and Photobiology*, 29(3), 559–566. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1979.tb07090.x>
- Yefrida, Y., Suyani, H., Aziz, H., & Efdi, M. (2018). Comparison of Iron Reduction Methods on the Determination of Antioxidants Content in Vegetables Sample. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(5), 2418–2424. <https://doi.org/10.13005/ojc/340525>

Chapitre III

Résultats et Discussion



II.1 Teneur en polyphénols et flavonoïdes

II.1.1 Teneur en polyphénols totaux TPC

Dans le but de quantifier les polyphénols totaux présents dans l'extrait méthanolique, un dosage a été réalisé par la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu. En effet, les résultats obtenus sont déterminés à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique, et sont exprimés en microgrammes équivalents d'acide gallique par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EAG/mg}$) (Figure 19).

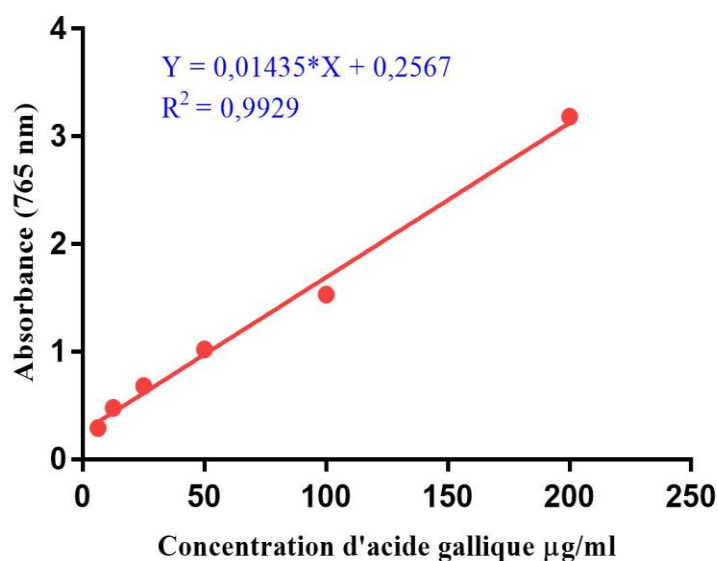


Figure 19 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols

Les résultats montrent que l'extrait méthanolique présente une concentration en polyphénols totaux de $32.56 \pm 0.28 (\mu\text{g GAE /mg})$, ce qui met en évidence une teneur significative en composés phénoliques dans l'échantillon analysé (Tableau 5).

Tableau 5 : Teneur en composés phénoliques et flavonoïdiques totaux de l'extrait méthanolique

Teneur en polyphénols totaux TPC	Teneur en flavonoïdes totaux TFC
$32.56 \pm 0.28 (\mu\text{g GAE /mg})$	$24.09 \pm 0.04 (\mu\text{g QE /mg})$

II.1.2 Teneur en flavonoïdes totaux TFC

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode colorimétrique au chlorure d'aluminium. La teneur en flavonoïdes de l'extrait méthanolique a été déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage de la quercétine (Figure 20), exprimée en mg EQ/mg d'extrait.

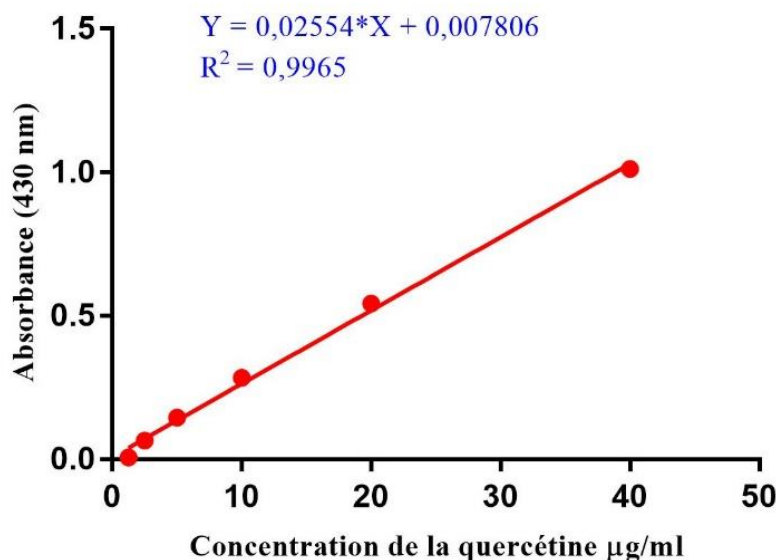


Figure 20 : Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes

Les résultats obtenus dans cette étude (Tableau 5) montrent que l'extrait méthanolique présente une teneur relativement significative en flavonoïdes (24.09 ± 0.04 µg EQ /mg d'extrait).

Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par d'autres auteurs, mettant en évidence la richesse des espèces de la famille des Apiacées en polyphénols et en flavonoïdes (Thiviya *et al.*, 2022). L'abondance en ces métabolites secondaires pourrait expliquer, en partie, les propriétés antioxydantes et pharmacologiques souvent attribuées aux plantes appartenant à la famille des Apiacées. Par conséquent, nombreuses études ont d'ailleurs souligné le potentiel thérapeutique de ces composés, renforçant ainsi l'intérêt croissant pour l'exploration phytochimique de cette famille botanique (Jayakodi *et al.*, 2024).

II.2 Evaluation de l'activité antioxydante *in vitro*

Les composés antioxydants sont des substances essentielles pour lutter contre les effets néfastes des radicaux libres, qui contribuent au développement de maladies graves telles que le cancer et le diabète. En conséquence, l'exploration de nouveaux antioxydants puissants revêt une importance majeure. Dans la présente étude, les propriétés antioxydantes de l'extrait méthanolique ont été évaluées à l'aide de diverses méthodes. Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) est une méthode d'évaluation de la capacité d'un échantillon à piéger les radicaux libres. Le test de phénanthroline, quant à lui, évalue la capacité de l'extrait à réduire les ions de fer. En revanche, le dosage du phosphomolybdène, ou test du TAC, évalue l'efficacité de l'extrait à réduire le Mo(VI) en Mo(V).

II.2.1 Piégeage du radical 2-diphényl-picrylhydrazyl (DPPH)

L'activité anti radicalaires de l'extrait méthanolique a été réalisée à l'aide d'une méthode colorimétrique reposant sur l'utilisation du radical DPPH (2-diphényl-picrylhydrazyl). L'acide ascorbique (vitamine C) a servi de standard pour l'établissement de la courbe d'étalonnage illustrée à la (Figure 21).

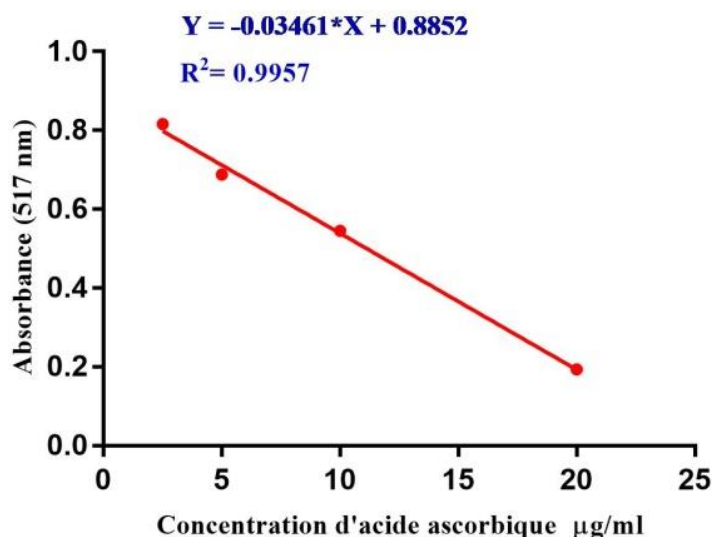


Figure 21 : Courbe d'étalonnage de l'acide Ascorbique (test DPPH).

Les résultats obtenus montrent que l'extrait possède une activité antioxydante intéressante de $20,79 \pm 0,29 \mu\text{g AAE/mg}$ d'extrait supérieure à celle du BHT (antioxydant de référence) dont la valeur est de $17,15 \pm 1,01 \mu\text{g EAA/mg}$ (Tableau 6).

Tableau 6 : Activité antioxydante évaluée par la méthode DPPH exprimée en équivalents d'acide ascorbique (EAA)

Echantillon	Activité antioxydante
Extrait méthanolique	$20,79 \pm 0,29 \mu\text{g AAE/mg}$
BHT (standard)	$17,15 \pm 1,01 \mu\text{g EAA/mg}$

Il est bien noté que les résultats de cette étude sont en accord avec ceux de certains travaux antérieurs, indiquant une corrélation entre l'effet de piégeage du radical DPPH et les teneurs totales en composés phénoliques et en flavonoïdes d'espèces appartenant à la famille des Apiacées telles que *Ammi majus* L, *Ferula gummosa* Boiss, *Daucus carota* Linn, *Sesili libanotis* (L.) Koch, *Sesili libanotis* (L.) Koch, *Coriandrum sativum*, *Foeniculum vulgare*, *Anethum graveolens* (Lefahal *et al.*, 2018).

II.2.2 Activité de réduction par la formation du complexe Fe^{+2} -phénanthroline

Le pouvoir réducteur de l'extrait méthanolique a été déterminé à l'aide du test à la phénanthroline. L'acide ascorbique a été utilisé comme standard de référence, dont la courbe d'étalonnage est présentée (Figure 22). Les résultats obtenus sont exprimés en microgrammes équivalents d'acide ascorbique par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EAA/mg}$).

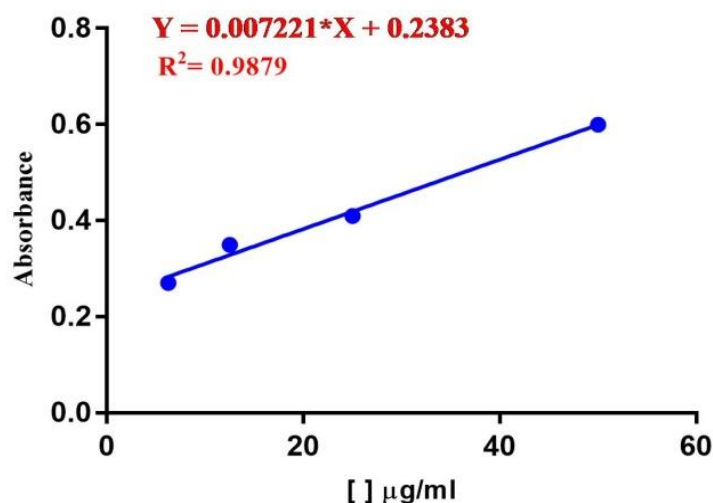


Figure 22 : Courbe d'étalonnage de l'acide Ascorbique (test Phénanthroline)

Les résultats de réduction par formation du complexe Fe^{2+} -phénanthroline, montrent que l'extrait étudié affiche un pouvoir réducteur de $23,20 \pm 0,23 \mu\text{g EAA/mg}$, significativement inférieur à celui du BHT $111,51 \pm 0,92 \mu\text{g EAA/g}$ (Tableau 7).

Tableau 7 : Activité antioxydante évaluée par la méthode à la phénanthroline, exprimée en équivalents d'acide ascorbique (EAA)

Echantillon	Activité antioxydante
Extrait méthanolique	$23,20 \pm 0,23 \mu\text{g EAA/mg}$
BHT (standard)	$111,51 \pm 0,92 \mu\text{g EAA/g}$

II.2.3 La capacité antioxydante totale (TAC)

La capacité antioxydante de l'extrait méthanolique a été déterminée à l'aide de la méthode au phosphomolybdène. Ce test utilise l'acide ascorbique comme référence standard, et la courbe d'étalonnage correspondante est illustrée à la (Figure 23). Les résultats sont exprimés en microgrammes équivalents d'acide ascorbique par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EAA/mg}$).

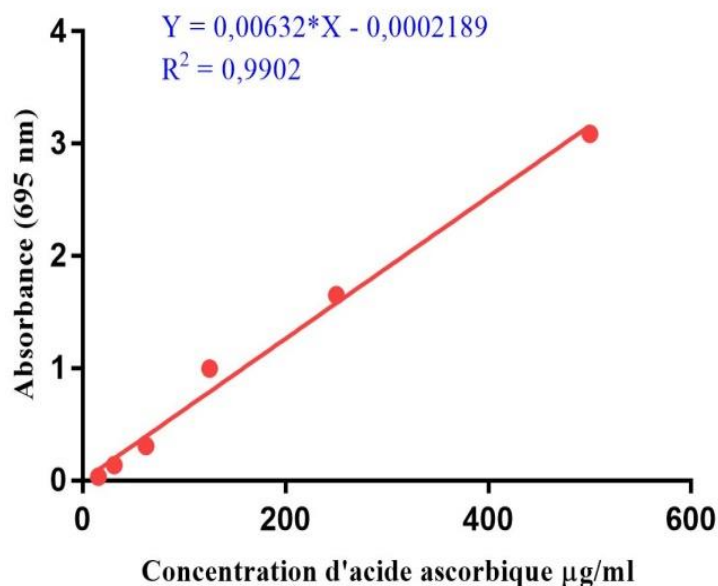


Figure 23 : courbe d'étalonnage de l'acide Ascorbique

Les résultats indiquent que l'extrait possède un pouvoir réducteur modéré, avec une valeur de $57,55 \pm 1,43$ µg EAA/mg. En comparaison, le BHT, un antioxydant de synthèse, a présenté une activité antioxydante significativement plus élevée, atteignant $127,039 \pm 7,034$ µg EAA/g (Tableau 8).

Tableau 8 : Capacité antioxydante totale (TAC) évaluée par la méthode au phosphomolybdène, exprimée en équivalents d'acide ascorbique (EAA)

Echantillon	Activité antioxydante
Extrait méthanolique	$57,55 \pm 1,43$ µg EAA/mg.
BHT (standard)	$127,039 \pm 7,034$ µg EAA/g

L'activité antioxydante détectée dans cet extrait est liée à sa richesse en composés phénoliques, en particulier les polyphénols et flavonoïdes, reconnus pour leur pouvoir réducteur et leur capacité à neutraliser les radicaux libres. Bien que son activité soit inférieure à celle du BHT, elle reste significative et suggère un potentiel antioxydant naturel intéressant.

En ce qui concerne le pouvoir réducteur et la capacité antioxydante totale, l'efficacité de l'extrait méthanolique peut être attribuée à sa composition riche en phénols et en flavonoïdes.

Dans ce contexte, les résultats de notre étude sont en accord avec ceux publiés précédemment, qui mentionnent que les flavonoïdes et les polyphénols peuvent contribuer de manière significative à l'activité antioxydante totale de nombreuses plantes médicinales (Lefahal *et al.*, 2018)

II.3 Evaluation de l'effet photoprotecteur de l'extrait méthanolique

II.3.1 Évaluation du potentiel d'absorption des rayonnements UV

Dans le cadre de ce travail, le profil d'absorption spectrophotométrique de l'extrait méthanolique a été déterminé dans la gamme de 290 à 400 nanomètre (25-200 µg/mL) (Figure 24). Il a été observé que l'extrait étudié absorbe le rayonnement UV dans les régions spectrales UVA et UVB. Il a également été constaté que ce dernier présente un potentiel d'absorption significatif dans la région UVAII à une longueur d'onde d'absorption maximale (λ_{max}) égale à 335 nm. L'analyse des données spectrales met en évidence une corrélation entre le potentiel d'absorption des rayonnements UVA et UVB et la dose de l'extrait. En effet, des concentrations plus élevées d'extrait méthanolique conduisent à des valeurs d'absorbance plus élevées; une concentration de 200 µg/mL présente notamment une valeur d'absorbance de 0,58 par rapport à une valeur inférieure à 0,1 à une concentration de 25 µg/mL.

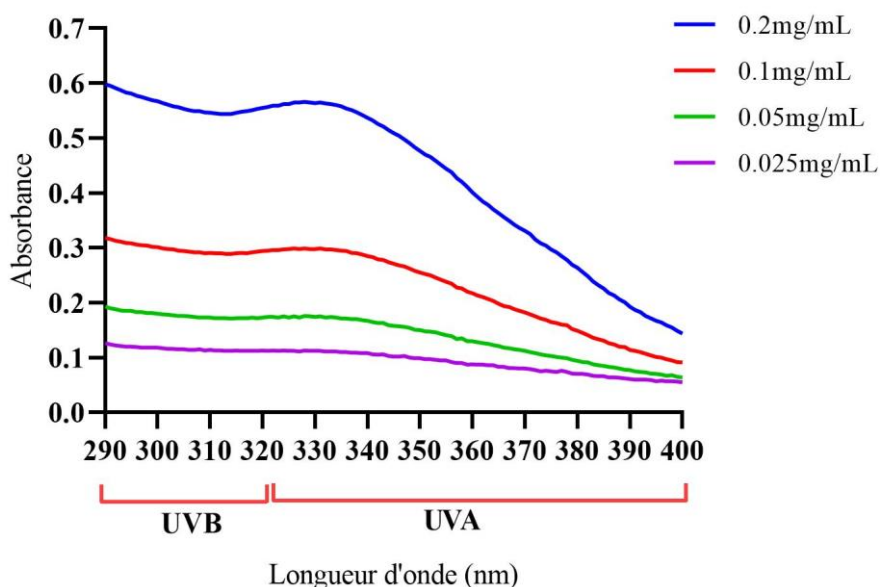


Figure 24 : Le potentiel d'absorption des rayonnements UVA et UVB

II.3.2 Evaluation du facteur de protection solaire (FPS) *in vitro*

Dans ce travail de recherche, l'effet photoprotecteur de l'extrait méthanolique a été évalué en fonction des valeurs FPS, qui servent d'indicateur de la protection contre les rayonnements ultraviolets B (UVB). Les résultats obtenus lors de cette étude sont présentés dans le tableau ci-après. L'examen de résultats obtenus révèle une corrélation entre le facteur de la protection contre les rayonnements ultraviolets B (FPS) et la concentration de l'extrait méthanolique. Il a été également observé que l'extrait méthanolique présente une efficacité notable contre les rayonnements UVB avec un facteur de protection solaire (FPS) s'élevant à $5,584 \pm 0,002$ à une concentration de 200 $\mu\text{g/mL}$.

Tableau 9 : Paramètres de l'activité photoprotectrice

[Extrait] $\mu\text{g/mL}$	SPF	UVA/UVB	UVAI/UV	Lambda critique (λ_c) nm
200	$5,584 \pm 0,002$	$0,69 \pm 0,00$	$0,77 \pm 0,00$	$378,00 \pm 0,00$
100	$2,967 \pm 0,002$	---	---	---
50	$1,772 \pm 0,002$	---	---	---
25	$1,161 \pm 0,002$	---	---	---

Par ailleurs, comme l'extrait méthanolique a montré une efficacité photoprotectrice prometteuse contre les rayonnements UVB, des courbes d'étalonnage (Figure 25) ont été construites à l'aide de différentes concentrations de l'échantillon ($y = 0,02529x + 0,4997$, $R^2 = 0,995$) et de la benzophénone 3 ($y = 0,4810x + 4,089$, $R^2 = 0,993$), afin de déterminer les valeurs SPF de 15 et 30, couramment utilisées comme valeurs SPF de référence pour les produits commerciaux.

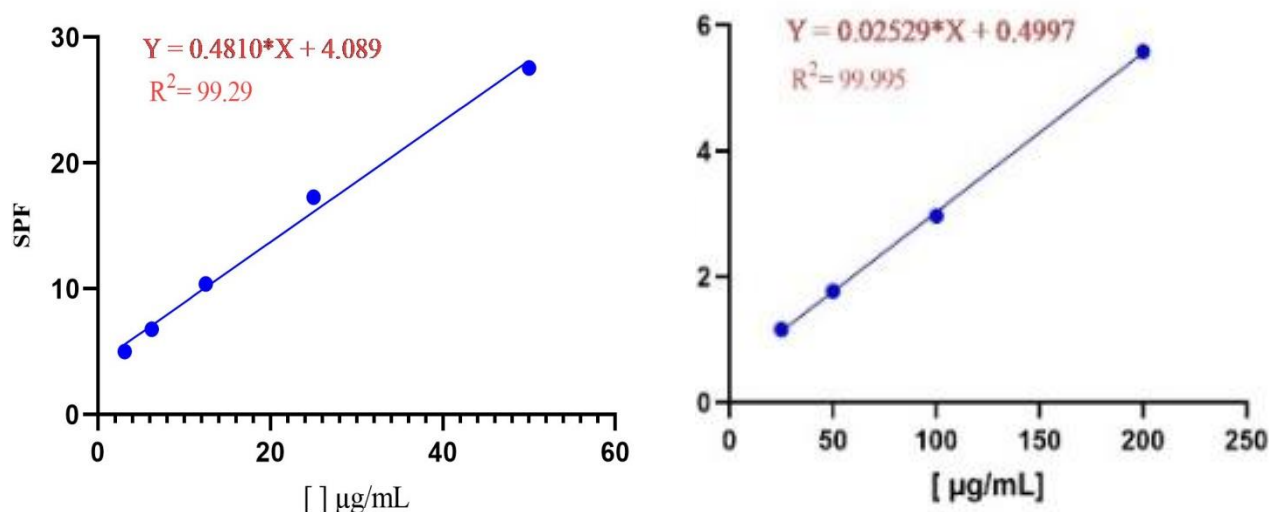


Figure 25 : Courbe d'étalonnage du Benzophenone 3 et de l'extrait méthanolique

Comme l'illustre le Tableau 10, l'extrait méthanolique a montré des concentrations de 573,361 $\mu\text{g/mL}$ et de 1168,457 $\mu\text{g/mL}$ correspondant à des valeurs FPS de 15 et 30, respectivement. En effet, ces valeurs révèlent que l'extrait méthanolique nécessite des concentrations 25,3 fois et 21,69 fois plus élevées que celles de la benzophénone 3 pour atteindre des valeurs SPF de 15 et 30, respectivement.

Tableau 10 : Concentration nécessaire pour atteindre les FPS spécifiques

Facteur de protection solaire	Concentration ($\mu\text{g/mL}$)	
	Extrait méthanolique	Benzophenone 3
15	573,361 \pm 0,000	22,683 \pm 0,000
30	1168,457 \pm 0,000	53,869 \pm 0,000

II.3.3 Evaluation de la protection contre les rayonnements UVA

Il est essentiel de noter qu'un écran solaire efficace doit offrir une protection UV à large spectre, ce qui signifie que la protection contre les rayons UVA et UVB est assurée. En outre l'évaluation du FPS, les rapports UVA/UVB, UVAI/UV et les longueurs d'onde critiques (CW) ont également été calculés. L'administration américaine des médicaments et

de l'alimentation (US-FDA) exige des longueurs d'onde critiques (CW) ≥ 370 (Fuentes *et al.*, 2022) et un rapport UVAI/UV $> 0,7$ (Aguilera *et al.*, 2023) pour une protection à large spectre. Lors de cette étude, une longueur d'onde critique (CW) supérieure à 370nm (WC=378nm) a été enregistrée, ce qui suggère une protection à large spectre prometteuse. Cette observation est confirmée par le rapport UVAI/UV qui était supérieur à 0,7 (UVAI/UV = $0,77 \pm 0,00$).

Le rapport UVA/UVB est un autre facteur qui permet de se faire une idée de la photoprotection à large spectre. Selon le système Boot's Star Rating, l'extrait méthanolique peut être classé comme un protecteur supérieur puisqu'il a un rapport UVA/UVB égal à 0,69, ce qui confirme sa protection à large spectre.

II.3.4 Evaluation de la photostabilité et la thermostabilité

Les tests de stabilité constituent est une étape crucial lors du développement des ingrédients actifs. En effet, ils permettent de vérifier que l'ingrédient développé respecte les normes de la fonctionnalité lorsqu'il est stocké ou formulé dans des conditions spécifiques. Il s'avère ainsi impératif que les ingrédients développés répondent aux normes de qualité établies, tout en conservant leur fonctionnalité lorsqu'ils sont préservés ou formulés dans des conditions particulières. Dans ce contexte, la stabilité de l'extrait méthanolique a été évaluée en fonction de son effet photoprotecteur après exposition à des conditions extrêmes (une irradiation par rayonnement ultraviolet à 365nm pendant deux heures et une incubation à une température élevée de 50C° pendant une heure)

II.3.4.1 Évaluation de la photostabilité après irradiation UV

L'air sous la courbe de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde (290-400 nm) avant et après l'irradiation UV a été présenté dans la (Figure 26). Le rapport entre l'air sous la courbe de l'extrait méthanolique irradiés et non irradiés a été calculé et les résultats ont été présentés sous forme de pourcentage (Tableau 11).

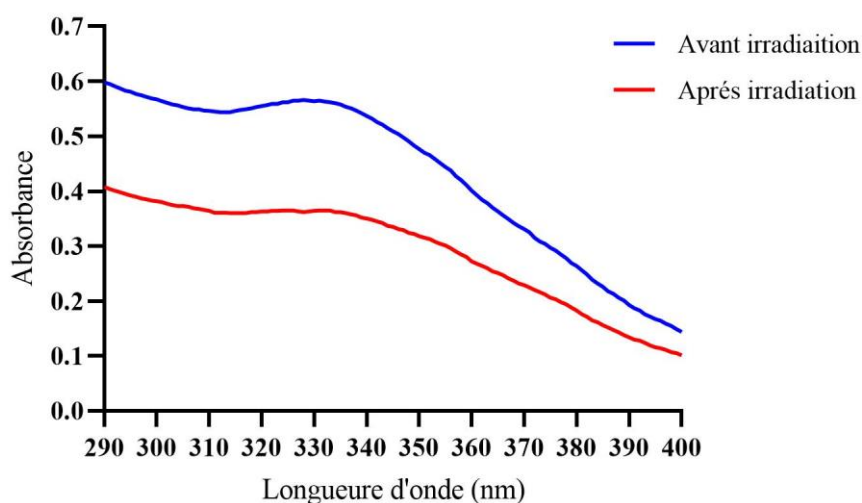


Figure 26 : Air sous la courbe avant et après irradiation UV

Tableau 11 : Pourcentage résiduel de l'aire sous la courbe (%) en fonction de temps d'exposition au rayonnement UV

Temps d'exposition au rayonnement UV (min)	Pourcentage résiduel de l'aire sous la courbe (%)	
	UVB	UVA
0	100±0,000	100±0,000
120	66,96±0,000	66,86±0,000

Les résultats enregistrés lors de cette étude révèlent que l'extrait méthanolique présente une réduction significative de son efficacité protectrice contre les rayonnements ultraviolets (UVA) de 33,14 % après deux heures d'exposition au rayonnement UV. Les résultats démontrent aussi une diminution notable de la protection contre les rayonnements ultraviolets (UVB) avec un pourcentage de 33,04 %. Ces observations mettent en évidence la photostabilité de l'extrait méthanolique après deux heures d'exposition aux rayonnements ultraviolets.

Plusieurs recherches scientifiques ont révélé que certains écrans solaires perdent une partie de leur efficacité photoprotectrice lorsqu'ils sont exposés aux rayons UV (Romanhole *et al.*, 2016). Il a été démontré que les écrans solaires incluant des filtres UV chimiques présentent une photoinstabilité significative par rapport à ceux formulés avec des filtres UV physiques en raison de leur mécanisme d'action qui repose sur l'absorption d'énergie. Cette énergie est responsable de la conversion des molécules de leurs états fondamentaux à des états excités, à partir desquels elles dissipent ensuite l'énergie absorbée. Si le mécanisme de libération d'énergie n'est pas efficace, les molécules organiques peuvent subir un réarrangement, se fragmenter ou générer des radicaux libres, ce qui les rend instables (Romanhole *et al.*, 2016). A la lumière de ces données, la photoinstabilité de l'extrait méthanolique étudié lors de notre travail pourrait s'expliquer par la présence de certaines molécules organiques partageant le même mécanisme d'action que les filtres UV organiques.

II.3.4.2 Évaluation de la thermostabilité

L'air sous la courbe de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde (290-400 nm) après une exposition à la chaleur est présenté dans la (Figure 27). Le rapport entre l'air sous la courbe de l'extrait méthanolique exposé et non exposé a été calculé et les résultats ont été présentés sous forme de pourcentage (Tableau 12).

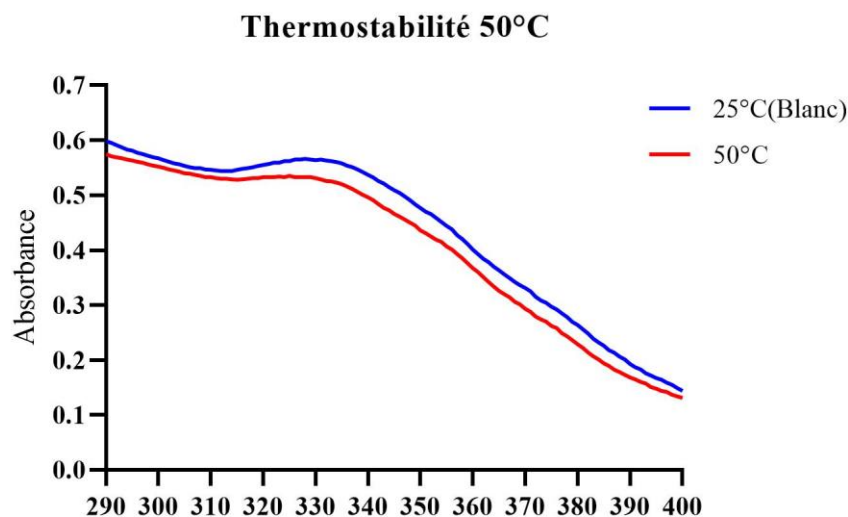


Figure 27 : Air sous la courbe de l'extrait méthanolique après exposition à la chaleur

Tableau 12 : Pourcentage résiduel de l'aire sous la courbe (%) en fonction de temps d'exposition à la chaleur

Temperature	Pourcentage résiduel de l'aire sous la courbe (%)	Stabilité
25°C	100±0,000	-----
50°C	93,45±0,000	Thermostable

Les résultats de cette étude mettent en évidence une diminution faible de la thermostabilité de l'extrait méthanolique, avec une réduction de 6,55% après une heure d'incubation à une température de 50°C. Bien que l'extrait étudié ait montré certaines pertes de thermostabilité, il est néanmoins considéré comme thermostable, car il conserve plus de 93% de sa thermostabilité. Ces observations suggèrent que l'extrait méthanolique a conservé son efficacité photoprotectrice dans des conditions extrêmes. Néanmoins, il est nécessaire d'établir des tests supplémentaires et approfondis afin de confirmer les résultats enregistrés dans cette étude.

II.3.5 Test de la capacité de l'extrait méthanolique à booster le FPS d'un écran solaire

L'évaluation de l'activité photoprotectrice de l'extrait méthanolique, déterminée par sa valeur de protection solaire (FPS), permet de mettre en évidence son potentiel en tant qu'ingrédient actif lorsqu'il est formulé. Au cours de cette étape expérimentale, diverses concentrations d'extrait méthanolique ont été incorporées dans une formulation commerciale de crème solaire (correspondant à 0,02 % et 0,03 % en p/p).

L'incorporation d'une quantité de 0,03 % d'extrait méthanolique dans la composition de la crème solaire, a induit une amélioration notable de l'effet photoprotecteur, comme l'illustre la Figure 28. En effet, il a été constaté que le facteur de protection solaire (FPS) de la crème solaire commerciale testée est boosté d'une valeur de 2,88 (Tableau 13). Cependant, l'incorporation d'une quantité de 0,02 % d'extrait méthanolique, dans la crème solaire commerciale, n'a pas révélé d'amélioration significative de l'activité photoprotectrice.

Tableau 13 : Valeurs FPS de crème commerciale incorporée par différentes concentrations de l'extrait méthanolique

Concentration (%)	0%	0,02%	0,03%
FPS	29,07±0,1	29,07±0,1	31,95±0,2

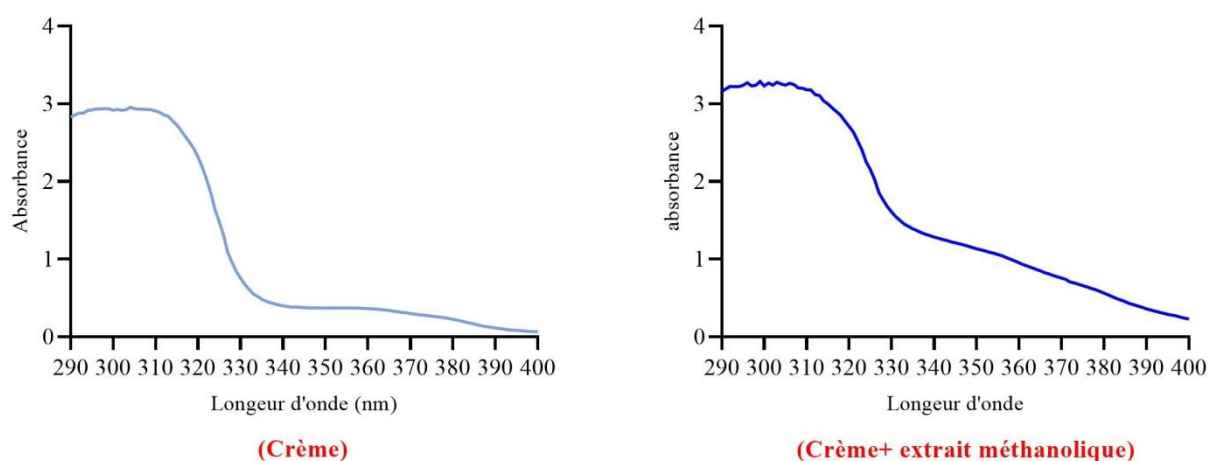


Figure 28 : Le potentiel d'absorption des rayonnements UV

Étant donné le potentiel prometteur de l'extrait méthanolique en tant qu'agent photoprotecteur contre la lumière ultraviolette, comme le prouvent les essais photoprotecteurs *in vitro* réalisés par notre équipe, il s'avère important d'évaluer son efficacité en tant que filtre UV lorsqu'il est incorporé dans des formulations. L'incorporation d'une quantité de 0,03 % d'extrait méthanolique dans la crème solaire commerciale testée a permis d'augmenter significativement du facteur de protection solaire FPS de cette crème. Bien que la quantité d'extrait méthanolique incorporée soit faible, l'amélioration de l' FPS est significative. Ces résultats mettent en évidence l'efficacité photoprotectrice de l'extrait méthanolique et suggèrent son utilisation potentielle comme ingrédient de protection solaire dans les formulations cosmétiques.

Références

- Aguilera, J., Gracia-Cazaña, T., Gilaberte, Y., 2023. New developments in sunscreens. *Photochem. Photobiol. Sci.* 22, 2473–2482. <https://doi.org/10.1007/s43630-023-00453-x>
- Fuentes, J.L., Pedraza Barrera, C.A., Villamizar Mantilla, D.A., Flórez González, S.J., Sierra, L.J., Ocazonez, R.E., Stashenko, E.E., 2022. Flower Extracts from Ornamental Plants as Sources of Sunscreen Ingredients: Determination by In Vitro Methods of Photoprotective Efficacy, Antigenotoxicity and Safety. *Molecules* 27, 5525. <https://doi.org/10.3390/molecules27175525>
- Jayakodi, Y., Thiviya, P., Gamage, A., Evon, P., Madhujith, T., & Merah, O. (2024). Antioxidant Activity of Essential Oils Extracted from Apiaceae Family Plants. *Agrochemicals*, 3(1), 57-69. <https://doi.org/10.3390/agrochemicals3010006>
- Lefahal, M., Zaabat, N., Ayad, R., Makhoulfi, E., Djarri, L., Benahmed, M., Laouer, H., Nieto, G., Akkal, S., 2018. In Vitro Assessment of Total Phenolic and Flavonoid Contents, Antioxidant and Photoprotective Activities of Crude Methanolic Extract of Aerial Parts of *Capnophyllum peregrinum* (L.) Lange (Apiaceae) Growing in Algeria. *Medicines* 5, 26. <https://doi.org/10.3390/medicines5020026>
- Romanhole, R.C., Ataide, J.A., Cefali, L.C., Moriel, P., Mazzola, P.G., 2016. Photostability study of commercial sunscreens submitted to artificial UV irradiation and/or fluorescent radiation. *J. Photochem. Photobiol. B* 162, 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.06.011>
- Thiviya, P., Gunawardena, N., Gamage, A., Madhujith, T., & Merah, O. (2022). Apiaceae Family as a Valuable Source of Biocidal Components and their Potential Uses in Agriculture. *Horticulturae*, 8(7), 614. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070614>

Conclusion



Conclusion et perspectives

Le présent travail a porté sur l'évaluation de l'effet photoprotecteur et antioxydant de l'extrait méthanolique d'une plante appartenant à la flore algérienne issue du genre *Helosciadium*, reconnue pour sa richesse en composés bioactifs.

L'activité antioxydante de l'extrait a été évaluée via trois méthodes, le test DPPH, le test de la Phénanthroline et la capacité antioxydante totale (TAC). Par ailleurs, l'effet photoprotecteur a été évalué en mesurant les paramètres, le FPS, longueur d'onde critique (λ_c), UVA/UVB, et UVAI/UV.

L'analyse phytochimique a révélé une richesse significative de l'extrait méthanolique en flavonoïdes et polyphénols, métabolites secondaires connus souvent pour leurs propriétés antioxydantes et photoprotectrices.

Les résultats de ce présent travail ont mis en évidence une forte capacité antioxydante, ce qui confirme le potentiel de l'extrait méthanolique à neutraliser les radicaux libres générés par les rayonnements ultraviolets.

À une concentration de 200 $\mu\text{g/mL}$, l'extrait méthanolique a démontré une aptitude notable à absorber les rayonnements UV, avec un facteur de protection solaire (FPS) de $5,584 \pm 0,002$, une longueur d'onde critique (λ_c) de $378,00 \pm 0,00$ nm, un rapport UVA/UVB de $0,69 \pm 0,00$ et un indice UVAI/UV de $0,77 \pm 0,00$. Ces paramètres répondent aux exigences de la Commission européenne et FDA en matière de protection contre les rayonnements ultraviolets UVA et UVB, confirmant ainsi la pertinence de cet extrait comme agent photoprotecteur. Par ailleurs, l'incorporation d'une faible quantité de 0,03 % de cet extrait dans une crème solaire commerciale a entraîné une augmentation significative du FPS, atteignant une valeur de $31,95 \pm 0,02$.

En outre, le test de thermostabilité et de photostabilité a montré que l'extrait méthanolique conserve ses propriétés photoprotectrices après incubation à des températures élevées et exposition prolongée aux rayonnements ultraviolets, ce qui renforce son intérêt en tant qu'ingrédient actif stable et efficace qui pourrait être incorporé dans les formulations cosmétiques destinées à la protection solaire.

Conclusion et Perspectives

Ces résultats soulignent le potentiel de l'extrait méthanolique en tant qu'ingrédient actif naturel, grâce à sa richesse en antioxydants et à son activité photoprotectrice significative, même à très faible concentration. Il révèle ainsi son potentiel pour le développement de produits dermocosmétiques naturels, sûrs et respectueux de la peau. Toutefois, des études complémentaires, en particulier des tests de toxicité *in vivo* et *in vitro*, devront être réalisées pour soutenir son utilisation comme filtre UV naturel pour booster l'effet photoprotecteur des formules cosmétiques.

Résumé

Ces dernières années, plusieurs entreprises, ainsi que laboratoires spécialisés dans le domaine de la cosmétiques et de la pharmacie ont pris en charge de développer des alternatives naturelles, plus sûres et non toxiques pour l'homme et l'environnement, surtout avec la prise en conscience croissantes et l'intérêt grandissant pour la composition de nos produits cosmétiques. C'est dans ce contexte que le présent travail a évalué le potentiel photoprotecteur et antioxydant de l'extrait méthanolique d'une plante algérienne du genre *Helosciadium* en tant qu'ingrédient actif naturel pour le développement de formulations photoprotectrices.

L'analyse quantitative des polyphénols totaux et des flavonoïdes a été réalisée, et l'activité antioxydante a été évaluée en utilisant trois tests *in vitro* (DPPH, TAC, Phénanthroline). Les résultats obtenus ont révélé une richesse significative en composés phénoliques et en flavoniques, avec des teneurs de $32,56 \pm 0,28$ µg GAE /mg et $24,09 \pm 0,04$ µg QE /mg, respectivement. En outre, les résultats de l'étude ont révélé que l'extrait méthanolique présentait également un pouvoir antioxydant significatif, notamment dans le test du TAC ($57,55 \pm 1,43$ µg EAA/mg) et dans le test de DPPH ($20,79 \pm 0,29$ µg AAE/mg).

Concernant l'évaluation de l'effet photoprotecteur, une *in vitro* méthodologie a été adoptée pour mesurer un ensemble de paramètres tel que, le facteur de protection solaire (FPS), qui mesure la capacité à filtrer les rayonnements UVB. En outre les paramètres UVA/UVB, UVAI/UV et Lambda critique λ_c qui sont considérés comme des indicateurs de la protection contre les UVA ont également été mesurés. Les résultats de l'analyse ont permis de mettre en évidence un facteur de protection solaire (FPS) égal à 5,584, une longueur d'onde critique de 378 nm, un rapport UVA/UVB égal à 0,69 et un rapport UVAI/UV égal à 0,77, indiquant un effet photoprotecteur notable dans le domaine UVB et UVA. Par ailleurs, l'extrait étudié a été incorporé dans une formulation commerciale afin d'évaluer son impact sur les propriétés photoprotectrices. Son comportement face à la lumière prolongée et à la chaleur élevée a également été analysé via des tests de photostabilité et de thermostabilité.

Les résultats obtenus dans cette étude révèlent la possibilité d'utiliser l'extrait méthanolique comme un additif naturel efficace dans les formulations cosmétiques, notamment comme ingrédient actif de protection contre les rayonnements ultraviolets UVB et UVA.

Mots clés : Apiacées, *Helosciadium*, activité photoprotectrice, activité antioxydante, DPPH, TAC, Phénanthroline, FPS.

Abstract

In recent years, several companies and laboratories specializing in cosmetics and pharmaceuticals have taken it upon themselves to develop natural alternatives that are safer and non-toxic for humans and the environment, especially with growing awareness and interest in the composition of our cosmetic products. It is in this context that the present work evaluated the photoprotective and antioxidant potential of the methanolic extract of an Algerian plant of the *Helosciadium* genus as a natural active ingredient for the development of sunscreen formulations.

A quantitative analysis of total polyphenols and flavonoids was carried out, and the antioxidant activity was assessed using three *in vitro* tests (DPPH, TAC, and Phenanthroline). The obtained results revealed a significant richness in phenolic and flavonoid metabolites, with contents of 32.56 ± 0.28 μg GAE /mg and 24.09 ± 0.04 μg QE /mg, respectively. Moreover, the findings of the current study revealed that the methanolic extract exhibited a substantial antioxidant activity, notably in the TAC assay (57.55 ± 1.43 μg EAA/mg) and in the DPPH assay (20.79 ± 0.29 μg EAA/mg).

Regarding the photoprotective effect evaluation, an *in vitro* methodology was adopted to measure certain parameters, such as the sun protection factor (SPF), which measures the ability to filter UVB radiation. Furthermore, the parameters UVA/UVB, UVAI/UV and critical wavelength (λ_c), which are considered indicators of UVA protection, were also measured. The outcomes of the analysis highlighted a sun protection factor (SPF) equal to 5.584, a critical wavelength of 378 nm, a UVA/UVB ratio equal to 0.69 and a UVAI/UV ratio equal to 0.77, suggesting a notable photoprotective effect within the UVB and UVA range. Besides, the methanolic extract was incorporated into a commercial sunscreen to assess its capacity as a photoprotective properties enhancer. The photostability and thermostability assays were performed in order to assess its behavior under prolonged light exposure and high heat incubation conditions.

Consequently, the findings of this study suggest the possibility of using the examined methanolic extract as a natural additive in cosmetic formulations, particularly as a promising active ingredient for the protection against both UVB and UVA ultraviolet radiation.

Keywords : Apiaceae, *Helosciadium*, photoprotective activity, antioxidant activity, DPPH, TAC, Phenanthroline, SPF.

الملخص

في السنوات الأخيرة، تولت العديد من الشركات والمخابر المتخصصة في مجال مستحضرات التجميل والصيدلة بتكثيف جهودها لتطوير بدائل طبيعية تكون أكثر أماناً وأقل سمية على الإنسان والبيئة، وذلك تماشياً مع تزايد الوعي والاهتمام بمكونات المنتجات التجميلية. وفي هذا الإطار، هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الفعالية المضادة للأكسدة والقدرة على الحماية من الأشعة فوق البنفسجية للمستخلص الميثانولي لنبات جزائري ينتمي إلى جنس *Helosciadium*، وذلك كمكوّن طبيعي فعّال لاستخدامه في تركيب مستحضرات واقية من الشمس.

تم إجراء تحليل كمي للمركبات الفينولية والفلافونويدية الكلية، حيث أظهرت النتائج محتوى مهماً من الفينولات (32.56±0.28 µg GAE /mg) والفلافونويدات (24.09±0.04 µg QE /mg) كما تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة باستخدام ثلاث اختبارات *in vitro*، وهي DPPH، TAC، وPhenanthroline وقد بينت النتائج أن المستخلص الميثانولي أظهر نشاطاً مضاداً للأكسدة ملحوظاً، خاصة في اختبار TAC (57.55±1.43 µg EAA /mg) واختبار DPPH (20.79±0.29 µg EAA /mg).

تم تقييم التأثير الوقائي من الأشعة الشمسية في المختبر *in vitro* من خلال قياس عدة معاملات: FPS (عامل الحماية من الأشعة UVB) بالإضافة إلى ذلك، نسبة UVA/UVB، نسبة UVAI/UV، بالإضافة إلى الطول الموجي الحرج λ_c الذي يُعبّر عن فعالية الحماية ضد الأشعة UVA. كشفت نتائج التحليل عن وجود عامل حماية من الشمس (SPF) يساوي 5,584 $\lambda_c = 378 \text{ nm}$ ، UVA/UVB = 0,69، وUVAI/UV = 0,77. مما يشير إلى وجود تأثير وقائي ضوئي ملحوظ في نطاق الأشعة فوق البنفسجية UVB و UVA إلى جانب ذلك، تم دمج المستخلص الميثانولي في واقي شمسي تجاري لتقييم قدرته كمعزز لخصائص الحماية الضوئية. تم إجراء فحوصات الثبات الضوئي والثبات الحراري من أجل تقييم سلوكه في ظل التعرض للضوء لفترات طويلة وظروف الحضانة الحرارية العالية.

بناءً على ذلك، تشير نتائج هذه الدراسة إلى إمكانية استخدام المستخلص الميثانولي الذي تم فحصه كمادة مضافة طبيعية في تركيبات مستحضرات التجميل، خاصةً كعنصر نشط واعد للحماية من الأشعة فوق البنفسجية فوق البنفسجية من النوعين UVA و UVB.

الكلمات المفتاحية: *Helosciadium*, Apiaceae، النشاط الوقائي من الأشعة فوق البنفسجية، النشاط المضاد للأكسدة، Phenanthroline، TAC، DPPH، معامل الحماية من الشمس SPF.

Année universitaire : 2024-2025	Présenté par : BOUDEMIA Heithem MENAD Akram
Évaluation de l'activité antioxydante et photoprotectrice de l'extrait méthanolique d'une plante appartenant au genre <i>Helosciadium</i> (Apiaceae)	
<p>Ces derniers années, plusieurs entreprises, ainsi que laboratoires spécialisés dans le domaine de la cosmétiques et de la pharmacie ont pris en charge de développer des alternatives naturelles, plus sûres et non toxiques pour l'homme et l'environnement, surtout avec la prise en conscience croissantes et l'intérêt grandissant pour la composition de nos produits cosmétiques. C'est dans ce contexte que le présent travail a évalué le potentiel photoprotecteur et antioxydant de l'extrait méthanolique d'une plante algérienne du genre <i>Helosciadium</i> en tant qu'ingrédient actif naturel pour le développement de formulations photoprotectrices. L'analyse quantitative des polyphénols totaux et des flavonoïdes a été réalisée, et l'activité antioxydante a été évaluée à l'aide de trois tests <i>in vitro</i> (DPPH, TAC, Phénanthroline). Les résultats obtenus ont révélé une richesse significative en composés phénoliques et en flavoniques, avec des teneurs de $32,56 \pm 0,28 \mu\text{g GAE /mg}$ et $24,09 \pm 0,04 \mu\text{g QE /mg}$, respectivement. En outre, les résultats de l'étude ont révélé que l'extrait méthanolique présentait également un pouvoir antioxydant significatif, notamment dans le test du TAC ($57,55 \pm 1,43 \mu\text{g EAA/mg}$) et dans le test de DPPH ($20,79 \pm 0,29 \mu\text{g AAE/mg}$). Concernant l'évaluation de l'effet photoprotecteur, une méthodologie a été adoptée pour mesurer <i>in vitro</i> un ensemble de paramètres tel que, le facteur de protection solaire (FPS), qui mesure la capacité à filtrer les rayonnements UVB. En outre les paramètres UVA/UVB, UVAI/UV et Lambda critique λ_c qui sont considérés comme des indicateurs de la protection contre les UVA ont également été mesurés. Les résultats de l'analyse ont permis de mettre en évidence un facteur de protection solaire (FPS) égal à 5,584, une longueur d'onde critique de 378 nm, un rapport UVA/UVB égal à 0,69 et un rapport UVAI/UV égal à 0,77, indiquant un effet photoprotecteur notable dans le domaine UVB et UVA. Par ailleurs, l'extrait étudié a été incorporé dans une formulation commerciale afin d'évaluer son impact sur les propriétés photoprotectrices. Son comportement face à la lumière prolongée et à la chaleur élevée a également été analysé via des tests de photostabilité et de thermostabilité. Les résultats obtenus dans cette étude révèlent la possibilité d'utiliser l'extrait méthanolique comme un additif naturel efficace dans les formulations cosmétiques, notamment comme ingrédient actif de protection contre les rayonnements ultraviolets UVB et UVA.</p>	
Mots-clefs : Apiacées, <i>Helosciadium</i> , activité photoprotectrice, activité antioxydante, DPPH, TAC, Phénanthroline, FPS.	
Laboratoires de recherche : Unité de recherche valorisation des ressources naturelles molécules bioactives et analyses physico-chimiques et biologiques	
Président du jury : Dr KHELALFA Khaoula MCB Université Constantine 1 Frères Mentouri Rapporteur : Dr LEFAHAL Mostefa MCA Université Constantine 3 Salah Boubnider Examineur : Dr AZZOUZI Salima MCA Université Constantine 3 Salah Boubnider	