



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
département : Biochimie et Biologie Cellulaire
Et Moléculaire

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم: الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الخلوية والجزئية

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 :

Criblage phytochimique et évaluation des propriétés antibactériennes, antioxydantes et photoprotectrices d'une plante médicinale de la famille des Urticaceae

Présenté par : **KHELIFI Nada**

Le : 24/06/2025

BOUAOUNE Roumaissa

Jury d'évaluation :

Présidente : **Dr. OUELBANI Rayene** (MCB – Université Constantine 1 Frères Mentouri).
Encadrante : **Dr. AZZOUZI Salima** (MCA- Université Constantine 3 Salah Boubnider).
Examinateur : **Dr. LAFEHAL Mostafa** (MCA- Université Constantine 3 Salah Boubnider).

Année universitaire
2024 - 2025

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions Allah le tout puissant, de nous avoir guidé jusqu'à l'achèvement de ce mémoire, et de nous avoir donné la force, le courage et la patience.

*Nous remercions notre encadrante **Dr.AZZOUI Salima** pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique, sa disponibilité, ses précieux conseils, la confiance qu'elle nous a accordé et pour son suivi régulier à l'élaboration de ce travail, nous vous souhaitons une bonne santé et plus de réussites.*

*Nous remercions, **Dr. OUELBANI Rayene** Maître de conférences classe B, pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.*

*Nous remercions également, **Dr. LEFAHAL Mostefa**, d'avoir accepté d'examiner notre travail. Nous tenons à adresser nos sincères remerciements et le plus grand respect à notre **Dr. LEFAHAL Mostefa** pour sa compréhension, sa disponibilité, de savoir- faire, ses conseils judicieux, et toute l'aide qu'il nous a rapporté.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement tout le personnel de l'unité de recherche : valorisation des ressources naturelles molécules bioactives et analyses physiquo-chimiques et biologiques et notamment : **Pr Medjroubi Kamal, Pr Akkal Salah, Dr Zaabat Nabila et Dr Boustela Ahlam, et Dr Makhloifi Elhani, Dr Ayad Radia et Dr Laaour souhila.***

Nous remercions, les personnels du laboratoire de microbiologie en particulier les ingénieurs de soutien à la recherche du Centre de Recherche et Biotechnologie (CRBT).

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos parents, frères et sœur ainsi qu'à toute personne qui a contribué, de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

2025

Dédicace

Aux personnes les plus chères au monde : Mon père Mohamed Cherif et Ma mère Souad, qui sont La lueur de mes yeux. Pour votre amour, votre affection Votre soutien constant, durant toutes mes années d'études. C'est grâce à eux que je suis arrivée à cette étape de ma vie. Je prie Dieu de vous accorder santé, succès et bonheur.

À mes chères sœurs : zahia et Ines. Je vous remercie pour tout l'encouragement, le respect, la tendresse et la gentillesse que vous m'avez constamment manifesté. Que Dieu vous accorde santé, succès et bonheur.

Ma copine de cœur : Mounia. Dès le premier jour, j'ai su que notre relation était quelque chose de spécial fondée sur la compréhension mutuelle et le respect. Je te suis reconnaissant de me soutenir à chaque étape que je franchis. Tu étais un don précieux, une sœur, une amie, une guide. Je te remercie sincèrement pour ta contribution précieuse à la réussite de ce travail. Je suis incroyablement chanceuse d'avoir partagé ce parcours avec toi. Je chéris notre amitié plus que les mots, et je sais que nous resterons amies pour toujours.

À ma meilleure amie, ma copine : Ikram, qui était toujours disponible à l'écoute, qui a partagé avec moi les peines, de très précieux d'avoir quelqu'un de si attentif et compréhensif. Merci de me prêter ton épaule Pour ta fidèle amitié et les bons moments passés ensemble tout au long de mes études et en dehors. Je suis chanceuse de t'avoir à mes côtés.

À mes amies : Selsabil, Rayane, Rihem, Imen, Nouha, haithem. Je vous remercie d'avoir été présent à mes côtés durant les périodes difficiles. Merci pour l'ambiance que nous avons vécue ensemble dans les moments de bonheur, de tristesse et de stress. Je suis incroyablement chanceuse de vous avoir à mes côtés. Votre présence a rendu les succès.

À mon cher binôme, Ma douce amie : Roumaissa. Merci pour l'ambiance que nous avons vécue ensemble dans les moments de bonheur, de tristesse et de stress. Merci pour ta gentillesse et ta générosité sans faille, merci pour ton soutien indéfectible et pour tout ce que tu as fait pour contribuer à la réussite de ce travail. Ton aide précieuse et ton amitié sincère ont été des moteurs essentiels tout au long de cette aventure qui nous a unies et tous les souvenirs que nous avons passés ensemble. Je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toute personne, qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Je remercie toutes les personnes que je n'ai pas pu citer leurs noms ici, et qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Nada



2025

Dédicace

*Mes remerciements vont tout d'abord au bon **DIEU** pour la volonté et la patience qu'il m'a donné durant ces longues années d'étude afin que je puisse arriver à ce stade.*

Je dédie humblement ce travail :

*À l'âme de mon cher grand-père **Bouaoune Saleh**, parti trop tôt, mais dont la sagesse, la tendresse et l'amour demeurent gravés dans mon cœur. Tu as été pour moi un modèle, un refuge et un pilier inébranlable. Ton souvenir est toujours gravé, et ton amour continue de me porter à chaque pas.*

*À la lumière de mes yeux, mon premier amour, mon père bien-aimé **Abd El Ghani**, pour ses sacrifices, ses conseils et ses encouragements constants. Que Dieu te garde précieusement, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, L'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi .je t'aime papa.*

*À l'ombre de mes pas et à la joie de ma vie, ma mère adorée **Sennah Gouda Samah**,a qui sa prière a été le secret de mon succès merci d'être toujours là pour moi.*

*À mes chères sœurs **Chaima** et **Israâ**, ainsi qu'à mon unique frère **Omar Nour Eddine**, qui ont toujours cru en moi et en mes capacités et dont le soutien m'a portée dans les moments les plus cruciaux.*

*À ma meilleur amie **Chouarfa Yassmine**, pour les instants partagés, les sourires échangés et le courage qu'elle m'a transmis sans le savoir.*

*À mes amis **Ines,Asma,Amira,Imene,Boutheina et Ferdouss** ceux avec qui j'ai vécu et partagé les meilleurs moments de ma vie quotidienne et universitaire merci d'être à ma coté dans mes pires et bons moments.*

*À mon binôme **Nada** pour son rôle important dans la réussite de ce travail.*

*À mes enseignants, et en particulier à ma directrice de mémoire **Azzouzi Salima**, pour son accompagnement bienveillant et ses conseils tout au long de ce travail.*

Et à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail. À vous, toute ma gratitude.

Romi



Table des matières

Chapitre I : Aperçu bibliographique

Introduction	1
I. Etude de la plante	4
I.1. Famille des Urticacées	4
I.1.1. Généralités	4
I.1.2. Répartition géographique	4
I.1.3. Caractères généraux des Urticacées	5
I.1.4. Classification	6
I.1.5. Intérêt pharmacologique et nutritionnel	7
I.2. Présentation du genre <i>Parietaria</i>	7
I.2.1. Description botanique du genre <i>Parietaria</i>	7
I.2.2. Répartition géographique	8
I.2.2.1. Dans le monde	8
I.2.3. Les espèces du genre	9
I.2.4. Classification	9
I.2.5. Intérêt thérapeutique et utilisation en médecine traditionnelle	10
II. Métabolites secondaires et activités biologiques	11
II.1. Généralité	11
II.2. Fonction	11
II.3. Polyphénols	11
II.4. Biosynthèse des polyphénols	12
II.5. Classification des polyphénols	12
II.5.1. Acides phénoliques	13
II.5.2. Flavonoïdes	14
II.5.2.1. Classification des flavonoïdes	15
II.5.3. Tannins	15
II.6. Activité antibactérienne	16
II.7. Activité antioxydante	17
II.7.1. Source d'antioxydant	17
II.8. Méthode de détermination de l'activité antioxydante	19
II.9. Test du 2,2-di-phénol-1-picryl-hydrozyl (DPPH)	19

II.10. Test de la capacité totale antioxydante (TAC).....	19
II.11. Test d'activité réductrice par formation de Fe^{2+} phénanthroline.....	20
III. Structure de la peau et photoprotection	21
III.1.1. Epiderme.....	21
III.1.2. Derme	22
III.1.3. Hypoderme	22
III.2. Fonctions de la peau.....	23
III.3. Phototypes de la peau humaine.....	23
III.4. Rayonnement solaire	25
III.4.1. Rayonnement solaire UV.....	25
III.5. Effets bénéfiques du rayonnement.....	26
III.6. Effets néfastes du rayonnement	26
III.7. Produits de protection solaire (PPS)	27
III.8. Filtres UV	27
III.8.1. Filtres UV chimiques (organiques)	27
III.8.1.1 Filtres de source naturelle	28
III.8.2. Filtres UV physiques (minéraux).....	29
III.8.3. Avantages et inconvénients des filtres UV	29
III.9. Mesure et efficacité des produits de protection solaire (PPS).....	30
III.9.1. Méthode <i>in vivo</i> de détermination du FPS et FP-UVA	30
III.9.2. Méthode <i>in vitro</i> de détermination du FPS et FP-UVA	32
III.9.3. Détermination de l'efficacité des produits solaires (FPS)	32
III.9.3.1. Efficacité des produits de protection solaire (PPS)	32

Chapitre II : Matériel et méthodes

I. Préparation du matériel végétal	50
I.1. Extraction de la plante	50
I.2. Screening phytochimique.....	50
I.3. Dosage des polyphénols et flavonoïdes	52
I.3.1. Dosage des polyphénols.....	52
I.3.2. Dosage des flavonoïdes.....	53
I.4.2. Evaluation de l'activité antioxydante	55
I.4.2.1. Activité antiradicalaire du DPPH.....	55

I.4.2.2. Capacité antioxydante totale (TAC) par le test phosphomolybdène	56
I.4.2.3. Test de phénanthroline	57
I.4.3. Evaluation de la capacité photoprotectrice	58
I.4.3.1. Profil d'absorption des rayons UV	58
I.4.3.2. Détermination du facteur de protection solaire (FPS) <i>in vitro</i>	58
I.4.3.3. Evaluation de la protection contre les rayonnements UVA	59
I.4.3.4. Evaluation de la photostabilité	60
I.4.3.5. Evaluation de la thermostabilité	60

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Analyses chimiques	65
I.1. Screening phytochimique.....	65
I.2. Teneur en polyphénols et flavonoïdes	66
I.2.1. Teneur en polyphénols totaux TPC	66
I.2.2. Teneur en flavonoïdes totaux TFC	67
II. Analyses biologiques	68
II.1. Evaluation de l'activité antibactérienne	68
II.2. Activité antioxydante	71
II.2.1. Piégeage du radical 2-diphényl-picrylhydrazyl (DPPH)	71
II.2.2. Capacité antioxydante totale (TAC)	71
II.2.3. Activité de réduction par la formation du complexe Fe^{+2} -phénanthroline-	72
II.3. Evaluation de la capacité photoprotectrice	73
II.3.1. Profil d'absorption des rayons UV.....	73
II.3.2. Détermination du facteur de protection solaire (FPS) <i>in vitro</i>	74
II.3.3. Evaluation de la protection contre les rayonnements UVA	75
II.3.4. Evaluation de la photostabilité	76
La photostabilité d'un produit désigne sa résistance à la dégradation sous l'effet de la lumière, notamment les rayons UV.	76
II.3.5. Evaluation de la thermostabilité	77
Conclusion	81

Listes des figures

Figure 1: Carte de répartition géographique mondiale de la famille des Urticacées	5
Figure 2: Caractère botanique des Urticacées.....	6
Figure 3: Description botanique du genre <i>Parietaria</i>	8
Figure 4: Répartition géographique de Pariétaire	9
Figure 5: La structure chimique de quelques acides phénoliques.....	14
Figure 6: Structure de base des flavonoïdes.	14
Figure 7: Classification des flavonoïdes.....	15
Figure 8: Structure chimique des tannins (a) hydrolysables (b) condensés	16
Figure 9: Classification des antioxydants	18
Figure 10: Structure de la peau	21
Figure 11: Rayonnement solaire et pénétration des ultraviolets dans la peau	26
Figure 12: Exemples de quelques filtres UV organiques utilisés dans les crèmes solaires.....	28
Figure 13: Mode d'action des filtres organiques (A) et inorganique (B)	29
Figure 14: Méthode in vivo de détermination des FPS	31
Figure 15: Méthode in vitro de détermination des FPS.....	32
Figure 16: Protocole d'étude expérimentale.....	49
Figure 17: Procédure d'extraction du genre <i>Parietaria</i>	50
Figure 18: Mécanisme du test Folin-Ciocalteu	52
Figure 19: Mécanisme du test DPPH.	56
Figure 20: Mécanisme du test phosphomolybdène.	57
Figure 21: Mécanisme du test phénanthroline.	58
Figure 22: Courbe d'étalonnage des polyphénols.	67
Figure 23: Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.....	67

Figure 24: Teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux.	68
Figure 25: Histogramme représente les zones d'inhibition (par mm) des souches bactériennes testées par l'extrait méthanolique et la gentamicine.	69
Figure 26: Photos des boites de pétries montrant les zones d'inhibition des bactéries.	70
Figure 27: Courbe d'étalonnage de l'acide Ascorbique (test DPPH).....	71
Figure 28: Courbe d'étalonnage de l'acide Ascorbique.	72
Figure 29: Courbe d'étalonnage de l'acide Ascorbique (test Phénanthroline).	72
Figure 30: Profil d'absorption UV de l'extrait méthanolique.	74
Figure 31: Facteur de protection solaire FPS de l'extrait méthanolique.....	75
Figure 32: Profil d'absorption UV de l'extrait méthanolique avant et après irradiation.	76
Figure 33: Profil d'absorption UV de l'extrait méthanolique à 25°C et 50°C.....	77

Listes des tableaux

Tableau 1: Description botanique des différentes parties des Urticacées	5
Tableau 2: Classification des Urticaceae.....	7
Tableau 3: classification du Parietaria	9
Tableau 4: Principales classes des composés phénoliques	12
Tableau 5: Différents phototypes de la peau humaine selon Fitzpatrick.	24
Tableau 6: Les effets néfastes du rayonnement	26
Tableau 7: Les avantages et les inconvénients des filtres UV.....	30
Tableau 8: Classification des PPS selon la commission européenne.....	33
Tableau 9: Relation entre FPS et la protection contre les UVB	33
Tableau 10: Résultats de screening phytochimique de l'extrait méthanolique.	65
Tableau 11: Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux des parties aériennes de Parietaria.	67
Tableau 12: activité antibactérienne de l'extrait méthanolique et la gentamicine.	69
Tableau 13: Résultats de l'activité antioxydante de l'extrait méthanolique et BHT.	73
Tableau 14: Résultats de l'activité photoprotectrice.	75
Tableau 15: Résultats de photostabilité de l'extrait méthanolique.	76
Tableau 16: Résultats du test de thermostabilité de l'extrait méthanolique.	77

Listes Des Abreviations

A(λ): Absorbance monochromatique.

Abs (λ): Absorbance de l'échantillon.

ADN: Acide désoxyribonucléique.

AlCl₃: Chlorure d'aluminium.

ARN: Acide ribonucléique.

ASC : Aire sous la courbe.

BHA: Butylhydroxyanisole.

BHT: Butylhydroxytoluène.

CF: Facteur de correction.

Cm : Centimètre.

CP : Coefficient de protection.

DPPH: 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle.

E.coli: *Escherichia coli*.

EE (λ): Spectre de l'effet érythémateux.

ERO: Espèces réactives de l'oxygène.

Fe²⁺ : Ion fer (II) ou ferreux.

Fe³⁺ : Ion ferrique ou ion fer (III).

FeCl₃: chlorure de fer(III).

FPS : Facteur de protection solaire.

FP-UVA: Facteur de protection UVA.

FRAP: Ferric reducing antioxidant power.

G :gramme.

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

IP: Pourcentage d'inhibition.

IPD: Pigmentation immédiate sombre.

IPS: Indice de protection solaire.

IR: Infrarouge.

J/cm² : jours par cm².

m²: Mètre carré.

MeOH: Méthanol.

mg EAA/g : Milligramme Equivalent Acide Ascorbique par gramme.

mg EQ/g : Milligramme Equivalent Quercétine par gramme.

mg/mL : Milligramme par millilitre.

Mg₃H₂(SiO₃)₄: Silicate de magnésium ou talc.

mL : Millilitre.

mm: Millimètre.

MoO₄²⁻: Ions molybdate.

MoO₄²⁺: Molybdéne.

Na₂CO₃: Carbonate de sodium.

NCCLS: National Committee of Clinical Laboratory Standards.

nm: Nanomètre.

ORAC: Capacité d'absorption des radicaux oxygénés.

pH : Potentiel hydrogène.

PPD: Pigmentation persistante sombre.

PPS: Produits de protection solaire.

Réactif F-C: Réactif folin ciocalteu.

S.aureus: Staphylococcus aureus.

SOD: Superoxyde dismutase.

TAC: Capacité antioxydante totale.

TFC: Teneur en flavonoides totaux.

TiO₂: Dioxyde de titane.

TPC: Teneur en polyphénols totaux.

UFC/mL : Unité formant colonie" (UFC) par millilitre (ml).

US-FDA: Food and Drug Administration.

UV/VIS : Ultraviolet visible.

UV: Rayons ultraviolets.

UVA: Rayon ultraviolet A.

UVB: Rayon ultraviolet B.

UVC: Rayon ultraviolet C

ZnO: Oxyde de zinc.

λ : Longueur d'onde.

λ_c : La longueur d'onde critique.

$\mu\text{g EAG/mg}$: Microgramme Equivalent Acide Gallique par milligramme.

$\mu\text{g QE /mg}$: Microgramme Quercétine par milligramme.

$\mu\text{g/mL}$: Micrigramme par millilitre.

μL : Microlitre.



Introduction



Introduction

Depuis l'époque antique, les plantes médicinales ont été employées pour apaiser et soigner les affections humaines. Effectivement, l'emploi de traitements à base de plantes, tels que prescrits par les pharmacopées traditionnelles pour soigner les affections humaines, est une pratique ancestrale (Newman & Cragg, 2007).

Actuellement, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime qu'environ 81 % de la population mondiale utilise des remèdes traditionnels à base de plantes comme principale forme de soins de santé. Ces médicaments à base de plantes restent largement répandus et jouent un rôle important dans le commerce international (Abedini, 2013), assurer la sécurité, la qualité et l'efficacité des plantes médicinales ainsi que des médicaments dérivés des plantes est récemment devenu un enjeu majeur, tant dans les pays industrialisés que dans les pays en développement (Jamshidi-Kia et al., 2018).

Ces plantes acquièrent leurs propriétés curatives, telles que l'action antimicrobienne et antioxydante, et sont dédiées au traitement de diverses affections chez l'homme et les animaux (Bourgou et al., 2016). Ces propriétés sont attribuées aux plantes médicinales en raison de la présence de leurs métabolites primaires et secondaires, ainsi que, très probablement, de la synergie entre les divers composés qu'elles renferment (Reguieg, 2011). C'est pour cette raison qu'elle devient une ressource primordiale en termes de matières premières utilisées dans les secteurs pharmaceutique, cosmétique, aromatique et de la parfumerie (Detry, 2017).

L'Algérie, pays connu par ces ressources naturelles, dispose d'une flore singulièrement riche et variée. On compte plus de 3000 espèces appartenant à plusieurs familles botaniques dont 15% endémiques (Quézel & Santa, 1962), reste très peu explorée sur le plan phytochimique comme sur le plan pharmacologique. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi d'étudier une plante médicinale issue de la flore algérienne.

L'objectif de notre travail est consacré à l'étude phytochimique et à l'évaluation des activités antibactérienne, antioxydante et photoprotectrice de l'extrait méthanolique d'une plante médicinale appartenant à la famille des Urticaceae, plus spécifiquement au genre *Parietaria*.

Ce manuscrit est structuré en trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à un aperçu bibliographique qui a pour objet de donner des informations générales sur la famille des Urticaceae, sur la plante étudiée (*Parietaria*), sur les métabolites secondaires et les activités biologiques ainsi que sur la structure de la peau et la photoprotection.

- ✓ Dans le deuxième chapitre on a abordé la partie matériel et méthodes dont laquelle on a identifié le matériel et les différentes équipements utilisés, détaillé les différentes procédures. Notamment, la méthode d'extraction, le dosage colorimétrique (des polyphénols et des flavonoïdes), ainsi que l'activité antibactérienne, les activités anti-oxydantes (DPPH, TAC, test phénanthroline) et l'évaluation de la capacité photoprotectrice.
- ✓ Le troisième chapitre inclut l'interprétation et la discussion des résultats obtenus.

Le manuscrit se termine par une conclusion globale.

Références

- Abedini, A. (2013). Phytochemical and biological evaluation of natural compounds of *Hyptis atrorubens* Poit. (Lamiaceae), selected by an antimicrobial screening of 42 plants [Thèse de doctorat, Université de Droit et de la Santé – Lille II]. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/281534054>
- Bourgou, S., Beji, R. S., Medini, F., Ksouri, R., Farhat, I., Chaabane, H., Bouagga, A., Khemiri, R., Hammami, M., Labidi, A., Cherif, M., & Nasraoui, B. (2016). Effet du solvant et de la méthode d'extraction sur la teneur en composés phénoliques et les potentialités antioxydantes d'*Euphorbia helioscopia*. *Journal of New Sciences*, 28. <https://www.jnsciences.org/agri-biotech/36-volume-28/159-effet-du-solvant-et-de-la-methode-d-extraction-sur-la-teneur-en-composes-phenoliques-et-les-potentialites-antioxydantes-d-euphorbia-helioscopia.html>
- Detry P., (2017). Etude biochimique des fractions lipidiques de graines de la famille des Apiaceae obtenues par différentes méthodes d'extraction. Master en bioingénieur: chimie et bioindustries, LIEGE Uinversité de Gembloux Agro-Bio Tech. p.1.
- Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants : Past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.15171/jhp.2018.01>
- Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2007). Natural Products as Sources of New Drugs over the Last 25 Years. *Journal of Natural Products*, 70(3), 461-477. <https://doi.org/10.1021/np068054v>
- Quezel, P. and Santa, S., 1963. *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome II, C.N.R.S. Paris.
- Reguieg, L. (2011). Using medicinal plants in Algeria. *American Journal of Food and Nutrition*, 1(3), 126-127. <https://doi.org/10.5251/ajfn.2011.1.3.126.127>



Chapitre I
Aperçu bibliographique



I. Etude de la plante

I.1. Famille des Urticacées

I.1.1. Généralités

Le groupe des Urticacées englobe environ 50 genres et près de 1000 espèces disséminées à l'échelle mondiale. On différencie les Urticacées en deux catégories : celles qui possèdent des poils urticants (genre *Urtica*) et celles qui n'en ont pas (genres *Parietaria* et *Boehmeria*). Les Urticacées désignent des plantes herbacées élancées présentant deux feuilles opposées portant stipules, dont l'épiderme est recouvert de poils (protecteurs, sécréteurs ou urticants).

Il y a une reproduction végétative, autrement dit asexuée. Les fleurs mâles se composent de quatre sépales et quatre étamines, tandis que les fleurs femelles, qui sont formées de quatre sépales et d'un seul carpelle, produisent un fruit sec connu sous le nom d'akène.

On dit que les plantes de cette famille sont nitrophiles, c'est-à-dire qu'elles prospèrent sur des terrains riches en azote, et rudérales, ce qui signifie qu'elles poussent sur des sols « sales » où résident les humains (Draghi, 2005).

I.1.2. Répartition géographique

Les Urticacées se retrouvent dans la majorité des zones tropicales, mais leur présence est plutôt faible en Australie. Certains genres, comme *Urtica*, proviennent de régions tempérées et montagneuses, atteignant parfois jusqu'à 2400 mètres d'altitude.

Elle est présente en Europe, particulièrement en France, ainsi qu'en Afrique du Nord, en Afrique du Sud, et en Asie. On peut également la trouver en Amérique du Nord et du Sud. Elle a la capacité de croître sur tous les types de sols, qu'ils soient argileux ou sableux, calcaires ou siliceux. Il est cependant nécessaire que ces sols soient riches en azote (favorisant les plantes qui aiment l'azote) et humides (plantes hydrophiles). Elle supporte cependant assez bien la sécheresse. C'est pour cette raison qu'on peut l'observer dans les jardins, sur les terrains laissés à l'abandon, le long des chemins, dans les haies et les fossés. À proximité des habitations, parmi les débris et les décombres (Schauenberg & Paris, 2005; Fleurentin, 2008).



Figure 1: Carte de répartition géographique mondiale de la famille des Urticacées
<https://www.mobot.org/mobot/research/APweb/>.

I.1.3. Caractères généraux des Urticacées

Les caractéristiques principales des Urticacées sont décrites dans le tableau suivant :

Tableau 1: Description botanique des différentes parties des Urticacées (Garnier et al., 1961; Lazare, 2010; Spichiger et al., 2002).

Les parties de la plantes	Description
L'appareil végétatif	<ul style="list-style-type: none"> La famille des Urticacées regroupe des plantes qui présentent des feuilles disposées de manière alternée ou opposée, généralement simples et dépourvues de lobes, et qui peuvent posséder des limbes ayant la forme d'une pennée ou d'une palme. La présence des poils recouverts, susceptibles de renfermer des cystolithes allongés ou d'engendrer des irritations. La famille se caractérise par la présence de laticifères, qui produisent un latex blanc ou réduit.
L'appareil de reproduction	Inflorescence
	<ul style="list-style-type: none"> Les glomérules, qui représentent des cymes densément groupées en formes de panicules, d'épis ou de capitules.
	Les fleurs
	<ul style="list-style-type: none"> Elles sont habituellement de taille réduite, uniformes, unisexuées, haplochlamydes, actino ou zygomorphes, isostémone et hypogynes.

- Les périanthes, qui comprennent entre 3 et 6 sépales, peuvent être libres ou fusionnés et sont parfois absents dans les fleurs féminines.
- La pollinisation s'effectue grâce à l'action du vent.
 - **les fleurs mâles :** L'anthère des fleurs mâles contient 4 à 5 étamines disposées en face des sépales, dont les filaments indépendants s'enroulent au sein du bouton floral et libèrent soudainement le pollen durant l'anthèse, manifestant une déhiscence longitudinale.
 - **les fleurs femelles :** elles sont formées de deux carpelles, l'un étant notablement diminué, ce qui produit un placenta basal pseudo-monocarpique, uniloculaire et monograine, avec des stigmates décurrents et un ovule orthotrope unique.

Le fruit

- C'est un akène, parfois une drupe, qui est habituellement contenu dans un périanthe persistant.
- La graine avec embryon droit contient parfois un albumen oléagineux qui peut être absent.



Figure 2:Caractère botanique des Urticacées
<https://www.sauvagesdupoitou.com/rech/Urticaceae>.

I.1.4. Classification

La position systématique de la famille Urticaceae est la suivante :

Tableau 2:Classification des Urticaceae (Ghedira et al., 2009).

Règne	Plantae (plantes)
Sous-règne	Tracheobionta (plantes vasculaires)
Embranchement	Magnoliophyta(phanérogames)
Sous-embranchement	Magnoliophytina (angiospermes)
Classe	Magnoliopsida (dicotyledones)
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Urticales
Famille	Urticaceae

I.1.5. Intérêt pharmacologique et nutritionnel

Les feuilles de la famille Urticaceae regorgent de protéines, lipides, glucides, vitamines, minéraux et oligo-éléments (Ait Haj Said et al., 2016). Par ailleurs, les feuilles renferment aussi des traces de cobalt, nickel, molybdène et sélénium (Mihaljev et al., 2014). Et elle contient de nombreuses vitamines indispensables (Wetherilt, 1992). Ces nutriments donnent à la plante des caractéristiques pharmacologiques notables.

Les oligo-éléments et les vitamines contribuent à fortifier le système immunitaire, aidant ainsi le corps à mieux combattre les infections d'origine bactérienne et virale. Ces feuilles renferment une quantité significative de chlorophylle (Rafajlovska et al., 2001). Plusieurs recherches ont prouvé que les extraits possédaient des vertus antibactériennes contre diverses souches bactériennes.

I.2. Présentation du genre *Parietaria*

Ce groupe englobe ce qu'on nomme les *Pariétaires* (cassepierre, épinard des murailles, perce-muraille), des plantes que l'on observe fréquemment sur les parois rocheuses et les vieilles murailles (leur appellation provient du latin herba *Parietaria*, qui est un dérivé de paries « mur ») (Croze, 2018).

Des fleurs polygames, rassemblées en glomérules axillaires ou en cime, sont entourées d'un involucre à plusieurs feuilles. Ces fleurs sont hermaphrodites : Périgone régulier et persistant, présentant 4 divisions concaves.

Les étamines, au nombre de quatre, se situent en face des lobes du périgone. Anthères infléchies en préfloration, se redressant ou se rejetant par l'effet du mouvement élastique des files au moment de la déhiscence. Ovaire surmonté d'un style court, terminé par un stigmate en pinceau, inclus (Plee, 1864).



Figure 3: Description botanique du genre *Parietaria*
<https://www.parcomontisimbruini.it/pagina.php?id=149>

I.2.2. Répartition géographique

I.2.2.1. Dans le monde

Le genre *Parietaria* est semi-cosmopolite et comprend environ vingt taxons, dont trois sont présents sur le sol français: la *Pariétaire officinale* (*Parietaria officinalis L.*), un hémicryptophyte d'origine centre-est européenne mais aussi sud-ouest asiatique que l'on observe dans le pays à travers les friches, ourlets et forêts fraîches des sols eutrophes ; ainsi que la *Pariétaire de Judée* (*Parietaria judaica L.*), un hémicryptophyte euro-méditerranéen qui peut être trouvé partout en France (Croze, 2018). On retrouve fréquemment cette plante en Europe, en Asie occidentale et centrale, et aussi en Afrique du Nord. Toutefois, on la trouve rarement ou pas du tout dans les régions plus froides du nord et sur les sommets ayant une altitude supérieure à 1 000 mètres.

On retrouve souvent *P. judaica* dans les milieux urbains (Stroh et al., 2023), et il se caractérise par sa présence sur les parois rocheuses, les murs anciens ainsi que dans les friches eutrophiles. On note aussi la présence de la *Pariétaire du Portugal* (*Parietaria lusitanica L. subsp. *Lusitanica* I*), une plante annuelle méditerranéenne qui se rencontre essentiellement au sud de la France et en Corse. Elle croît principalement dans les crevasses des rochers et parmi les bordures de thérophytes des balmes et des pentes d'éboulis (Croze, 2018).



Figure 4: Répartition géographique de *Pariétaire*
https://www.picturethisai.com/fr/wiki/Parietaria_judaica.html.

I.2.3. Les espèces du genre

Les espèces du genre *Parietaria* en Algérie sont (Quézel & Santa, 1962):

- ✓ *Parietaria judicia L.*
- ✓ *Parietaria officinalis L.*
- ✓ *Parietaria mauritanica Dur.*
- ✓ *Parietaria alsinifolia Del.*
- ✓ *Parietaria lusitanica L.*

I.2.4. Classification

Le système de classification APG III de (2009) a réalisé la classification suivante :

Tableau 3: classification du *Parietaria*

<https://www.aquaportal.com/especies/taxonomie/genre/1471/parietaria>.

Domaine	Eucaryota
Règne	Plantae
Phylum	Magnoliophyta
Sous-phylum	Streptophytina
Super-classe	Tracheophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Hamamelidae
Ordre	Urticales
Famille	Urticaceae
Genre	<i>Parietaria</i> (Linnaeus, 1753)

I.2.5. Intérêt thérapeutique et utilisation en médecine traditionnelle

Plusieurs espèces du genre *Parietaria* sont utilisées en médecine traditionnelle pour guérir un certain nombre de maladie, on peut citer comme exemple :

- ✓ *Parietaria judaica* L. est utilisée dans la médecine traditionnelle pour traiter les calculs rénaux et vésicaux, ainsi que pour éliminer les plaques dentaires. Elle est également utilisée depuis plus de mille ans comme diurétique et sédatif, ainsi que pour traiter la toux chronique, les plaies enflammées et les brûlures (Qadi et al., 2020).
- ✓ *Parietaria diffusa* M. et K. est utilisée pour traiter le zona et l'herpès labial. Pour ce faire, on applique la plante fraîchement écrasée sous forme de cataplasme, qu'il faut changer toutes les 5 à 6 heures (Uncini Manganelli et al., 2005).
- ✓ *Parietaria lusitanica* L. est une plante médicinale utilisée depuis longtemps de manière empirique pour soigner les plaies et la furonculose (Hariri, 2016).

Par ailleurs, il a été montré que :

- ✓ Les extraits méthanolique, acétone et hexane de l'espèce *Parietaria judaica* L. présentaient une activité antibactérienne significative. De plus, les deux extraits d'acétone et d'hexane présentent une puissante activité cytotoxique et antifongique (Qadi et al., 2020).
- ✓ L'extrait méthanolique de l'espèce *Parietaria officinalis* L. présentent une activité antibactérienne significative contre un certain nombre de bactéries Gram(+) et Gram(-) (Mahdavi Fikjvar et al., 2024).

II. Métabolites secondaires et activités biologiques

II.1. Généralité

On appelle « métabolite secondaire » toute substance trouvée dans un organisme qui n'est pas directement impliquée dans les processus fondamentaux de la cellule vivante. Historiquement, ce concept est associé à Kossel (1891) qui l'a proposé en contraste avec celui des métabolites primaires, ces derniers étant directement engagés dans les principales voies du métabolisme cellulaire de base (Ibrahim & Abdel-Azeem, 2025). Dans le règne végétal, ces composés secondaires englobent des dizaines de milliers de molécules distinctes, souvent classées en superfamilles chimiques telles que les polyphénols, les terpènes et stérols, les alcaloïdes, et bien d'autres encore. Généralement, ces métabolites secondaires se distinguent par leur présence en faible concentration dans les tissus des plantes (Bourgaud, 2013).

Les vacuoles sont principalement le lieu de stockage des métabolites secondaires, qui sont synthétisés à divers endroits dans la cellule. On les trouve fréquemment concentrés dans une section de la plante et entreposés dans une autre. De plus, leur concentration dans la plante fluctue en fonction de l'organe, du stade de croissance et des conditions environnementales (Raven et al., 2000).

II.2. Fonction

Les métabolismes secondaires jouent un rôle essentiel dans l'interaction de la plante avec son environnement, et leurs fonctions sont multiples et diversifiées. Ils peuvent être utilisés comme moyen de protection (en produisant des sécrétions amères ou venimeuses pour les prédateurs) ou à l'inverse, attirer certaines espèces qui ont un effet positif (comme les polliniseurs). Ils peuvent aussi faciliter la communication entre les plantes, par le biais de messages d'alerte, par exemple (Wink, 2010).

II.3. Polyphénols

Les composés phénoliques, qui se caractérisent par la présence d'un noyau benzoïque auquel un ou plusieurs groupes hydroxyles sont directement attachés, sont les éléments phytochimiques les plus significatifs des plantes. Ces composés sont dérivés du métabolisme secondaire des plantes et possèdent plusieurs caractéristiques. Les acides phénoliques, les phénols simples et les flavonoïdes sont les composés phénoliques prédominants (Labbani, 2021-2022).

Compte tenu de leur structure, ces molécules ont une efficacité antioxydante qui leur permet de réduire la production de radicaux libres. Par ailleurs, les polyphénols ont la capacité d'interagir directement avec différentes enzymes, leur conférant ainsi des attributs anti-inflammatoires, antimicrobiens, antiviraux, anti-âge et anticancéreux. Ils possèdent également des effets neuroprotecteurs (Singla et al., 2019).

II.4. Biosynthèse des polyphénols

La production des composés phénoliques se fait par deux trajectoires distinctes : le parcours de l'acide shikimique et le parcours acétate-malonate. Chaque voie mène à la création de composés distincts.

❖ Voie shikimate (l'acide shikimique)

C'est la voie biosynthétique la plus significative et la plus répandue. Elle assure la production d'acides aminés aromatiques, d'acides cinnamiques (provenant de la phénylalanine, tyrosine), ainsi que la formation de phénols C6-C1 et de benzoquinones (Bruneton, 2016).

❖ Voie de l'acide malonique

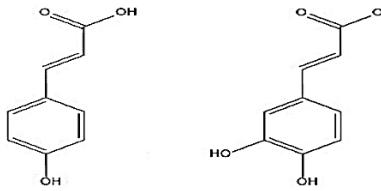
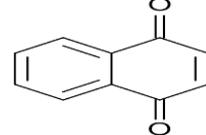
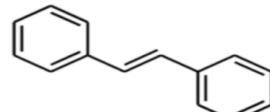
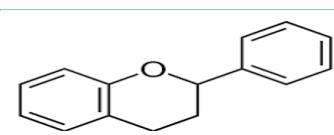
Où la glycolyse et la β -oxydation conduisent à la production de l'acétyl CoA qui génère le malonate. La cyclisation des chaînes polycétoniques se réalise par le biais de cette méthode, elle s'opère à travers la condensation successive d'unités d'acétate qui se génère par la carboxylation de l'acétyl-CoA (Chira et al., 2008).

II.5. Classification des polyphénols

La classification des polyphénols se base principalement sur leur structure, le nombre de noyaux aromatiques et les éléments qui les unissent. On peut identifier les groupes principaux comme suit (Watson, 2014).

Tableau 4: Principales classes des composés phénoliques (Rezaire, 2012).

Squelette carboné	Classe	Structures de base
C6	Phénols simples	
C6-C1	Acides hydroxybenzoïques	

C6-C3	Acides hydroxycinnamique	
C6-C4	Naphtoquinones	
C6-C2-C6	Stilbènes	
C6-C3-C6	Flavonoïdes	
(C6-C3)2	Lignanes	
(C6-C3) n	Lignines	
C6-C3-C6) n	Tannins condensés	

Selon cette classification, les principaux composés phénoliques sont les acides phénoliques, flavonoïdes et les tannins.

II.5.1. Acides phénoliques

Les acides phénoliques, ou acides phénols sont des dérivés hydroxylés soit de l'acide benzoïque (C6-C1) formant alors la classe des acides hydroxybenzoïque, soit de l'acide cinnamique (C6-C3) formant alors la classe des acides hydroxycinnamique. Ils sont très répandus dans le règne végétal.

Parmi les acides hydroxybenzoïques les plus répandus : l'acide salicylique, l'acide protacatéchique, l'acide gallique et l'acide vanillique

Pour les acides hydroxycinnamique, les plus courants sont l'acide caféïque, l'acide chlorogénique et l'acide paracoumarique (Élie, 2022).

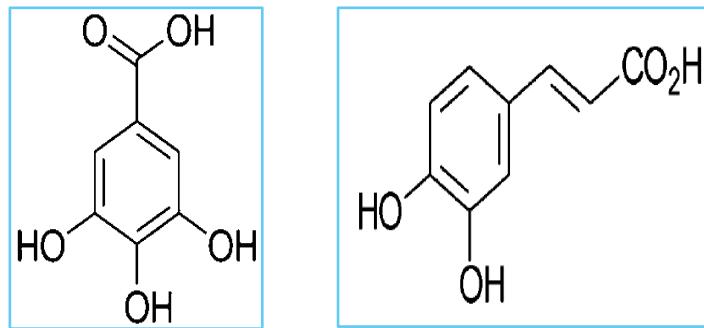
**Acide gallique****Acide caféïque**

Figure 5: La structure chimique de quelques acides phénoliques.

II.5.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes figurent parmi les composés phénoliques les plus captivants (Abou Baker, 2022). On retrouve ces composés dans les fruits, les légumes, les céréales, l'écorce, les racines, les tiges, les fleurs (Panche et al., 2016). Ils sont des pigments qui engendrent les teintes jaunes, oranges et rouges de divers organes de la plante (Ghedira, 2005).

On considère dorénavant les flavonoïdes comme un élément essentiel dans une variété d'applications nutraceutiques, pharmaceutiques, médicales et cosmétiques (Panche et al., 2016).

Ces métabolites secondaires des plantes jouent un rôle crucial dans une multitude de processus biologiques ainsi que dans les réactions des plantes face aux éléments environnementaux (Shen et al., 2022).

Les flavonoïdes sont constitués d'un même élément structurale de base formé par deux cycles benzéniques (cycles A et B), reliés par une chaîne linéaire à trois carbones qui forment un hétérocycle oxygéné (cycle C) (Emeraux, 2019).

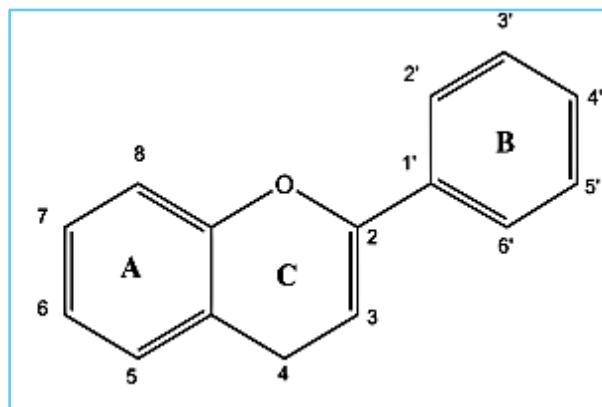


Figure 6: Structure de base des flavonoïdes.

II.5.2.1. Classification des flavonoïdes

La classification des flavonoïdes se base sur la position de rattachement du cycle B au cycle C, ainsi que sur le niveau d'insaturation et d'oxydation du cycle C. (Havsteen, 2002; Prasain et al., 2010; Middleton, 1998).

Selon cette classification, les flavonoïdes sont classés en six groupes : flavonol, flavanone, isoflavone, flavone, flavan-3-ols et anthocyanine (Figure 7) (Hossain et al., 2014; Dayem et al., 2015).

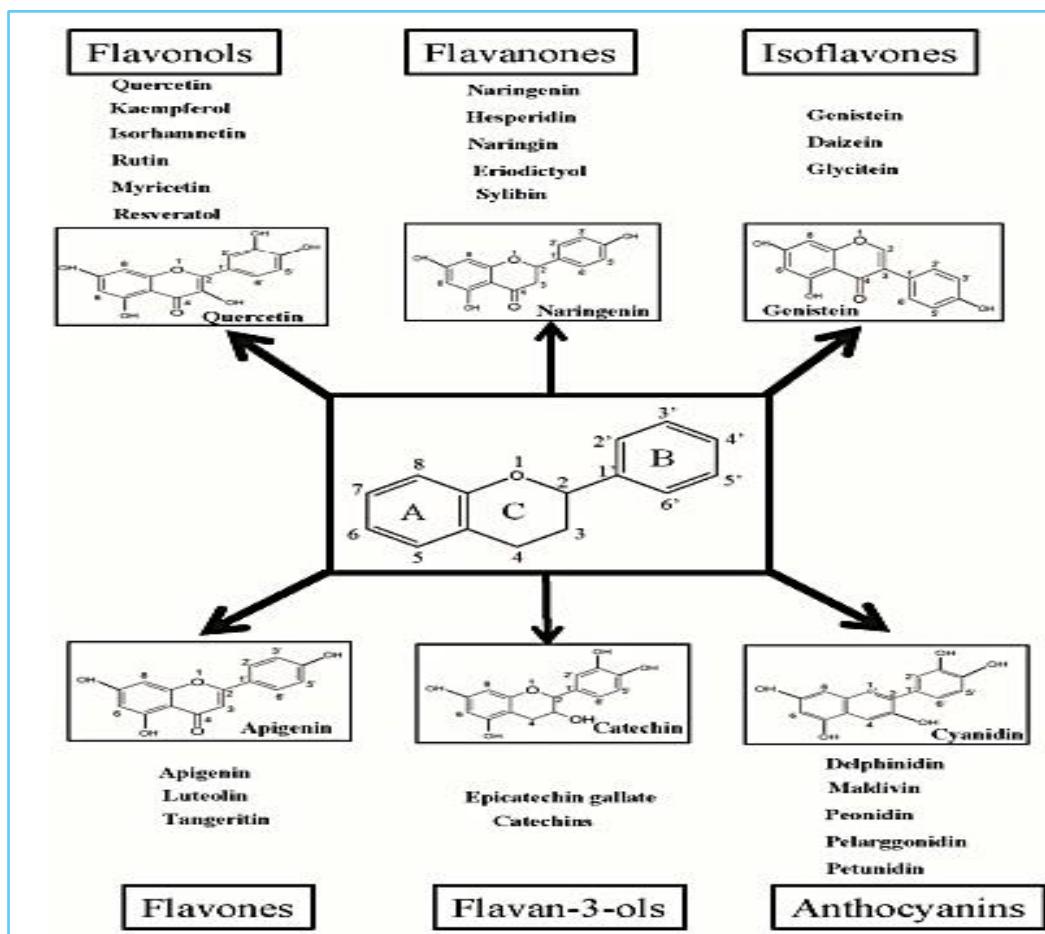


Figure 7: Classification des flavonoïdes (Kawser Hossain et al., 2016).

II.5.3. Tannins

Les tannins sont des molécules de grande masse moléculaire, variant entre 500 et 3000, qui représentent le troisième groupe majeur parmi les composés phénoliques. Par conséquent, les tannins sont des composés de l'acide tannique, possédant une structure qui comprend un glucose central et dix groupes galloyl. Ce sont des polyphénols solubles dans l'eau, que l'on

retrouve dans les écorces de certains fruits (Gülçin et al., 2010). D'un point de vue structurel, les tannins se classifient en tannins hydrolysables et tannins condensés, également appelés pro anthocyanidines (Al-Zoreky, 2009).

Les tannins constituent une catégorie significative de métabolites secondaires végétaux qui étaient initialement employés dans le secteur de la fabrication du cuir pour le processus de tannage des peaux animales (Sieniawska & Baj, 2017).

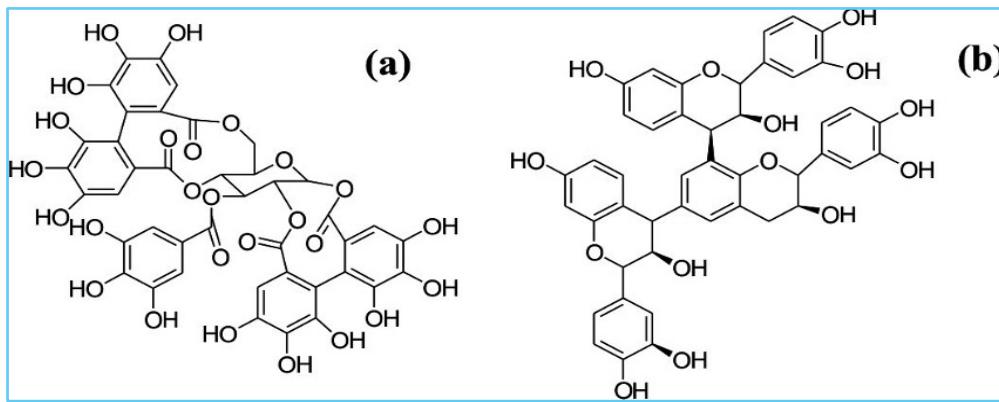


Figure 8:Structure chimique des tannins (a) hydrolysables (b) condensés
https://www.researchgate.net/figure/Structure-chimique-des-tanins-a-hydrolysables-b-condenses-97-Les-principales_fig20_336603986.

II.6. Activité antibactérienne

Les polyphénols sont doués d'activité antibactériennes importantes et diverses, probablement dû à leurs diversités structurales. Les sites et le nombre des groupes hydroxyles sur les groupes phénoliques sont supposés être reliés à leur relative toxicité envers les microorganismes, avec l'évidence que le taux d'hydroxylation est directement proportionnel à la toxicité (Cowan, 1999).

Lorsque l'on parle d'activité antibactérienne, on distingue deux sortes d'effets :

- ✓ Une activité létale (bactéricide), c'est la propriété de tuer les bactéries dans des conditions définies.
- ✓ Une inhibition de la croissance (bactériostatique), c'est l'inhibition momentanée de la multiplication d'une population (Hammer et al., 1999).

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'évaluation du pouvoir antibactérienne d'extraits de plantes, parmi elles la méthode de diffusion sur disque. Cette méthode est basée sur la propagation de l'échantillon sur un milieu solide dans une boîte de Pétri, générant un

gradient de concentration après une période déterminée de contact entre le produit et le microorganisme visé (Heni, 2016).

L'activité antibactérienne est évaluée en fonction du diamètre de la zone d'inhibition créée autour des disques suite à une incubation de 24 heures à la température appropriée (Bouhdid et al., 2006). Par conséquent, les souches bactériennes seront catégorisées comme sensibles, très sensibles, extrêmement sensibles ou résistantes (Heni, 2016).

II.7. Activité antioxydante

Les antioxydants sont des molécules qui contribuent à éviter la production excessive d'espèces réactives de l'oxygène et de l'azote (action préventive), ou à leur neutralisation avant qu'elles ne puissent endommager nos cellules. Ils luttent contre les radicaux libres présents dans notre corps (Deepshikha Gupta, 2015).

Ces molécules instables, qui sont inévitables, sont nécessaires en faible dosage pour combattre les microbes et les virus. Toutefois, un trop grand nombre de radicaux libres peut entraîner des impacts significatifs sur la santé, comme la détérioration des cellules, les infections et l'émergence de pathologies telles que le cancer. Les antioxydants peuvent contribuer à se défendre contre ces lésions en stoppant la multiplication des radicaux libres (Polaar, 2022).

II.7.1. Source d'antioxydant

Il existe différents attributs pour classer les antioxydants.

➤ Selon la fonction

Segmenté en antioxydants primaires et secondaires.

• Antioxydant primaire

Les antioxydants appartenant à cette catégorie sont majoritairement de structure phénolique et jouent un rôle de cassant de chaîne en interagissant avec les radicaux lipidiques pour les transformer en produits plus stables. Ce groupe inclut :

- ✓ Les antioxydants minéraux comme le cuivre, le zinc et le sélénium.
- ✓ Les antioxydants vitaminiques comme la vitamine C et la vitamine E.
- ✓ Les composés phytochimiques : les flavonoïdes, les catéchines, les caroténoïdes, le bêta-carotène, le lycopène, le diterpène.....

- **Antioxydant secondaire**

Ce sont des composés phénoliques dont le rôle est de piéger les radicaux libres et de stopper les réactions en chaîne. Ces substances incluent : le butylhydroxyanisole (BHA), le butylhydroxytoluène (BHT) et le gallate de propyle (Hurrell, 2003).

➤ **Selon la nature**

Divisé en antioxydant enzymatique et non enzymatique.

- **Antioxydants enzymatiques**

Les enzymes antioxydants sont le superoxyde dismutase (SOD), la catalase et le glutathion peroxydase (Mika et al., 2004).

- **Antioxydants non enzymatiques**

On distingue deux types :

- ✓ **Endogène** : Les systèmes antioxydants non-enzymatiques endogènes incluent de nombreux thiols dont le majoritaire est le glutathion (Pisoschi & Pop, 2015).
- ✓ **Exogène** : Les antioxydants exogènes comprennent, principalement, les vitamines C et E, les caroténoïdes et les composés phénoliques (Berger, 2005).

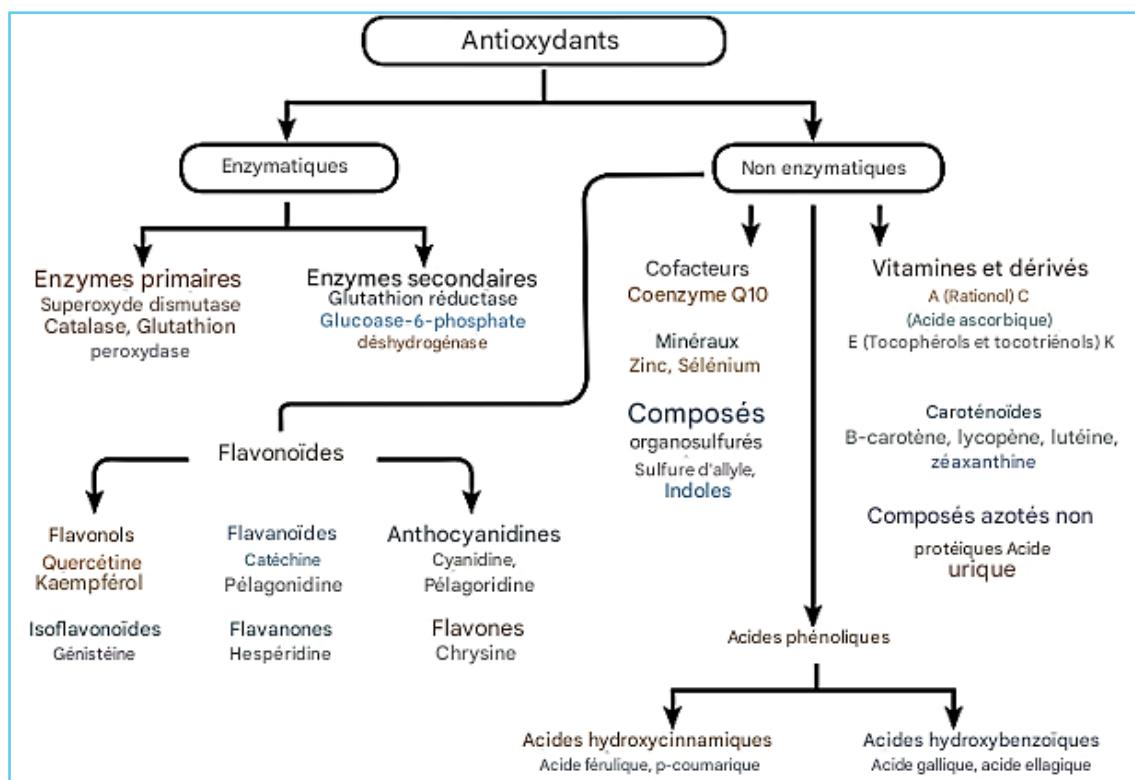


Figure 9: Classification des antioxydants (Carocho & Ferreira, 2013).

II.8. Méthode de détermination de l'activité antioxydante

On utilise diverses méthodes pour mesurer, en laboratoire et dans des situations réelles, l'activité antioxydante des aliments, d'extraits ou de composés spécifiques. Ces méthodes peuvent être regroupées en deux catégories : celles qui évaluent le transfert d'électrons ou d'hydrogène vers un radical coloré stable facilement identifiable (DPPH, FRAP), et celles mettant en jeu une compétition (Capacité d'Absorption des Radicaux Oxygénés ORAC, décoloration du β -carotène et de la crocine) entre l'antioxydant et une cible à protéger (pigments, lipides) (Halmi, 2015).

II.9. Test du 2,2di-phényl-1-picryl-hydrozyl (DPPH)

Le DPPH, ou « 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle », est un radical libre stable qui interagit avec d'autres radicaux libres, et il est le plus couramment utilisé pour évaluer l'activité antioxydante. Ce test, largement adopté en raison de sa simplicité et de sa reproductibilité, est caractérisé par une teinte violette lorsqu'il n'y a pas d'antioxydant présent (Guillouty, 2016; Jdidi, 2015).

Le test DPPH est un essai colorimétrique qui repose sur une évaluation spectrophotométrique de la capacité d'une substance antioxydante à transformer les radicaux DPPH \cdot (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), qui ont une couleur violette, en une solution jaunâtre (2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazine), à la suite de l'appariement de leurs électrons non appariés avec ceux de l'antioxydant. L'activité anti-radicalaire d'un extrait végétal ou d'un composé peut être évaluée en observant la décoloration par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 517 nm ; ainsi, une absorbance faible traduit une meilleure capacité antioxydante (Sanchez-Moreno, 2002; Bougatef et al., 2009; Christodoulou et al., 2022).

II.10. Test de la capacité totale antioxydante (TAC)

La capacité antioxydante totale (CAT) des extraits a été évaluée par la méthode développée par (Prieto et al., 1999).

Ce test est basé sur la réduction de molybdène Mo (VI) présent sous la forme d'ions molybdate MoO₄²⁻ à molybdène Mo (V) en présence d'un agent antioxydant. Cette réduction est réalisée par la formation d'un complexe verdâtre (phosphate/ Mo (V) à un pH acide). On mesure l'augmentation de la coloration du complexe molybdène (VI) en présence d'antioxydant, par la mesure de l'absorbance à une $\lambda = 695$ nm.

II.11. Test d'activité réductrice par formation de Fe²⁺phénanthroline

Cette méthode est basée sur la réduction de l'ion Fe³⁺ en Fe²⁺ par un antioxydant. L'ion Fe²⁺ formé réagit ensuite avec l'ortho-phénanthroline afin de créer un complexe de couleur rouge orangé. La méthode de la phénanthroline est plus précise et facile à mettre en œuvre, présentant une forte corrélation avec la technique FRAP (Yefrida et al., 2018).

L'intensité de cette teinte est en rapport direct avec la quantité de Fe²⁺ présente, qui est mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 510 nm (Mukhopadhyay et al., 2016).

III. Structure de la peau et photoprotection

La peau est l'un des organes les plus étendus du corps humain, juste après les muscles et le squelette. Elle occupe une superficie de 1,7 m² et pèse en moyenne 4 kg. Elle constitue approximativement 5,5% du poids du corps (Azzez et al., 2015).

La peau ne se limite pas à être une simple couverture pour notre corps. Elle joue un rôle dans la protection, la régulation thermique, la perception des stimuli sensoriels, les échanges et elle a également une fonction métabolique (Bessaguet et al., 2022).

III.1. Structure de la peau

La peau est formée de trois strates majeures (Figure 10), qui se superposent dans l'ordre suivant : l'épiderme pour la couche externe, le derme pour la couche intermédiaire et l'hypoderme pour la couche intérieure (Muller, 2018) .

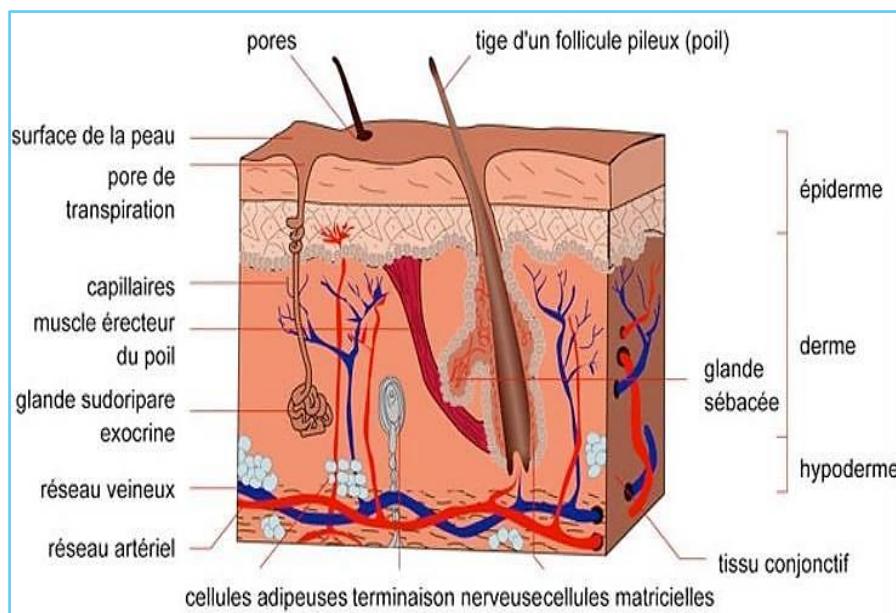


Figure 10:Structure de la peau

https://www.afrh.fr/la_maladie_de_verneuil_ou_h/structure_de_la_peau.html.

III.1.1. Epiderme

C'est une structure stratifiée constituée de cinq à six strates, qui s'étendent de l'intérieur vers l'extérieur : le stratum basal, le stratum spinosum, le stratum granulosum, le stratum lucidum et le stratum corneum. Le stratum basal, qui est la couche la plus interne, inclut des cellules souches de kératinocytes liées à des mélanocytes, des cellules de Langerhans et des cellules de Merkel. Ces cellules jouent un rôle crucial dans la perception sensorielle et sont dispersées de façon éparses sur l'ensemble du corps, bien qu'elles soient plus abondantes au

niveau des bouts des doigts. Les hémidesmosomes fixent les cellules souches des kératinocytes à la membrane basale dermo-épidermique. Grâce à leur multiplication et différenciation, elles constituent un élément essentiel de l'épiderme.

Dans le stratum spinosum, les kératinocytes s'agencent en deux à six couches de cellules et génèrent des corps lamellaires riches en lipides. Dans le stratum granulosum, les kératinocytes poursuivent leur différenciation. Le stratum corneum, la couche la plus superficielle, est constitué de cornéocytes qui peuvent être perçus comme des briques solidement jointes par des desmosomes et entourées de lipides intercellulaires. Sur la peau robuste des paumes et des plantes de pieds, un cinquième stratum, le stratum lucidum, agit en tant que stratification intermédiaire entre le stratum granulosum et le stratum corneum (Cracowski & Roustit, 2020).

III.1.2. Derme

C'est le support conjonctif de la peau, qui se divise en deux sections : l'une supérieure, appelée « derme papillaire », et l'autre plus profonde, connue sous le nom de « derme réticulaire » (Laverdet, Girard, & Desmoulières, 2018).

Ces sections renferment des fibres de collagène, plus denses dans le derme réticulaire que dans le papillaire. Elles contiennent aussi les fibres élastiques qui sont plus fines que le collagène. Ils demeurent parallèles dans le derme réticulaire, cependant ils s'arrangent de manière verticale dans le derme papillaire (André, 2021).

- ✓ Le derme papillaire : constitué d'une matrice extracellulaire lâche de collagène, principalement de type I, il présente une densité cellulaire importante en raison des fibroblastes qui produisent et remodèlent la matrice extracellulaire ainsi que des cellules immunitaires qui défendent l'organisme.
- ✓ Le derme réticulaire : constitué de collagène de type I, sous forme de fibres plus épaisses. Il est plus compact et aussi moins riche en cellules (Laverdet, Girard, & Desmoulières, 2018).

III.1.3. Hypoderme

L'hypoderme représente la couche cutanée la plus profonde. Il s'agit du tissu adipeux composé de cellules graisseuses, disposées en lobules, dont l'épaisseur fluctue entre 4 et 9 mm. Cette épaisseur varie en fonction de la région corporelle, du genre, de l'âge et du style de vie (pierre, 2000).

Ce tissu sert de protection contre les impacts physiques et constitue une réserve pour le stockage des lipides, fournissant ainsi l'énergie nécessaire au corps selon ses exigences (Driskell et al., 2014).

L'hypoderme joue aussi un rôle crucial comme isolant thermique, contribuant à la régulation de la température corporelle à 37°C.

Cette couche répond aux agressions bactériennes en établissant une barrière physique et en assurant une désinfection antimicrobienne, et son élargissement stimule la prolifération des follicules pileux et la régénération de la peau (Alexander et al., 2015).

III.2. Fonctions de la peau

La peau joue un rôle crucial de défense en constituant une barrière essentielle contre des agents physiques (comme les éléments mécaniques, thermiques, les rayons UV, etc.), chimiques (par exemple, les tensioactifs, les solvants, les allergènes, etc.) ou biologiques (tels que les agents infectieux). Elle contribue également à combattre la déshydratation en réduisant l'évasion de l'eau hors du corps (Simon & Reynier, 2016).

On peut distribuer quatre fonctions essentielles pour la peau :

- ✓ Fonction de protection : la peau sert de bouclier contre les microbes, les substances toxiques, les rayons UV ainsi que l'abrasion et l'ulcération (Falanga, 2020).
- ✓ Fonction immunitaire : La peau abrite un ensemble de cellules de Langerhans, qui font office de gardiennes pour déclencher des réactions immunitaires face aux dangers microbiens (Lai-Cheong & McGrath, 2017).
- ✓ Barrière à l'évaporation : La peau offre une protection physique contre les éléments extérieurs et aide à limiter la déperdition d'eau par le biais de la couche cornée qui est imperméable à l'eau (Lai-Cheong & McGrath, 2017).
- ✓ Fonction sensorielle : Les fibres nerveuses non myélinisées qui entourent les follicules pileux et se trouvent dans le derme papillaire sont responsables de la détection de la douleur, de la température et des démangeaisons (Gilaberte et al., 2016).

III.3. Phototypes de la peau humaine

Le phototype de la peau est un système de classification qui repose sur la manière dont la peau réagit à l'exposition solaire. La méthode de classification de Fitzpatrick est la technique la plus répandue pour le phototypage de la peau, elle se fonde sur la prédisposition d'un individu à développer des coups de soleil et son aptitude à bronzer (Gupta & Sharma, 2019).

Tableau 5: Différents phototypes de la peau humaine selon Fitzpatrick (Fitzpatrick, 1988).

Phototype	Caractéristiques	Réaction au soleil
PHOTOTYPE I 	<ul style="list-style-type: none"> Peau très claire. Présence de taches de rousseur. Cheveux blonds ou roux. Yeux bleus/vert. 	<ul style="list-style-type: none"> Ne bronde pas, reçoit toujours des coups de soleil.
PHOTOTYPE II 	<ul style="list-style-type: none"> Peau très claire. Cheveux blonds ou châtain. Des taches de rousseur peuvent se former sous le soleil. Yeux verts/marron. 	<ul style="list-style-type: none"> Bronze difficilement Souvent sujet aux coups de soleil.
PHOTOTYPE III 	<ul style="list-style-type: none"> Peau claire. Cheveux blonds ou châtain. Yeux marrons. 	<ul style="list-style-type: none"> Bronzage progressif. Attrape parfois des coups de soleil.
PHOTOTYPE IV 	<ul style="list-style-type: none"> Peau mate. Cheveux châtain ou bruns. Yeux marron/noirs. 	<ul style="list-style-type: none"> Bronze bien. Attrape peu de coups de soleil.
PHOTOTYPE V 	<ul style="list-style-type: none"> Peau très mate. Cheveux noirs. Yeux noirs. 	<ul style="list-style-type: none"> Bronze facilement. Rarement sujet aux coups de soleil.
PHOTOTYPES VI 	<ul style="list-style-type: none"> Peau noire. Cheveux noirs. Yeux noirs. 	<ul style="list-style-type: none"> Les coups de soleil sont quasi inexistant.

III.4. Rayonnement solaire

Le soleil diffuse un rayonnement polychromatique constant, qui va des rayons cosmiques aux ondes radioélectriques ; cette émission est atténuée par l'atmosphère, particulièrement la couche d'ozone qui bloque les radiations les plus dangereuses. Ainsi, le spectre terrestre n'inclut que les rayons ultraviolets (UV) B et A, la lumière visible et une portion de l'infrarouge (IR) (Beani, 2022b).

III.4.1. Rayonnement solaire UV

L'indice UV est une méthode claire et facile à comprendre pour indiquer l'intensité de l'exposition au soleil (Beani, 2022b).

Les radiations UV sont une forme de rayonnement électromagnétique non ionisant, composée de photons dont la longueur d'onde varie entre 100 et 400 nm. Effectivement, trois types de rayonnements UV sont classifiés en fonction de leur longueur d'onde (Kurzawa et al., 2022a).

Les UVA (320-400 nm), qui comprennent les UVAII (320-340 nm) ou UVA courts et les UVAl (340-400 nm) ou UVA longs. Ces rayonnement constituent 95 % des rayons UV, ont la capacité de pénétrer les couches plus profondes de la peau (Egambaran et al., 2020).

Ces radiations modifient les caractéristiques de la peau ainsi que la composition des acides nucléiques et des protéines telles que l'élastine ou le collagène (Gromkowska-Kępka et al., 2021).

Les UVB (290 et 320 nm), qui constituent seulement 5 % du spectre global des rayons UV (Egambaran et al., 2020). Ce type de rayonnement impacte l'épiderme de la peau, susceptible d'entraîner un érythème pouvant évoluer en coup de soleil. De plus, il contribue à une réaction associée à la synthèse de la vitamine D dans la peau (Kurzawa et al., 2022a).

Les UVC (100-290 nm) représentent les rayons UV les plus nocifs pour la peau, en raison de leurs longueurs d'onde particulièrement courtes. Cependant, ce sont les couches stratosphériques d'ozone qui stoppent intégralement leur progression (World Health Organization, n.d.).

À l'instar des autres longueurs d'onde du rayonnement solaire, la pénétration cutanée des rayons UV s'intensifie avec l'allongement de la longueur d'onde (UVA > UVB > UVC), alors que l'énergie décroît avec la longueur d'onde (UVA < UVB < UVC). Les rayons UVC sont les plus nocifs parmi les UV, mais ils sont stoppés par la couche d'ozone. Cependant, d'autres rayons UV peuvent la traverser et atteindre la peau. L'épiderme absorbe principalement

les rayons UVB. Les rayons UVA, possédant des longueurs d'onde plus étendues, peuvent pénétrer en profondeur, atteignant leur effet maximal au niveau du derme (Roelandts, 2007).

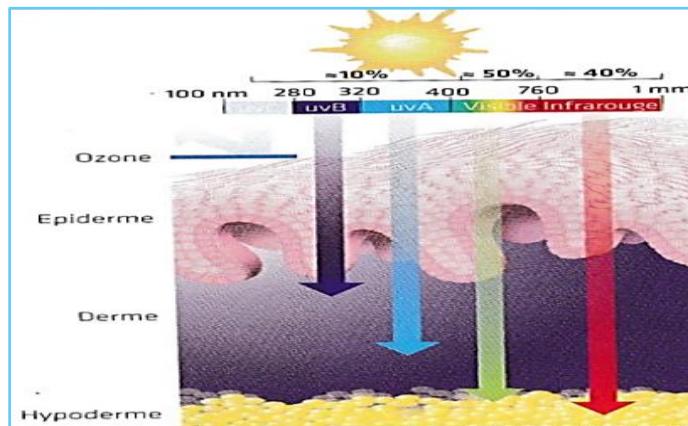


Figure 11: Rayonnement solaire et pénétration des ultraviolets dans la peau (Del Bino, 2021).

III.5. Effets bénéfiques du rayonnement

Le seul effet bénéfique des UV, en particulier des UVB, est la stimulation de la production de vitamine D.

- ✓ Le processus de synthèse de la vitamine D commence dans la peau en requérant de faibles quantités d'ultraviolets B (UVB) (Beani, 2022b).

Le soleil a des effets biologiques qui sont en partie bénéfiques, associant la synthèse de la vitamine D à une action anti-infectieuse contre les germes pathogènes et à des effets thérapeutiques dans certaines maladies (Bédane & Roelandts, 2007).

III.6. Effets néfastes du rayonnement

Les effets néfastes des rayons UV sont représentés dans le tableau 6.

Tableau 6: Les effets néfastes du rayonnement (Chader & Hocine, 2020).

Les effets	Caractère généraux
Effets initiaux	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dans la majorité des situations, les effets initiaux sont déclenchés par les rayons UVB qui, d'une part, entraînent la détérioration cellulaire par perméabilisation de la membrane lysosomale et libération d'enzymes protéolytiques dégradant les composants cellulaires, et d'autre part, inhibent temporairement la synthèse de l'ADN et de l'ARN.

Effets différés	<ul style="list-style-type: none"> ➤ L'érythème actinique ➤ Bronzage ou pigmentation différée. ➤ L'immunosuppression photo-induite
Effets qui se manifestent à long terme à la suite d'une exposition répétée au soleil	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le vieillissement de la peau induit par la lumière, également appelé héliodermie. ➤ Carcinogénèse.
Les affections cutanées dues à l'exposition au soleil	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Les dermatoses aggravées par la lumière. ➤ Les photodermatoses dues à une insuffisance du mécanisme de protection. ➤ Les photodermatoses dues à une anomalie métabolique.

III.7. Produits de protection solaire (PPS)

Les produits de protection solaire (PPS) sont caractérisés comme toute formulation destinée à entrer en contact avec la peau humaine dans le but principal ou exclusif de la préserver du rayonnement ultraviolet, par le biais de l'absorption et/ou de la réflexion de ce dernier (Maiolo, 2013).

Un PPS comprend des excipients et des substances actives qui résistent à l'infiltration des photons dans la peau, pouvant être des filtres ou des écrans (Meunier, 2008).

Un PPS doit satisfaire aux critères de persistance, de substance et de photo stabilité (Beani, 2022a).

III.8. Filtres UV

Les filtres sont des composés chimiques synthétiques qui capturent l'énergie de la lumière en fonction de leur spectre d'absorption (L. Meunier, 2009).

Sur le marché, deux sortes de filtres sont disponibles : le filtre chimique et le filtre minéral (les écrans minéraux), dont l'efficience est comparable. Ils se distinguent par leur mode d'action et leur composition (Baker et al., 2017).

III.8.1. Filtres UV chimiques (organiques)

Les ingrédients actifs que sont les filtres organiques ont la capacité d'absorber les radiations UV. Les électrons de la molécule sont stimulés par les radiations UV, passant ainsi d'un état de base à un état excité. Pendant la transition vers un état stable, de l'énergie est libérée

sous forme d'une petite quantité de chaleur ou de radiations fluorescentes. Pour être performant, le filtre doit avoir une stabilité photochimique, se dissoudre ou se disperser facilement dans le support et il doit demeurer à la surface de la peau lorsqu'il est en contact avec l'eau. Pour finir, les filtres ne doivent pas être toxiques, ni provoquer d'irritation ou d'allergie par contact (Maier & Korting, 2005).

Généralement, ce sont des molécules comme les benzophénones ou les aminobenzoates qui captent les UVA et/ou les UVB de manière comparable à la mélanine (Klimová et al., 2013)

Les filtres chimiques contiennent des composants qui s'absorbent par la peau et convertissent les rayons UV en chaleur. Ils sont plus fréquemment utilisés car ils offrent une finition transparente et semblent invisibles (Dermalogica, s.d.).

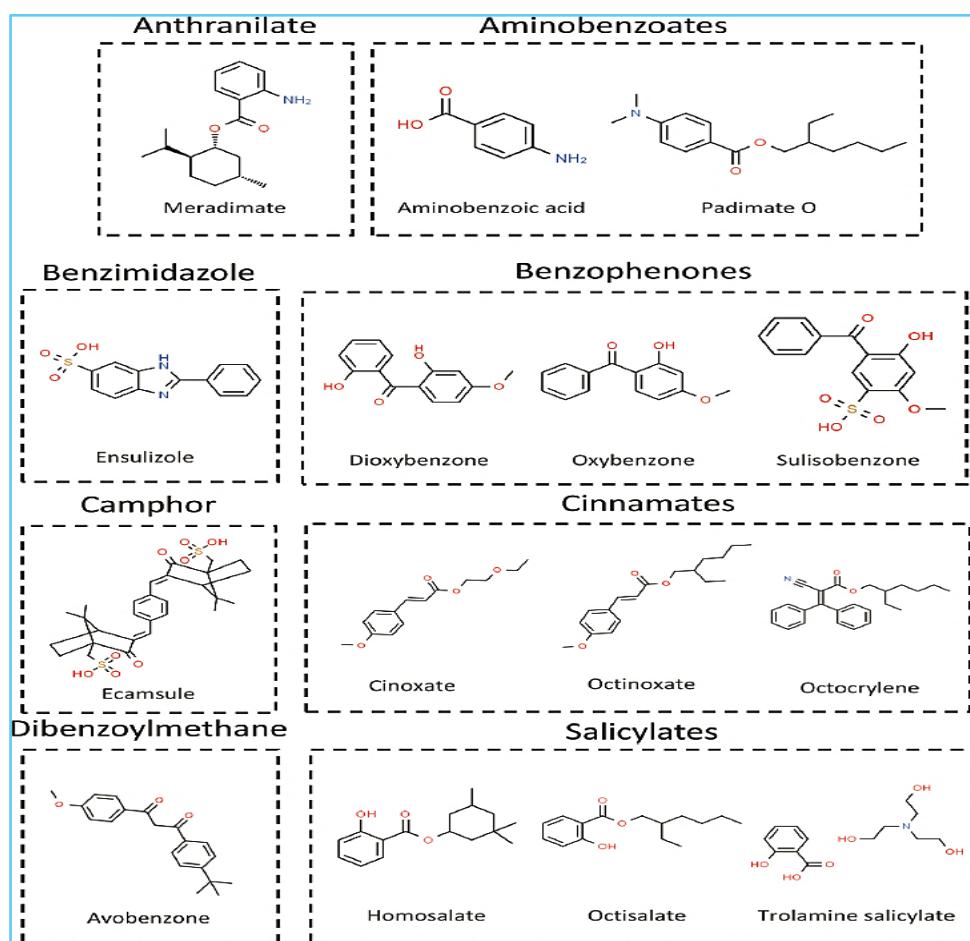


Figure 12: Exemples de quelques filtres UV organiques utilisés dans les crèmes solaires.

III.8.1.1 Filtres de source naturelle

Les filtres naturels, inclus dans la catégorie des filtres chimiques, sont indispensables pour diminuer la concentration de ces derniers et limiter leurs impacts nuisibles. Un grand nombre d'études ont démontré que des composants naturels comme les algues (Pangestuti et

al., 2018) et les extraits de plantes (Cefali et al., 2016) sont couramment incorporés dans les PPS en tant que filtres UV.

Il est également important de mentionner que l'emploi d'huiles dérivées de plantes est très courant, cependant ces huiles ne sont que de modestes protectrices contre les rayons UV, capturant entre 23 et 39 % des UVB. On peut citer : l'huile de coco, l'huile d'olive, l'huile d'arachide, l'huile de coton et l'huile de sésame (Eskenazi, 2017).

III.8.2. Filtres UV physiques (minéraux)

Également connu sous le nom de filtre physique ou inorganique, il présente une action distincte. Ceci est constitué d'un mélange de nanoparticules minérales inertes et opaques qui diffractent la lumière et renvoient les UV, agissant comme une barrière physique. Les filtres minéraux sont efficaces dès leur mise en œuvre et présentent moins de risques d'allergie. Les principaux composants identifiés incluent l'oxyde de zinc (ZnO), le dioxyde de titane (TiO_2), le silicate de magnésium ou talc ($Mg_3H_2(SiO_3)_4$), le silicate d'aluminium (kaolin) et l'oxyde de mica (silicate d'aluminium et potassium). Ces pigments blancs jouent le rôle de miroirs : ils renvoient et dispersent les UVA et UVB. Actuellement, le complexe mica-titane est largement utilisé grâce à sa transparence et à son pouvoir réflecteur, qui lui permet également de bloquer les rayons infrarouges (Burnett & Wang, 2011).

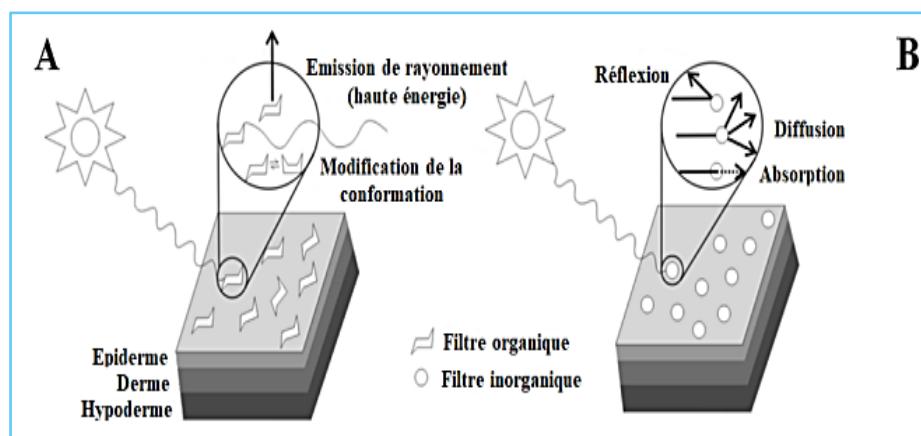


Figure 13:Mode d'action des filtres organiques (A) et inorganique (B) (Manaia et al., 2013).

III.8.3. Avantages et inconvénients des filtres UV

Bien que les filtres UV soient performants et offrent une protection adéquate contre les rayons solaires, ils présentent certains inconvénients. Le tableau ci-dessous présente une liste de quelques avantages ainsi que des inconvénients des filtres physiques et chimiques.

Tableau 7:Les avantages et les inconvénients des filtres UV (Chader & Hocine, 2020).

Avantages	Inconvénients
<p>Filtre chimique</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aide à défendre contre les rayons UVA et UVB. ✓ Il faut un délai d'absorption de 15 à 30 minutes pour que le produit soit efficace avant l'exposition de la peau au soleil. ✓ Adapté à tous les types de peaux. ✓ A tendance à être plus résistant à l'eau et à la sueur. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Action sur le biomatériau : l'interaction des UV avec les chromophores. ✓ Dommages aux macromolécules induits par les espèces réactives de l'oxygène (ERO) : <ul style="list-style-type: none"> - Modification des protéines. - Modification de l'ADN. - Altération des polysaccharides. - Modifications des lipides (Peroxydation lipidique).
<p>Filtre physique</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Contribue à la protection contre les rayons UVA et UVB. ✓ Protection immédiate, pas nécessaire d'attendre avant de s'exposer au soleil. ✓ Adapté à tous les types de peaux, y compris les plus sensibles et en post-peeling. 	

III.9. Mesure et efficacité des produits de protection solaire (PPS)

Deux approches ont été proposer pour évaluer les coefficients de protection (CP) des PPS : des tests *in vivo* réalisés sur des sujets sains, et des analyses *in vitro* utilisant divers substrats basés sur la spectrométrie (Beani, 2022a).

III.9.1. Méthode *in vivo* de détermination du FPS et FP-UVA

L'indice de protection solaire (IPS) ou facteur de protection solaire (FPS) quantifie l'efficacité des produits de protection solaire face aux effets immédiats des rayonnements UV. Ce chiffre représente le niveau de protection contre les UVB offert par le produit. On effectue cette mesure en laboratoire et on la définit grâce à des examens normalisés.

Cet indice indique le niveau de protection réel de la peau contre l'érythème solaire, tel que :

FPS = quantité pouvant induire un érythème sur la peau protégée / quantité pouvant induire un érythème sur la peau non protégée.

L'érythème solaire est une réaction inflammatoire de la peau causée principalement par les UVB et dans une moindre mesure par les UVA. L'érythème solaire est la première lésion aiguë observable causée par les rayons UV.

Ce facteur prend donc en considération principalement l'action des UVB.

Néanmoins, on ne doit pas sous-estimer l'effet des UVA qui peuvent être à l'origine d'un vieillissement prématué de la peau et contribuent à l'apparition de brûlures solaires et de maladies cutanées. Un facteur de protection contre les UVA (FP-UVA) doit être mis en évidence.

Ce facteur représente le ratio entre la quantité minimale d'UVA requise pour provoquer un effet de pigmentation durable sur une peau protégée par un écran solaire et la quantité minimale d'UVA nécessaire pour causer une légère pigmentation sur cette même peau non protégée. Ce label donne une indication sur la protection contre les rayons UVA, qui ont un impact significatif sur les effets des UV sur le derme, le vieillissement cutané dû au soleil et la photocarcinogénèse. Il complète également le FPS, qui s'est révélé insuffisant pour définir à lui seul une protection solaire à large spectre (Asselineau et al., 2003).

On le quantifie par la mesure de la réaction pigmentaire provoquée par les UVA, suite à la photo-oxydation des mélanines dans l'épiderme. On fait la distinction entre la technique IPD (Pigmentation Immédiate Sombre) et la technique PPD (Pigmentation Persistante Sombre).

- ✓ La technique IPD évalue la réaction pigmentaire sur-le-champ et jusqu'à 15 minutes à la suite d'une exposition à une dose d'UVA variant de 1 à 6 J/cm². Elle est facile et rapide à installer, mais les résultats manquent de reproductibilité.
- ✓ La technique PPD évalue la réaction pigmentaire deux heures après une exposition à l'UVA de 10 à 25 J/cm². Cette approche prend plus de temps, mais elle est également plus sûre

On applique la crème à une dose de 2 mg/cm² (Eskenazi, 2017).

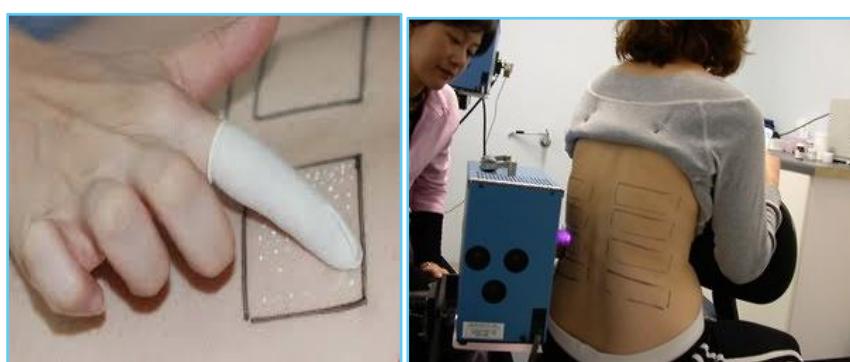


Figure 14: Méthode in vivo de détermination des FPS

<https://www.linkedin.com/pulse/how-much-sunscreen-testing-enough-john-staton>

<https://pupesosweet.com/how-visible-light-impacts-our-skin/>.

III.9.2. Méthode *in vitro* de détermination du FPS et FP-UVA

De ce fait, un important travail a été consacré à l'élaboration de méthodes *in vitro* pour mesurer la protection solaire offerte par les composés de protection solaire.

En général, il existe des méthodes *in vitro*: techniques qui consistent à mesurer l'absorption ou la transmission de la radiation UV à travers des couches de produits de protection solaire dans des plaques de quartz ou des biomembrane (Dutra et al., 2004).

La détermination du FP-UVA *in-vitro* est basée sur l'absorbance du produit solaire appliqué sur un substrat synthétique. Dans ce cadre, deux paramètres essentiels sont évalués : la longueur d'onde critique (λ_c) et le rapport UVA/UVB (Del Bino, 2021).



Figure 15: Méthode *in vitro* de détermination des FPS

[Https://www.chemicogroup.com/page/316/Instrument-UV.html](https://www.chemicogroup.com/page/316/Instrument-UV.html)

[http://www.takibun.jp/apparatus/SPF290S.html.](http://www.takibun.jp/apparatus/SPF290S.html)

III.9.3. Détermination de l'efficacité des produits solaires (FPS)

III.9.3.1. Efficacité des produits de protection solaire (PPS)

Les produits de protection solaires sont catégorisés en fonction de leur efficacité à filtrer les UV, un produit solaire doit absorber aussi bien les UVA que les UVB. La protection apportée par une crème solaire est ainsi habituellement définie par le FPS. Plus l'indice est élevé, plus la protection est efficace. Dans l'Union européenne, les indices de protection UV sont compris entre 6 et 50+ (Commission européenne, 2006). Cet indice possède une signification identique dans tous les pays et est déterminé selon la norme internationale ISO 24444 : 2010. C'est le ratio du temps nécessaire pour que les rayons UV provoquent un coup de soleil avec et sans protection solaire.

Toute fois un produit ne peut revendiquer le statut de PPS que s'il réunit l'ensemble des trois critères suivants :

- ✓ Un FPS d'au moins 6.
- ✓ Un FP-UVA (déterminé par la méthode PPD) dont la valeur est supérieure ou égale au tiers du FPS (ratio FPS/UVA-PF ≤ 3).
- ✓ Une longueur d'onde critique minimale de 370 nm.

Après avis de la commission européenne, les PPS sont classés selon leur FPS en quatre catégories (Tableau 8).

Tableau 8:Classification des PPS selon la commission européenne.

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

On observe une relation inverse entre la protection contre les UVB et le facteur de protection solaire (FPS) : % des UVB arrêtés = 1 - 1/FPS.

Tableau 9:Relation entre FPS et la protection contre les UVB (Manciet, s.d.).

FPS	Pourcentage des UVB bloqués
4	75%
8	87,5%
15	93%
30	96,5%
50	98%
60	98,3%

Références

- Abdallah, L., & Omar, G. (2019). Antibacterial effect of some wild medicinal plants in Palestine against multidrug resistant *Escherichia coli* clinical isolate. *Brazilian Journal of Biological Sciences*, 6(12), e370. <https://doi.org/10.21472/bjbs.061209>
- Abou Baker, D. H. (2022). An ethnopharmacological review on the therapeutical properties of flavonoids and their mechanisms of actions : A comprehensive review based on up to date knowledge. *Toxicology Reports*, 9, 445-469. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.03.011>
- Ait Haj Said, A., Sbai El Otmani, I., Derfoufi, S., & Benmoussa, A. (2016). Mise en valeur du potentiel nutritionnel et thérapeutique de l'ortie dioïque (*Urtica dioica L.*): *Hegel*, N° 3(3), 280-292. <https://doi.org/10.3917/heg.063.0280>
- Akkoyunlu, A., & Dulger, G. (2024). Comparative in vitro Study of Antimicrobial, Antibiofilm and Quorum Sensing Inhibitory Activities of *Hypericum calycinum L.* and *Parietaria officinalis L.* Extracts. *Sağlık Bilimlerinde Değer*, 14(3), 363-368. <https://doi.org/10.33631/sabd.1472603>
- Alexander, C. M., Kasza, I., Yen, C.-L. E., Reeder, S. B., Hernando, D., Gallo, R. L., Jahoda, C. A. B., Horsley, V., & MacDougald, O. A. (2015). Dermal white adipose tissue : A new component of the thermogenic response. *Journal of Lipid Research*, 56(11), 2061-2069. <https://doi.org/10.1194/jlr.R062893>
- Almeida, M. M. B., De Sousa, P. H. M., Arriaga, Â. M. C., Do Prado, G. M., Magalhães, C. E. D. C., Maia, G. A., & De Lemos, T. L. G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44(7), 2155-2159. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.051>
- Al-Zoreky, N. S. (2009). Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit peels. *International Journal of Food Microbiology*, 134(3), 244-248. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.07.002>
- André, P. (2021). *Atlas de dermatologie esthétique* (1re éd., Vol. 2, p. 7). Elsevier Masson.
- Asselineau, D., Bernerd, F., Fagot, D., & Pageon, H. (2003). Vieillissement naturel et photo-induit de la peau : Approches en cultures tri-dimensionnelles. *Journal de la Société de Biologie*, 197(1), 63-64. <https://doi.org/10.1051/jbio/2003197010063>

- Asselineau, D., Bernerd, F., Fagot, D., & Pageon, H. (2003). Vieillissement naturel et photo-induit de la peau : Approches en cultures tri-dimensionnelles. *Journal de la Société de Biologie*, 197(1), 63-64. <https://doi.org/10.1051/jbio/2003197010063>
- Ayad, R., Keskinkaya, H. B., Atalar, M. N., Lefahal, M., Zaabat, N., Makhloifi, E. H., Demirtas, I., Trifa, W., Akkal, S., & Medjroubi, K. (2023). Jurinea humilis DC. Polar Extract : HPLC Analysis, Photoprotective, Antioxidant Activities and Bioactive Content. *Chemistry Africa*, 6(2), 827-836. <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00525-y>
- Azzez, K., Bergheau, J. M., Dogui, A., Zahouani, H., Abellan, M. A., & al. (2015). Contribution à l'étude du vieillissement de la peau humaine in vivo par simulations numériques d'essais d'indentation. 12e Colloque national en calcul des structures (CSMA 2015), CSMA, Giens, France.
- Azzouzi, S., Lefahal, M., Louaar, S., Makhloifi, E.-H., Medjroubi, K., & Akkal, S. (2024). Centaurea dimorpha Viv. (Asteraceae) growing in Algeria extracts as a promising natural cosmetic active ingredient : Broad-spectrum photoprotection and antioxidant efficacy. *Journal of Agriculture and Applied Biology*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.11594/jaab.06.01.01>
- Baker, L. A., Marchetti, B., Karsili, T. N. V., Stavros, V. G., & Ashfold, M. N. R. (2017). Photoprotection : Extending lessons learned from studying natural sunscreens to the design of artificial sunscreen constituents. *Chemical Society Reviews*, 46(12), 3770-3791. <https://doi.org/10.1039/C7CS00102A>
- Beani, J.-C. (2022a). Produits de protection solaire. *Journal de Pédiatrie et de Puériculture*, 35(5), 213-233. <https://doi.org/10.1016/j.jpp.2022.07.002>
- Beani, J.-C. (2022b). Rayonnement solaire : Aspects fondamentaux. *Annales de Dermatologie et de Vénérérologie - FMC*, 2(3), 192-204. <https://doi.org/10.1016/j.fander.2022.01.002>
- Bédane, C., & Roelandts, R. (2007). Rayonnement ultraviolet : Effets biologiques. *Annales de Dermatologie et de Vénérérologie*, 134(5, Part 2), 9-11. [https://doi.org/10.1016/S0151-9638\(07\)89238-6](https://doi.org/10.1016/S0151-9638(07)89238-6)
- Berger, M. (2005). Can oxidative damage be treated nutritionally? *Clinical Nutrition*, 24(2), 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.10.003>

Bessaguet, F., Seuve, É., & Desmoulière, A. (2022). La peau. *Actualités Pharmaceutiques*, 61(615), 57-61. <https://doi.org/10.1016/j.actpha.2022.02.014>

Bibi Sadeer, N., Montesano, D., Albrizio, S., Zengin, G., & Mahomoodally, M. F. (2020). The Versatility of Antioxidant Assays in Food Science and Safety—Chemistry, Applications, Strengths, and Limitations. *Antioxidants*, 9(8), 709. <https://doi.org/10.3390/antiox9080709>

Bougatef, A., Hajji, M., Balti, R., Lassoued, I., Triki-Ellouz, Y., & Nasri, M. (2009). Antioxidant and free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food Chemistry*, 114(4), 1198-1205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.075>

Bouhdid, S., Idaomar, M., Zhiri, A., Baudoux, D., Skali, N. S., & Abrini, J. (2006). Thymus essential oils: Chemical composition and in vitro antioxidant and antibacterial activities. Congrès International de Biochimie, 324–327.

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>

Bourgaud, F. (2013). Les questions et travaux de recherche nécessaires au développement de la filière : Exemple de l'apport des sciences cognitives à la production/valorisation des métabolites secondaires d'intérêt. Unité Mixte de Recherche 1121, Université de Lorraine INRA, Nancy-Colmar. Fondateur de la société Plant Advanced Technologies, Nancy.

Bruneton, J. (2016). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (5e édition). Lavoisier Tec & Doc.

Burnett, M. E., & Wang, S. Q. (2011). Current sunscreen controversies : A critical review. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 27(2), 58-67. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0781.2011.00557.x>

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>
- Carocho, M., & Ferreira, I. C. F. R. (2013). A review on antioxidants, prooxidants and related controversy : Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 51, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.09.021>
- Cefali, L. C., Ataide, J. A., Moriel, P., Foglio, M. A., & Mazzola, P. G. (2016). Plant-based active photoprotectants for sunscreens. *International Journal of Cosmetic Science*, 38(4), 346-353. <https://doi.org/10.1111/ics.12316>
- Celiktas, O. Y., Kocabas, E. E. H., Bedir, E., Sukan, F. V., Ozek, T., & Baser, K. H. C. (2007). Antimicrobial activities of methanol extracts and essential oils of *Rosmarinus officinalis*, depending on location and seasonal variations. *Food Chemistry*, 100(2), 553-559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.011>
- Chader, H., & Hocine, G. (2020). Impact de l'irradiation solaire sur la santé. *Batna Journal of Medical Sciences*, 7(2), 151-158.
- Chira, K., Suh, J.-H., Saucier, C., & Teissèdre, P.-L. (2008). Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie*, 6(2), 75-82. <https://doi.org/10.1007/s10298-008-0293-3>
- Christodoulou, M. C., Orellana Palacios, J. C., Hesami, G., Jafarzadeh, S., Lorenzo, J. M., Domínguez, R., Moreno, A., & Hadidi, M. (2022). Spectrophotometric Methods for Measurement of Antioxidant Activity in Food and Pharmaceuticals. *Antioxidants*, 11(11), 2213. <https://doi.org/10.3390/antiox11112213>
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564-582. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.4.564>
- Cracowski, J.-L., & Roustit, M. (2020). Human Skin Microcirculation. In *Comprehensive Physiology* (p. 1105-1154). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/cphy.c190008>
- Croze, T. (2018). Sur la présence de la Pariétaire du Portugal (*Parietaria lusitanica* L. subsp. *lusitanica*) (Urticaceae) dans le département du Vaucluse. *Naturalia Environnement*.

Dayem, A. A., Choi, H. Y., Kim, Y. B., & Cho, S.-G. (2015). Antiviral Effect of Methylated Flavonol Isorhamnetin against Influenza. *PLOS ONE*, 10(3), e0121610. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121610>

Deepshikha Gupta. (2015). Méthodes de détermination de la capacité antioxydante : une revue. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 6(2).

Dehshiri, M. M., Aghamollaei, H., Zarini, M., Nabavi, S. M., Mirzaei, M., Loizzo, M. R., & Nabavi, S. F. (2013). Antioxidant activity of different parts of *Tetrataenium lasiopetalum*. *Pharmaceutical Biology*, 51(8), 1081-1085. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.775594>

Del Bino, S. (2021). Relation entre la pigmentation constitutive de la peau et la réponse aux expositions ultraviolettes [Thèse de doctorat, Sorbonne Université]. HAL. <https://theses.hal.science/tel-03853482>

Dermalogica. (s.d.). Protection UV : filtres physiques vs. chimiques, quelle différence ? Dermalogica France. <https://dermalogica.fr/blogs/news/protection-uv-filtres-physiques-vs-chimiques-quelle-difference>

Djelloul Karima, M., Radia, D., Nawal, Z., & Nesrine, H. (2022). Phytochemical study and evaluation of the antioxidant and antimicrobial activity of the methanolic extract of *urtica dioica*. *PLANT ARCHIVES*, 22(2), 366-375. <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2022.v22.no2.063>

Dorman, H. J. D., & Deans, S. G. (2000). Antimicrobial agents from plants : Antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88(2), 308-316. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.00969.x>

Draghi, F. (2005). *L'ortie dioïque (Urtica dioica L.) : Étude bibliographique* (p. non renseigné) [Other, UHP - Université Henri Poincaré]. <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733415>

Driskell, R. R., Jahoda, C. A. B., Chuong, C.-M., Watt, F. M., & Horsley, V. (2014). Defining dermal adipose tissue. *Experimental Dermatology*, 23(9), 629–631. <https://doi.org/10.1111/exd.12465>

Dutra, E. A., Oliveira, D. A. G. da C. e, Kedor-Hackmann, E. R. M., & Santoro, M. I. R. M. (2004). Determination of sun protection factor (SPF) of sunscreens by ultraviolet

spectrophotometry. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 40, 381-385. <https://doi.org/10.1590/S1516-93322004000300014>

Egambaram, O. P., Kesavan Pillai, S., & Ray, S. S. (2020). Materials Science Challenges in Skin UV Protection : A Review. *Photochemistry and Photobiology*, 96(4), 779-797. <https://doi.org/10.1111/php.13208>

Emeraux, E. (2019). *Propriétés biologiques des flavonoïdes : Étude bibliographique et évaluation de l'activité antioxydante* (p. NNT : 2019LORR2006) [Other, Université de Lorraine]. <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03297878>

Eskenazi, M. (2017). Les produits de protection solaire de nouvelle génération [Thèse de doctorat, Faculté de Pharmacie de Marseille]. DUMAS. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01586032>

Elie, F. (2022, décembre). *Les phénols et les polyphénols*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/366311370_Les_phenols_et_les_polyphenols

Falanga, V. (2020). Bioengineered skin constructs. In R. Lanza, R. Langer, & J. Vacanti (Eds.), *Principles of tissue engineering* (pp. 1331–1352). Academic Press.

Ferrero, L., Pissavini, M., & Doucet, O. (2010). How a calculated model of sunscreen film geometry can explain in vitro and in vivo SPF variation. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 9(4), 540-551. <https://doi.org/10.1039/b9pp00183b>

Fitzpatrick, T. B. (1988). The Validity and Practicality of Sun-Reactive Skin Types I Through VI. *Archives of Dermatology*, 124(6), 869-871. <https://doi.org/10.1001/archderm.1988.01670060015008>

Fleurentin, J. (2008). *Plantes médicinales : Traditions et thérapeutique*. Éditions Ouest-France.

Fuentes, J. L., Pedraza Barrera, C. A., Villamizar Mantilla, D. A., Flórez González, S. J., Sierra, L. J., Ocacionez, 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(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/molecules27175525>

Garnier, G., Bézanger-Beauquesne, L., & Debraux, G. (1961). *Ressources médicinales de la flore française. Tome 1 / Gabriel Garnier, Lucienne Bézanger-Beauquesne, Germaine*

- Debraux. Vigot Frères. Paris. <https://bibliotheque.univ-catholille.fr/Default/doc/SYRACUSE/335019/ressources-medicinales-de-la-flore-francaise-tome-1-gabriel-garnier-lucienne-bezanger-beauquesne-ger>
- Ghedira, K., Goetz, P., & Le Jeune, R. (2009). *Urtica dioica* L., *Urtica urens* et/ou hybrides (Urticaceae). *Phytothérapie*, 7(5), 279-285. <https://doi.org/10.1007/s10298-009-0408-5>
- Gilaberte, Y., Prieto-Torres, L., Pastushenko, I., & Juarranz, Á. (2016). Anatomy and function of the skin. In M. R. Hamblin, P. Avci, & T. Hasan (Eds.), *Nanoscience in dermatology* (pp. 1–14). Academic Press.
- Gromkowska-Kępka, K. J., Puścion-Jakubik, A., Markiewicz-Żukowska, R., & Socha, K. (2021). The impact of ultraviolet radiation on skin photoaging—Review of in vitro studies. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 20(11), 3427-3431. <https://doi.org/10.1111/jocd.14033>
- Guillouty, A. (2016). *Plantes médicinales et antioxydants* (Thèse de doctorat, Université Toulouse III Paul Sabatier, France). 101 p.
- Gülçin, İ., Huyut, Z., Elmastaş, M., & Aboul-Enein, H. Y. (2010). Radical scavenging and antioxidant activity of tannic acid. *Arabian Journal of Chemistry*, 3(1), 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2009.12.008>
- Gupta, V., & Sharma, V. K. (2019). Skin typing : Fitzpatrick grading and others. *Clinics in Dermatology*, 37(5), 430-436. <https://doi.org/10.1016/j.jcdermatol.2019.07.010>
- Halmi, S. (2015). Etude botanique et phytochimique approche biologique et pharmacologique d'*opuntia ficus*, diplôme de doctorat, biotechnologie végétale . p17,25
- Hammad, M. A., Omar, M. A., & Awad, M. (2017). Validation of sensitive spectrophotometric method for determination of Salmeterol xinafoate and Fenoterol hydrobromide via o-Phenanthroline and iron complexation. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7,(6), 049-054. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2017.70607>
- Hammer, K. A., Carson, C. F., & Riley, T. V. (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86(6), 985-990. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1999.00780.x>

- Havsteen, B. H. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & Therapeutics*, 96(2), 67-202. [https://doi.org/10.1016/S0163-7258\(02\)00298-X](https://doi.org/10.1016/S0163-7258(02)00298-X)
- Hariri, W. (2016). The specie Parietaria lusitanica (L.) : Cauline and foliar histoanatomical study. ResearchGate.
- Heni, S. (2016). Sélection d'extraits bio-actifs des espèces du genre Thymus comme conservateurs antibactériens naturels [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar - Annaba].
- Hossain, M. K., Choi, H. Y., Hwang, J.-S., Dayem, A. A., Kim, J.-H., Kim, Y. B., Poo, H., & Cho, S.-G. (2014). Antiviral activity of 3,4'-dihydroxyflavone on influenza a virus. *Journal of Microbiology*, 52(6), 521-526. <https://doi.org/10.1007/s12275-014-4212-z>
- Hurrell, R. F. (2003). Influence of vegetable protein sources on trace element and mineral bioavailability. *The Journal of Nutrition*, 133(9), 2973S-7S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.9.2973S>
- Hussen, E. M., & Endalew, S. A. (2023). In vitro antioxidant and free-radical scavenging activities of polar leaf extracts of Vernonia amygdalina. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12906-023-03923-y>
- Ibrahim, H. S., & Abdel-Azeem, A. M. (2025). Forest fungi: Secondary metabolism, regulation, function and drug discovery. In *Forest Fungi* (p. 389-413). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18870-1.00005-6>
- Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.15171/jhp.2018.01>
- Jdidi, I. (2015). Étude phytochimique et activité biologique des extraits des huiles essentielles (Thèse de doctorat).
- Jordão, A. C., Dos Santos, G. S., Teixeira, T. R., Gluzek, A. J. P., De Souza Azevedo, C. B., De Castro Pereira, K., Tonani, L., Gaspar, L. R., Von Zeska Kress, M. R., Colepicolo, P., & Debonsi, 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>

- Kawser Hossain, M., Abdal Dayem, A., Han, J., Yin, Y., Kim, K., Kumar Saha, S., Yang, G.-M., Choi, H., & Cho, S.-G. (2016). Molecular Mechanisms of the Anti-Obesity and Anti-Diabetic Properties of Flavonoids. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(4), 569. <https://doi.org/10.3390/ijms17040569>
- Khaledi, M., Khaledi, F., Asadi-Samani, M., Gholipour, A., & Mahmoodi Kouhi, A. (2018). Phytochemical evaluation and antibacterial effects of *Medicago sativa*, *Onosma sericeum*, *Parietaria judaica* L., *Phlomis persica* and *Echinophora platyloba* DC. on *Enterococcus faecalis*. *Biomedical Research and Therapy*, 5(1), 1941-1951. <https://doi.org/10.15419/bmrat.v5i1.408>
- Klimová, Z., Hojerová, J., & Pažoureková, S. (2013). Current problems in the use of organic UV filters to protect skin from excessive sun exposure. *Acta Chimica Slovaca*, 6(1), 82-88. <https://doi.org/10.2478/acs-2013-0014>
- Kostyuk, V., Potapovich, A., Albuhaydar, A. R., Mayer, W., De Luca, C., & Korkina, L. (2018). Natural Substances for Prevention of Skin Photoaging : Screening Systems in the Development of Sunscreen and Rejuvenation Cosmetics. *Rejuvenation Research*, 21(2), 91-101. <https://doi.org/10.1089/rej.2017.1931>
- 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), Article 6. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9060134>
- Labbani, Pr. (2021-2022). Composés Phénoliques [Cours De Biochimie Végétale, Chapitre 4]. Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie, Université De Médecine (UFMC).
- Lai-Cheong, J. E., & McGrath, J. A. (2017). Structure and function of skin, hair and nails. *Medicine*, 45(6), 347–351.
- Laverdet, B., Girard, D., & Desmoulières, A. (2018). Physiologie de la peau, réparation cutanée et réaction stromale. *Actualités Pharmaceutiques*, 57(581), 20–23.

- Lazare, J.-J. (2010). *M. Botineau, 2010 – Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs*. Paris, Éditions Tec and Doc, Lavoisier. https://www.persee.fr/doc/jobot_1280-8202_2010_num_51_1_1101
- L. Meunier. (2009). *Journal de pédiatrie et de puériculture*: Vol. vol 22. <https://www.em-consulte.com/revue/PEDPUE/22/1/table-des-matieres/>
- Lefahal, M., Makhloifi, 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>
- Lefahal, M., Makhloifi, E.-H., Boussetla, A., Ayad, R., Rayane, S. A., & Akkal, S. (2022). Isoorientin Isolated from the Algerian Halophyte *Limonium thouinii* (Viv.) Kuntze as a Multifunctional Cosmetic Ingredient : Antioxidant and Photoprotective Effects Evaluation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 92(4), 889-896. <https://doi.org/10.1007/s40011-022-01380-0>
- Lefahal, M., Zaabat, N., Ayad, R., Makhloifi, 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(2), 26. <https://doi.org/10.3390/medicines5020026>
- Mahdavi Fikjvar, E., Golmohammadi, S., & Jalali, A. (2024). The Volatile Constituents and Antimicrobial Analysis of *Parietaria officinalis* from the Northern Part of Iran, Guilan Province. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 20(4). <https://doi.org/10.22037/ijps.v20i4.44928>
- Maier, T., & Korting, H. C. (2005). Sunscreens – Which and What for? *Skin Pharmacology and Physiology*, 18(6), 253-262. <https://doi.org/10.1159/000087606>
- Maiolo, E. (2013). *Bénéfices et dangers du rayonnement solaire et de sa composante ultraviolette : De l'utilisation médicale aux nouvelles habitudes de loisirs* (p. non renseigné) [Other, Université de Lorraine]. <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733381>
- Makhloifi, E.-H., Lefahal, M., Ayad, R., Cakmak, Y. S., Nieto, G., & Akkal, S. (2023). *Helosciadium crassipes* Koch (Apiaceae) extracts as natural sunscreen and preservative

additives. *Notulae Scientia Biologicae*, 15(4), 11639.
<https://doi.org/10.55779/nsb15411639>

Manaia, E. B., Kaminski, R. C. K., Corrêa, M. A., & Chiavacci, L. A. (2013). Inorganic UV filters. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49, 201-209.
<https://doi.org/10.1590/S1984-82502013000200002>

Manciet, J. R. (s.d.). Indice de protection solaire. Unité d'Allergologie et de Photodermatologie, Service du Pr Morel, Hôpital Saint-Louis, Paris.

Mascarenhas, M. E., Mandrekar, C. R., Marathe, P. B., & Morais, L. J. (2017). Phytochemical screening of selected species from convolvulaceae. *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 9(6), 94. <https://doi.org/10.22159/ijcpr.2017v9i6.23438>

Meunier, L. (2008). Fotoprotección (interna y externa). *EMC - Dermatología*, 42(2), 1-15.
[https://doi.org/10.1016/S1761-2896\(08\)70355-8](https://doi.org/10.1016/S1761-2896(08)70355-8)

Mika, A., Minibayeva, F., Beckett, R., & Lüthje, S. (2004). Possible functions of extracellular peroxidases in stress-induced generation and detoxification of active oxygen species. *Phytochemistry Reviews*, 3(1-2), 173-193.
<https://doi.org/10.1023/B:PHYT.0000047799.16485.5e>.

Middleton, E. (1998). Effect of plant flavonoids on immune and inflammatory cell function. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 439, 175-182.
https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5335-9_13

Mihaljev, Z., Zivkov-Balos, M., Cupić, Z., & Jaksić, S. (2014). Levels of some microelements and essential heavy metals in herbal teas in Serbia. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 71(3), 385-391.

Moyal, D. (2010). UVA protection labeling and in vitro testing methods. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 9(4), 516-523. <https://doi.org/10.1039/b9pp00139e>

Mukhopadhyay, D., Dasgupta, P., Sinha Roy, D., Palchoudhuri, S., Chatterjee, I., Ali, S., & Ghosh Dastidar, S. (2016). A Sensitive In vitro Spectrophotometric Hydrogen Peroxide Scavenging Assay using 1,10-Phenanthroline. *Free Radicals and Antioxidants*, 6(1), 124-132. <https://doi.org/10.5530/fra.2016.1.15>

Muller, Q. (2018). *Développement par génie tissulaire d'un modèle de peau humaine innervée, vascularisée et immunocompétente pour l'étude des réactions inflammatoires cutanées*

[Pour obtenir le grade de Docteur de l'université de strasbourg]. université de strasbourg université de laval.

Mzid, M., Ben Khedir, S., Ben Salem, M., Regaieg, W., & Rebai, T. (2017). Antioxidant and antimicrobial activities of ethanol and aqueous extracts from *Urtica urens*. *Pharmaceutical Biology*, 55(1), 775-781. <https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1275025>

Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2007). Natural Products as Sources of New Drugs over the Last 25 Years. *Journal of Natural Products*, 70(3), 461-477. <https://doi.org/10.1021/np068054v>

Ngoc, L. T. N., Tran, V. V., Moon, J.-Y., Chae, M., Park, D., & Lee, Y.-C. (2019). Recent Trends of Sunscreen Cosmetic : An Update Review. *Cosmetics*, 6(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/cosmetics6040064>

Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids : An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>

Pangestuti, R., Siahaan, E. A., & Kim, S.-K. (2018). Photoprotective Substances Derived from Marine Algae. *Marine Drugs*, 16(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/md16110399>

pierre, agache. (2000). *Physiologie de la peau et explorations fonctionnelles cutanées* (Tec et Dec-Lavoisier).

Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55–74. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>.

Plee, F. (1864). *Types de chaque famille et des principaux genres des plantes croissant spontanément en France : Exposition détaillée et complète de leurs caractères et de l'Embryologie*. J. B. Baillière et Fils.

Polaar. (2022, 18 novembre). *Antioxydants : Quels rôles et quels bienfaits ?* Polaar. <https://polaar.com/blogs/blog/antioxydants-roles-bienfaits>.

Prasain, J. K., Carlson, S. H., & Wyss, J. M. (2010). Flavonoids and age-related disease : Risk, benefits and critical windows. *Maturitas*, 66(2), 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2010.01.010>

- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337-341. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>
- Qadi, M., Jaradat, N., Al-lahham, S., Ali, I., Abualhasan, M. N., Shraim, N., Hussein, F., Issa, L., Mousa, A., Zarour, A., Badrasawi, A., Baarah, A. M., & Al-Omari, R. (2020). Antibacterial, Anticandidal, Phytochemical, and Biological Evaluations of Pelliory Plant. *BioMed Research International*, 2020(1), 6965306. <https://doi.org/10.1155/2020/6965306>
- Quézel, P., & Santa, S. (1962). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Editions du Centre National de la recherche scientifique.
- Rafajlovska, V., Rizova, V., Djarmati, Z., Tesevic, V., & Cvetkov, L. (2001). Contents of fatty acids in stinging nettle extracts (*Urtica dioica* L.) obtained with supercritical carbon dioxide. *Acta Pharmaceutica*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Contents-of-fatty-acids-in-stinging-nettle-extracts-Rafajlovska-Rizova/998ad2ec138f7ea5e0971e9e9e2b38d4da465858>
- Raj, S. (2017). Preliminary phytochemical screening of *Lantana camara*, L., a major invasive species of Kerala, using different solvents. *Annals of Plant Sciences*, 6(11), 1794. <https://doi.org/10.21746/aps.2017.6.11.13>
- Raven, P. H., Evert, R. F., Eichhorn, S. E., & Bouharmont, J. (2000). *Biologie végétale*. De Boeck université.
- Rezaire, A. (2012). *Activité anti-oxydante, et caractérisation phénolique du fruit de palmier amazonien *Oenocarpus bataua* (patawa)* [These de doctorat, Antilles-Guyane]. <https://theses.fr/2012AGUY0573>
- Roelandts, R. (2007). Rayonnement solaire. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, 134(5, Part 2), 7-8. [https://doi.org/10.1016/S0151-9638\(07\)89237-4](https://doi.org/10.1016/S0151-9638(07)89237-4)
- Sanchez-Moreno, C. (2002). Review : Methods Used to Evaluate the Free Radical Scavenging Activity in Foods and Biological Systems. *Food Science and Technology International*, 8(3), 121-137. <https://doi.org/10.1177/1082013202008003770>

- 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>
- Schauenberg, P., & Paris, F. (2005). *Guide des plantes médicinales : Analyse, description et utilisation de 400 plantes*. Delachaux et Niestlé.
- Shen, N., Wang, T., Gan, Q., Liu, S., Wang, L., & Jin, B. (2022). Plant flavonoids : Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 383, 132531. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132531>
- Sieniawska, E., & Baj, T. (2017). Tannins. In *Pharmacognosy* (p. 199-232). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802104-0.00010-X>
- Singla, R. K., Dubey, A. K., Garg, A., Sharma, R. K., Fiorino, M., Ameen, S. M., Haddad, M. A., & Al-Hiary, M. (2019). Natural Polyphenols : Chemical Classification, Definition of Classes, Subcategories, and Structures. *Journal of AOAC International*, 102(5), 1397-1400. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0133>
- Simon, M., & Reynier, M. (2016). L'épiderme, une barrière sur tous les fronts.
- Falanga, V. (2020). Bioengineered skin constructs. In R. Lanza, R. Langer, & J. Vacanti (Eds.), *Principles of tissue engineering* (pp. 1331–1352). Academic Press.
- Spichiger, R.-E., Savolainen, V.-V., Figeat, M., Jeanmonod, D., & Perret, M. (2002). *Botanique Systematique Des Plantes A Fleurs. Une Approche Phylogenetique Nouvelle Des Angiospermes Des Regions Temperees Et Tropicales, 2eme Edition Avec Cd-Rom*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Stroh, P. A., Walker, K. J., Humphrey, T. A., Pescott, O. L., & Burkmar, R. J. (2023). *Plant atlas 2020 : Mapping changes in the distribution of the British and Irish Flora*. Botanical Society of Britain and Ireland ; Princeton University Press.
- Tarasevičienė, Ž., Vitkauskaitė, M., Paulauskienė, A., & Černiauskienė, J. (2023). Wild Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.) Leaves and Roots Chemical Composition and Phenols Extraction. *Plants*, 12(2), 309. <https://doi.org/10.3390/plants12020309>
- Uncini Manganelli, R. E., Zaccaro, L., & Tomei, P. E. (2005). Antiviral activity in vitro of *Urtica dioica* L., *Parietaria diffusa* M. et K. and *Sambucus nigra* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 98(3), 323-327. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.01.021>

- Watson, R. R. (Éd.). (2014). *Polyphenols in plants: Isolation, purification and extract preparation* (First edition). Academic Press.
- Wetherilt, H. (1992). Evaluation of URTICA Species as Potential Sources of Important Nutrients. In *Developments in Food Science* (Vol. 29, p. 15-25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-88834-1.50007-7>
- Wink, M. (Éd.). (2010). *Biochemistry of plant secondary metabolism* (2nd ed). Wiley-Blackwell.
- World Health Organization. (n.d.). Ultraviolet (UV) radiation. World Health Organization. Récupéré de [https://www.who.int/fr/news-room/questions-and-answers/item/ultraviolet-\(uv\)-radiation](https://www.who.int/fr/news-room/questions-and-answers/item/ultraviolet-(uv)-radiation).
- Yefrida, Suyan, 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.
- Yefrida, Y., Suyani, H., Alif, A., Efdi, M., & Aziz, H. (2018). Modification of phenanthroline method to determine antioxidant content in tropical fruits methanolic extract. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 22(4), 28–35



Chapitre II

Matériel et méthodes



Ce travail a pour objectif la réalisation d'une étude phytochimique et l'évaluation des activités antioxydante, antibactérienne et photoprotectrice de l'extrait méthanolique des parties aériennes d'une plante du genre *Parietaria*.

Le présent travail est effectué au sein de l'Unité de Valorisation des Ressources Naturelles, Molécules Bioactives et Analyses Physico-chimiques et Biologiques (Laboratoire de Chimie n°11, Faculté des Sciences Exactes) ainsi qu'au Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBT) à Constantine.

Les expériences décrites dans ce mémoire ont été effectuées selon le plan suivant :

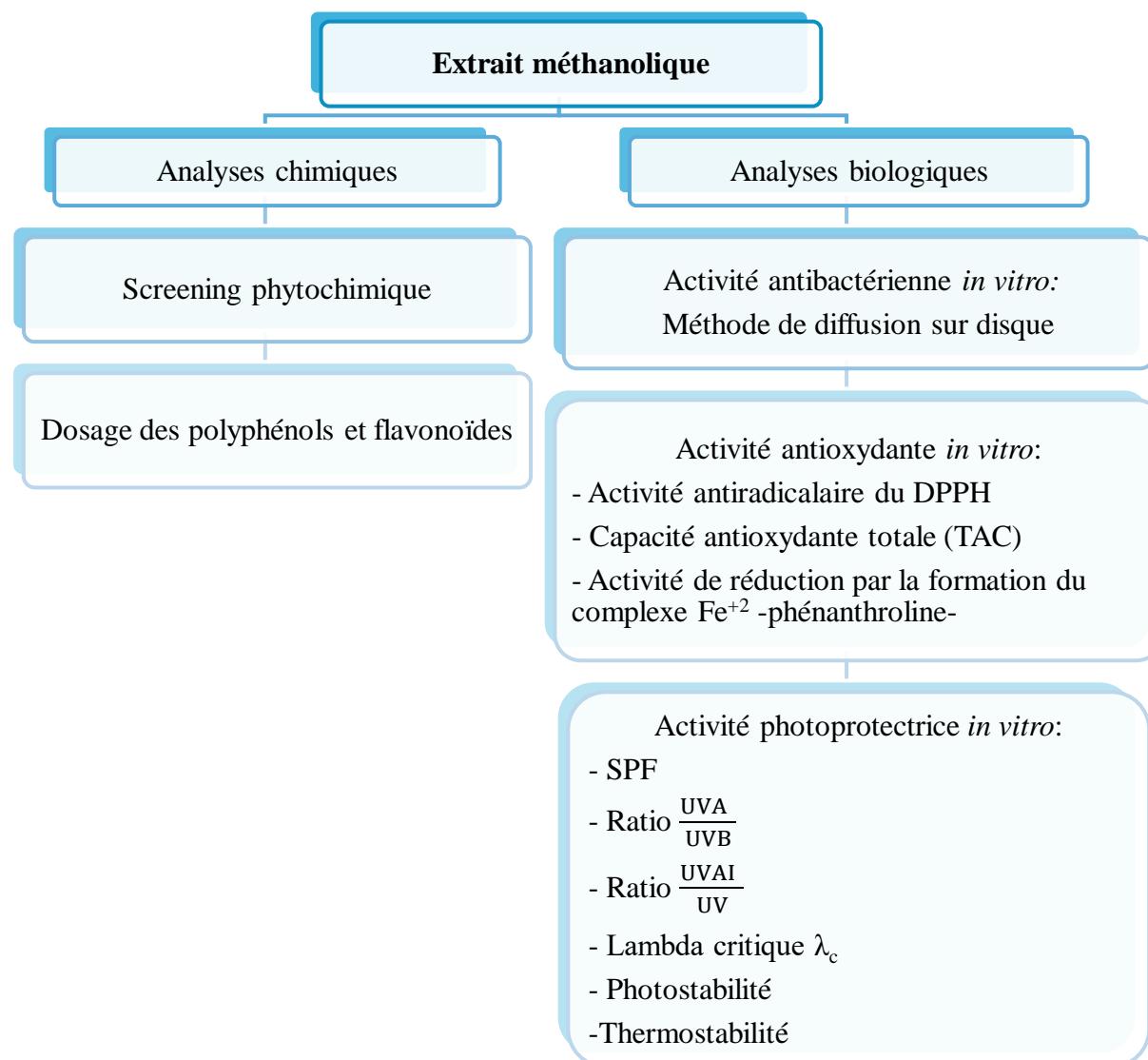


Figure 16: Protocole d'étude expérimentale.

I. Préparation du matériel végétal

La plante a été récoltée de la wilaya de BEJAIA, au mois de mars 2022. Après séchage dans un endroit sec et à l'abri des rayons solaires, les parties aériennes ont été coupées en petits morceaux et pesées (200 g).

I.1. Extraction de la plante

200 g des parties aériennes ont subi une macération dans un mélange hydroalcoolique (méthanol : eau ; 7 :3) à chaud pendant 72 heures.

La solution obtenue est alors filtrée et évaporée sous vide à (35-50) °C à l'aide d'un évaporateur rotatif. La masse de l'extrait méthanolique (MeOH) obtenu été de 25.72g.



Figure 17: Procédure d'extraction du genre *Parietaria*.

I.2. Screening phytochimique

L'extrait brut préparé auparavant a été utilisé pour effectuer diverses analyses, qui sont des méthodes et techniques permettant d'identifier qualitativement la présence simultanée de différentes familles de produits naturels dans les plantes. L'identification de cette famille constitue le criblage phytochimique.

Ces tests de caractérisation se basent sur des réactions de précipitation et/ou de coloration, ainsi que sur des inspections à la lumière UV.

❖ Alcaloïdes

0.05g de l'extrait MeOH a été dissous dans de l'acide chlorhydrique dilué, puis filtré. Le filtrat obtenu a été ensuite traité avec le réactif de Wagner. L'apparition d'un précipité brun ou brun-rougeâtre révèle la présence d'alcaloïdes (Hussen & Endalew, 2023).

❖ Flavonoïdes

L'extrait MeOH a été combiné avec quelques morceaux de ruban de magnésium, puis de l'acide chlorhydrique concentré a été ajouté goutte à goutte. Après quelques minutes, une coloration rose ou rouge magenta est apparue, indiquant la présence de flavonoïdes (Shrestha et al., 2015).

❖ Phénols

Une quantité de 0,05 g de l'extrait MeOH a été traitée avec quelques gouttes d'une solution de FeCl_3 à 5 %. L'apparition d'une couleur bleu noirâtre, bleue ou verte, révèle la présence de composés phénoliques (Hussen & Endalew, 2023).

❖ Saponines

Une masse de 0,05 g de l'extrait a été diluée dans 20 mL d'eau distillée, puis agitée énergiquement dans une éprouvette graduée pendant 15 minutes. L'apparition d'une mousse stable d'environ 1 cm d'épaisseur révèle la présence de saponines (Shrestha et al., 2015).

❖ Tannins

L'extrait MeOH a été mélangé à 2 mL d'une solution de FeCl_3 à 2 %. Une coloration bleu-vert ou bleu-noir est apparue, indiquant la présence de polyphénols et de tanins (Shrestha et al., 2015).

❖ Terpenoïdes

Un millilitre d'extrait MeOH a été ajouté à deux millilitres de chloroforme, puis traité avec de l'acide sulfurique concentré. Une coloration allant du jaune au rouge brique indique la présence de terpènes (Mascarenhas et al., 2017).

❖ Coumarines

Un millilitre d'extrait MeOH a été mélangé avec quelques gouttes de NaOH, puis 1 mL d'alcool a été ajouté. La formation d'une couleur jaune indique la présence de coumarines (Senthilmurugan et al., 2013).

❖ Quinones

Une petite quantité d'extrait a été traitée avec de l'acide chlorhydrique concentré et examinée pour détecter la formation d'un précipité jaune ou d'une coloration (Raj, 2017).

I.3. Dosage des polyphénols et flavonoïdes

I.3.1. Dosage des polyphénols

➤ Principe

Le test Folin-Ciocalteu est la méthode la plus fréquemment employée pour évaluer la concentration globale en substances phénoliques de différentes plantes.

Cette méthode repose sur la réaction entre le réactif Folin-Ciocalteu et les composés phénoliques en milieu alcalin ($\text{pH}=10$), ce qui est réalisé par l'ajout de carbonate de sodium (Na_2CO_3). Dans cette condition standard, la désassociation d'un proton phénolique mène à la création d'un ion phénolate, qui est à l'origine de la diminution du réactif Folin-Ciocalteu.

Pendant le processus de réduction, la teinte vive du réactif F-C se change en une nuance bleue (Figure 14)(Bibi Sadeer et al., 2020).

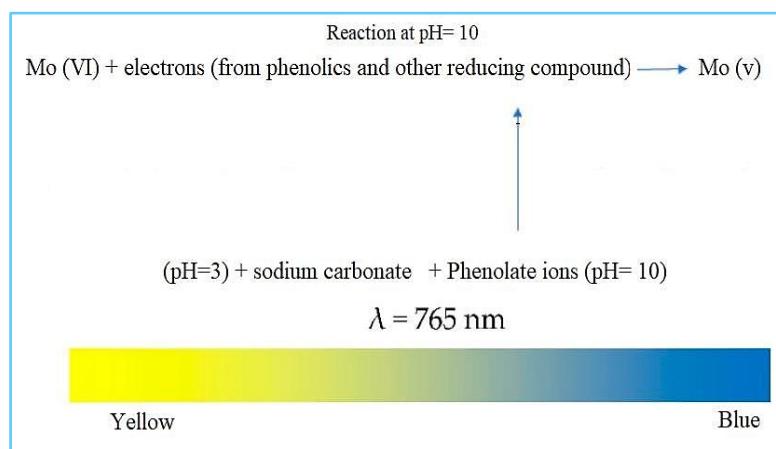


Figure 18: Mécanisme du test Folin-Ciocalteu.

➤ Mode opératoire

La méthode utilisée pour déterminer la concentration en polyphénols de l'extrait méthanolique est celle de (Boulacel et al., 2019). Brièvement, 300 µl de l'extrait (1 mg/mL dans le méthanol) ont été mélangés à 1500 µl du réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois). Après une agitation vigoureuse du mélange suivie d'un repos de 4 min, une prise de 1200 µl de Na₂CO₃ (7.5 %) est additionnée. Le mélange final a été agité, puis incubé à l'abri de la lumière à température ambiante pendant deux heures. Un spectrophotomètre a été utilisé pour mesurer l'absorbance à 765 nm.

La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage ($y = ax + b$), établie avec le standard étalon l'acide gallique (0-200 µg/ml).

Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g).

I.3.2. Dosage des flavonoïdes

➤ Principe

La détermination de la concentration en flavonoïdes a été réalisée à l'aide d'une technique qui repose sur la création de complexes entre les composés phénoliques et le trichlorure d'aluminium. Les complexes générés présentent une couleur jaune qui est absorbée dans le spectre visible.

➤ Mode opératoire

La méthode de (Ayad et al., 2018) est utilisée pour déterminer la teneur en flavonoïdes de notre extrait. On a incorporé 1 mL d'extrait (1 mg/mL dans le MeOH) à un volume équivalent d'une solution d' AlCl_3 (2% dans le méthanol). Le mélange final a été secoué, puis incubé dans l'obscurité à température ambiante pendant une durée de 10 minutes. Un spectrophotomètre à 430 nm a été utilisé pour mesurer l'absorbance.

La quantification des flavonoïdes a été faite en fonction d'une courbe d'étalonnage linéaire réalisée par un standard étalon « la quercétine » à différentes concentration (1.75-40 µg/mL) dans les mêmes conditions que l'échantillon.

Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent de quercétine par gramme d'extrait (mg EQ/g).

I.4. Activités Biologiques

I.4.1. Activité antibactérienne

L'étude de l'activité antibactérienne a été réalisée au niveau du laboratoire de biochimie du Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBT) à Constantine sur les souches bactérienne suivantes : *Escherichia coli* ATCC 25922 (*E.coli* ATCC25922) et *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (*S.aureus* ATCC25923).

❖ Méthode

L'activité antibactérienne de l'extrait est déterminée par la méthode de diffusion en milieu gélosée standardisée par (NCCLS) cité par (Celiktaş et al., 2007).

NCCLS: (National Committee of Clinical Laboratory Standards).

❖ Les milieux de culture

Le milieu de culture utilisé est Mueller Hinton pour les deux bactéries.

➤ Préparation des solutions

L'extrait est repris avec de l'éthanol à 60 %. Deux dilutions 1/2 et 1/4 ont été préparées à partir d'une solution mère (100 mg/mL).

➤ Repiquage des espèces bactériennes

Les différentes espèces bactériennes ont été repiquées par la méthode des stries, puis incubées à 37°C afin d'obtenir des colonies isolées qui vont servir à la préparation de l'inoculum.

➤ Préparation de l'inoculum

Des colonies bien séparés des espèces bactériennes concernées ont été prélevées à l'aide d'une anse de platine et homogénéisées dans un tube de solution d'eau physiologique stérile afin d'avoir une densité cellulaire initiale ou une turbidité voisine à celle de Mc Farland 0,5 (10^6 UFC/mL). Cette comparaison est mesurée à l'aide d'un densitomètre.

➤ Ensemencement

Dans les 15 minutes suivant l'ajustement de la suspension servant d'inoculum, on a trempé un écouvillon dans la suspension et on a étalé la surface entière de la gélose (gélose Muller Hinton) à trois reprises, en tournant la boîte à environ 60° après chaque application dans le but d'avoir une distribution égale de l'inoculum.

➤ Incubation

Des disques de papier Wattman n° 3 de 6mm de diamètre stériles (stérilisation à 120°C pendant 15min par autoclavage), sont imprégnés d'extraits à raison de 40 µL par disque, ont été déposés stérilement à l'aide d'une pince sur la surface de la gélose. Des témoins imbibés seulement par l'éthanol (60%) ainsi que le témoin positif (gentamicine) ont été réalisés.

Les boîtes ont été incubées 24H à 37°C en atmosphère normale pour le développement du germe en question.

L'expérience est répétée trois fois pour chaque espèce bactérienne.

➤ La lecture

La lecture des antibiogrammes a été faite par la mesure des diamètres des halos d'inhibition au tour des disques.

Selon Ponce et al, (2003) l'échelle de l'estimation de l'activité antimicrobienne est classé comme suit :

- Non sensible (-) ou résistante : diamètre moins de 8 mm.
- Sensible (+) : diamètre entre 9 à 14 mm.
- Très sensible (++) : diamètre compris entre 15 à 19 mm.
- Extrêmement sensible (+++) : diamètre plus de 20 mm.

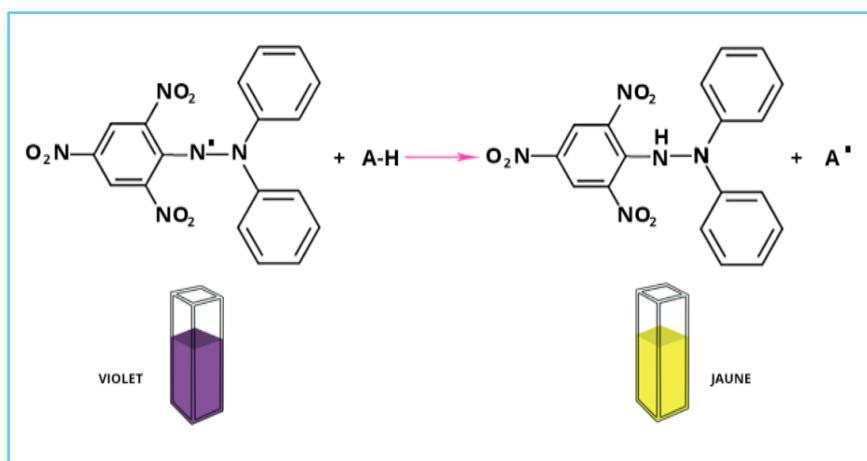
I.4.2. Evaluation de l'activité antioxydante

I.4.2.1. Activité antiradicalaire du DPPH

➤ Principe

La méthode DPPH (2,2-diphenylpicrylhydrazyl) est une technique couramment employée pour mesurer l'activité antioxydante, appréciée pour sa simplicité et sa rapidité. Effectivement, le radical DPPH est réputé pour sa notable stabilité attribuée à la délocalisation des électrons dans les cycles aromatiques. La présence de ces radicaux DPPH engendre une coloration pourpre intense de la solution.

Dans ce test, le radical DPPH est neutralisé en recevant un atome d'hydrogène ou un électron d'une espèce antioxydante (ou agents réducteurs), ce qui le transforme en sa version réduite (DPPH ou DPPH-H). Il a été observé que la réduction des radicaux DPPH[•] par un agent antioxydant entraîne une décoloration de la solution, que l'on peut suivre par spectrophotométrie à 517 nm. Ainsi, le potentiel antioxydant d'une substance ou d'un extrait végétal peut être déterminé (Bibi Sadeer et al., 2020).



➤ Mode opératoire

L'évaluation de l'activité antioxydant de notre extrait par le test DPPH a été évalué selon le protocole décrit par (Lefahal et al., 2023).

En pratique, 400μl de l'extrait à une concentration de 1mg/ml dans le MeOH sont combinés avec 1600μl d'une solution méthanolique de DPPH à 0.004%. Après une incubation de 30 minutes à l'abri de la lumière et à température ambiante, on mesure l'absorbance à 517 nm.

L'effet de piégeage du radical DPPH est quantifié en milligrammes d'équivalent d'acide ascorbique par gramme d'extrait (mg EAA/g).

I.4.2.2. Capacité antioxydante totale (TAC) par le test phosphomolybdène

➤ Principe

Au départ, le test phosphomolybdène était utilisé pour mesurer la quantité de vitamine E dans les graines. Toutefois, en raison de sa simplicité et de sa sensibilité, son application a été étendue aux extraits végétaux (Prieto et al., 1999) . Ce test, couramment employé par de nombreux chercheurs, repose sur la transformation du molybdène Mo (VI) présent sous forme d'ions molybdate MoO₄²⁻ en molybdène Mo (V) MoO₄²⁺ à l'aide d'un antioxydant. Cela donne naissance à un complexe vert de phosphate/Mo(V) en milieu acide. L'absorbance de ce complexe vert-bleu peut être mesurée à 695 nm (Bibi Sadeer et al., 2020).

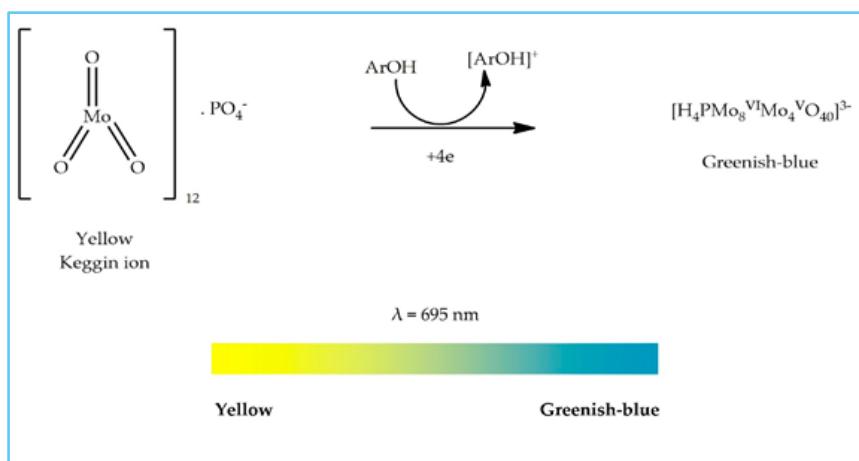


Figure 20: Mécanisme du test phosphomolybdène.

➤ Mode opératoire

Selon la méthode de phosphomolybdène détaillée par (Makhlofi et al., 2023), la capacité antioxydante totale (TAC) de notre extrait a été évaluée. Un volume de 0.3 ml de l'extrait méthanolique (1mg/mL dans le MeOH) est mélangé avec 3 ml de solution du réactif (0.6 M d'acide sulfurique, 28 mM de phosphate de sodium et 4 mM de molybdate d'ammonium).

Les tubes renfermant le mélange réactionnel sont placés en incubation à 95°C pendant une durée de 90 minutes. À la suite d'un refroidissement, on mesure l'absorbance des solutions à une longueur d'onde de 695 nm.

L'expression de la capacité antioxydante totale se fait en milligrammes d'équivalent d'acide ascorbique par gramme d'extrait (mg EAA/g).

I.4.2.3. Test de phénanthroline

➤ Principe

La technique de la phénanthroline repose sur la transformation de l'ion Fe^{3+} en Fe^{2+} par un antioxydant. L'ion Fe^{2+} créé ensuite interagit avec l'ortho-phénanthroline pour générer un complexe d'une couleur rouge orangée (Hammad et al., 2017).

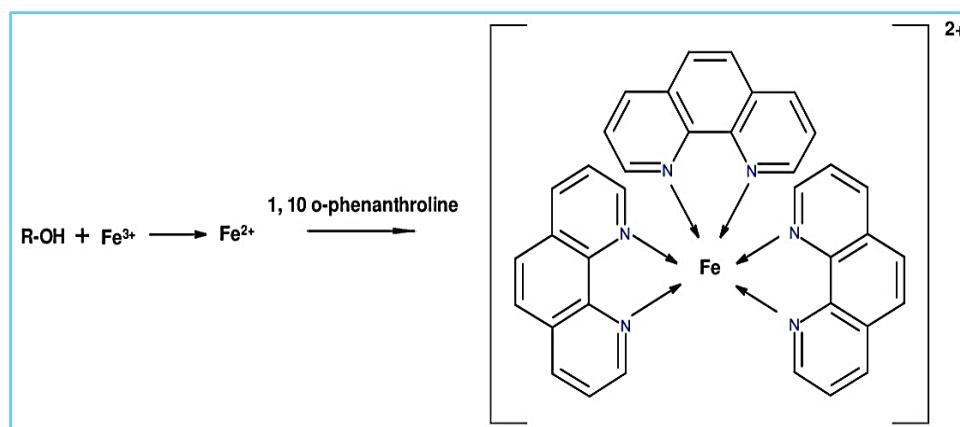


Figure 21: Mécanisme du test phénanthroline.

➤ Mode opératoire

La méthode de réduction par la formation du complexe Fe^{+2} phénanthroline a été effectuée en suivant le protocole indiqué par (Azzouzi et al., 2024). Un volume de 0,6 ml de l'extrait méthanolique (1mg/ml dans le MeOH) a été mélangé avec 1 ml de FeCl_3 (0,2%) et 0,5 ml de phénanthroline (0,5%), puis la quantité totale a été portée à 10 ml grâce à l'ajout de méthanol. Le mélange a été agité vigoureusement, puis incubé pendant 20 minutes à température ambiante. L'absorbance a été déterminée à 510 nm.

L'activité de réduction par la formation du complexe Fe^{+2} phénanthroline est exprimée en milligramme équivalent d'acide ascorbique par gramme d'extrait (mg EAA/ g) (Yefrida et al., 2018).

I.4.3. Evaluation de la capacité photoprotectrice

I.4.3.1. Profil d'absorption des rayons UV

Pour évaluer le potentiel d'absorption UV de notre extrait, un balayage spectral (290-400 nm) a été effectué selon la méthode décrite par (Ayad et al., 2023). En bref, une solution d'échantillon dans du méthanol a été analysée par spectrophotométrie UV/VIS entre 290 et 400 nm.

I.4.3.2. Détermination du facteur de protection solaire (FPS) *in vitro*

L'extrait méthanolique a été préparé à des concentrations de 0,1 mg/ml à 1 mg/ml en utilisant le méthanol comme solvant. L'absorbance des solutions a été mesurée entre 290 et 320 nm, tous les 5 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre UV/VIS. Le FPS a été calculé selon la méthode décrite par (Mansur et al. 1986), à l'aide de la formule suivante :

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

CF : facteur de correction (=10), EE (λ) : le spectre de l'effet érythémateux, I (λ) : le spectre de l'intensité du soleil, Abs (λ) : absorbance de l'échantillon. Les valeurs du produit EE*I sont des valeurs constantes, normalisées pour une longueur d'onde donnée (Sayre et al., 1979).

I.4.3.3. Evaluation de la protection contre les rayonnements UVA

L'évaluation de la protection contre les rayons UVA de l'extrait MeOH a été réalisée en calculant la longueur d'onde critique (λ_c) et les rapports UVA/UVB et UVAI/UV.

- ✓ Détermination de la longueur d'onde critique (λ_c)

La longueur d'onde critique détermine la largeur dans laquelle la protection contre le rayonnement UV se produit (Kurzawa et al., 2022b). 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(λ) : absorbance monochromatique, λ : longueur d'onde.

Pour les longueurs d'onde critiques ≤ 325 nm, aucune protection contre les rayons UV n'est disponible. En revanche, pour les longueurs d'onde critique ≥ 370 nm, la protection contre les rayons UV atteint son niveau optimal (Kurzawa et al., 2022b).

- ✓ Détermination du ratio UVA / UVB

Le ratio UVA/UVB est un autre paramètre utilisé pour l'évaluation de la photoprotection à large spectre (Ferrero et al., 2010) ; (Kostyuk et al., 2018), et il est calculé comme suit :

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

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

Selon le système Boots Star Rating, la protection contre les UVA est considérée comme modéré (*) entre 0.2 et 0.4, bonne (**) entre 0.4 et 0.6, supérieure (***) entre 0.6 et 0.8 et elle est considérée comme maximale (****) lorsque le rapport UVA/UVB est ≥ 0.8 (Caballero-Gallardo et al., 2022) .

- ✓ Détermination du ratio UVAI / UV

Le ratio UVAI /UV est un autre paramètre utilisé aussi pour évaluer la protection contre les UVA, il est déterminé en utilisant l'équation suivante (Kurzawa et al., 2022b):

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

Selon US-FDA (Food and Drug Administration), la protection contre les UVA est considérée comme modéré (*) entre 0.2 et 0.39, bonne (**) entre 0.4 et 0.69, supérieure (***)

entre 0.7 et 0.95 et elle est considérée comme maximale (****) lorsque le rapport UVAI/UV est $> 0,95$ (Moyal, 2010).

I.4.3.4. Evaluation de la photostabilité

Le test de photostabilité de l'extrait méthanolique a été réalisé dans une chambre lumineuse équipée d'une lampe UV à 365 nm de longueur d'onde, selon la méthode adoptée par (Almeida et al., 2011) avec quelques modifications. Un volume de 1 mL (1 mg/mL dans le méthanol) de l'extrait végétal a été appliqué sur des boîtes de Pétri de 30 mm de diamètre afin de former un film homogène. Les boîtes de Pétri ont ensuite été séchées dans une chambre noire pendant 60 minutes afin de permettre l'évaporation du méthanol.

Deux boîtes de Pétri ont été conservées à l'abri de la lumière sans être irradiées. Après une irradiation de deux heures, les échantillons ont été dilués à une concentration de 0.2mg/ml, puis analysés par spectrophotométrie UV.

Les spectres d'absorption des solutions dans la gamme 290-400 nm ont été enregistrés et 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 :

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

I.4.3.5. Evaluation de la thermostabilité

L'extrait méthanolique a été préparé dans l'eau (à une concentration de 0,2 mg/mL) au sein de tubes à essais en verre, hermétiquement clos et munis de bouchons. Sa thermostabilité a été évaluée par exposition à une température de 50 °C pendant une heure dans un bain-marie.

Dans le cadre de cette étude, le spectre d'absorption des solutions dans la gamme de 290-400 nm a été enregistré. 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 %.

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

Références

- Almeida, M. M. B., De Sousa, P. H. M., Arriaga, Â. M. C., Do Prado, G. M., Magalhães, C. E. D. C., Maia, G. A., & De Lemos, T. L. G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44(7), 2155-2159. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.051>
- 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.
- Ayad, R., Kesinkaya, H. B., Atalar, M. N., Lefahal, M., Zaabat, N., Makhloufi, E. H., Demirtas, I., Trifa, W., Akkal, S., & Medjroubi, K. (2023). *Jurinea humilis* DC. Polar Extract : HPLC Analysis, Photoprotective, Antioxidant Activities and Bioactive Content. *Chemistry Africa*, 6(2), 827-836. <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00525-y>
- Azzouzi, S., Lefahal, M., Loua, S., Makhloufi, E.-H., Medjroubi, K., & Akkal, S. (2024). *Centaurea dimorpha* Viv. (Asteraceae) growing in Algeria extracts as a promising natural cosmetic active ingredient : Broad-spectrum photoprotection and antioxidant efficacy. *Journal of Agriculture and Applied Biology*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.11594/jaab.06.01.01>
- Bibi Sadeer, N., Montesano, D., Albrizio, S., Zengin, G., & Mahomoodally, M. F. (2020). The Versatility of Antioxidant Assays in Food Science and Safety—Chemistry, Applications, Strengths, and Limitations. *Antioxidants*, 9(8), 709. <https://doi.org/10.3390/antiox9080709>
- 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>

- Celiktas, O. Y., Kocabas, E. E. H., Bedir, E., Sukan, F. V., Ozek, T., & Baser, K. H. C. (2007). Antimicrobial activities of methanol extracts and essential oils of *Rosmarinus officinalis*, depending on location and seasonal variations. *Food Chemistry*, 100(2), 553-559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.011>
- Ferrero, L., Pissavini, M., & Doucet, O. (2010). How a calculated model of sunscreen film geometry can explain in vitro and in vivo SPF variation. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 9(4), 540-551. <https://doi.org/10.1039/b9pp00183b>
- Hammad, M. A., Omar, M. A., & Awad, M. (2017). Validation of sensitive spectrophotometric method for determination of Salmeterol xinafoate and Fenoterol hydrobromide via o-Phenanthroline and iron complexation. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7,(6), 049-054. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2017.70607>
- Hussen, E. M., & Endalew, S. A. (2023). In vitro antioxidant and free-radical scavenging activities of polar leaf extracts of *Vernonia amygdalina*. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12906-023-03923-y>
- Jordão, A. C., Dos Santos, G. S., Teixeira, T. R., Gluzekak, A. J. P., De Souza Azevedo, C. B., De Castro Pereira, K., Tonani, L., Gaspar, L. R., Von Zeska Kress, M. R., Colepicolo, P., & Debonsi, 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>
- Kostyuk, V., Potapovich, A., Albuhaydar, A. R., Mayer, W., De Luca, C., & Korkina, L. (2018). Natural Substances for Prevention of Skin Photoaging : Screening Systems in the Development of Sunscreen and Rejuvenation Cosmetics. *Rejuvenation Research*, 21(2), 91-101. <https://doi.org/10.1089/rej.2017.1931>
- Kurzawa, M., Wilczyńska, E., Brudzyńska, P., & Sionkowska, A. (2022). 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., Makhloifi, 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>
- Makhloufi, E.-H., Lefahal, M., Ayad, R., Cakmak, Y. S., Nieto, G., & Akkal, S. (2023). Helosciadium crassipes Koch (Apiaceae) extracts as natural sunscreen and preservative additives. *Notulae Scientia Biologicae*, 15(4), 11639. <https://doi.org/10.55779/nsb15411639>
- Mascarenhas, M. E., Mandrekar, C. R., Marathe, P. B., & Morais, L. J. (2017). Phytochemical screening of selected species from convolvulaceae. *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 9(6), 94. <https://doi.org/10.22159/ijcpr.2017v9i6.23438>
- Moyal, D. (2010). UVA protection labeling and in vitro testing methods. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 9(4), 516-523. <https://doi.org/10.1039/b9pp00139e>
- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337-341. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>
- Ponce, A. G., Fritz, R., del Valle, C., & Roura, S. I. (2003). Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *LWT - Food Science and Technology*, 36(7), 679-684. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00088-4)
- Raj, S. (2017). Preliminary phytochemical screening of Lantana camara, L., a major invasive species of Kerala, using different solvents. *Annals of Plant Sciences*, 6(11), 1794. <https://doi.org/10.21746/aps.2017.6.11.13>
- 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>
- Shrestha, P., Adhikari, S., Lamichhane, B., & Shrestha, B. G. (2015). Phytochemical screening of the medicinal plants of Nepal. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 1(6), 11–17.
- Senthilmurugan, G., Vasanthe, B., & Suresh, K. (2013). Screening and antibacterial activity analysis of some important medicinal plants. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 2(2), 146–152.

Hammad, M. A., Omar, M. A., & Awad, M. (2017). Validation of sensitive spectrophotometric method for determination of Salmeterol xinafoate and Fenoterol hydrobromide via o-Phenanthroline and iron complexation. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7,(6), 049-054. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2017.70607>

Yefrida, Suyan, 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.



Chapitre III

Résultats et discussion



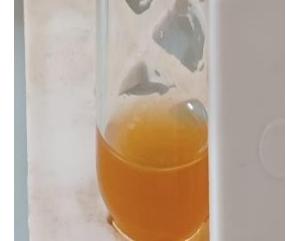
Résultats et discussions

I. Analyses chimiques

I.1. Screening phytochimique

L'étude qualitative préliminaire révèle que l'extrait méthanolique contient de nombreux composés bioactifs, tels que les phénols, les flavonoïdes, les alcaloïdes, les tanins et les coumarines (Tableau 10).

Tableau 10:Résultats de screening phytochimique de l'extrait méthanolique.

Le composé chimique	Présence/ Absence dans l'extrait	Résultat
Phénols	+	
Flavonoïdes	+	
Alcaloïdes	+	
Tanins	+	

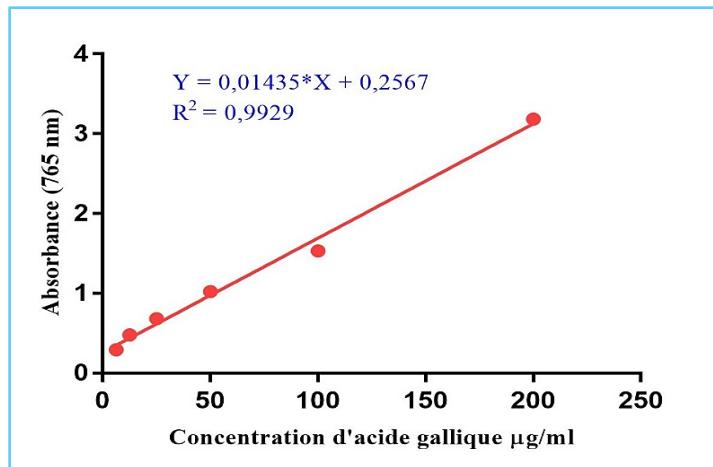
Saponines	—		
Terpenoïdes	—		
Coumarine	+		
Quinones	—		

(+) : présence, (-) : absence.

I.2. Teneur en polyphénols et flavonoïdes

I.2.1. Teneur en polyphénols totaux TPC

La teneur en polyphénols totaux de l'extrait méthanolique est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique (Figure22). Les résultats sont exprimés en microgramme d'équivalent d'acide gallique par milligramme de l'extrait ($\mu\text{g EAG/mg d'extrait}$), Ces derniers ont permis de donner des estimations sur les quantités des polyphénols totaux contenus dans notre extrait.



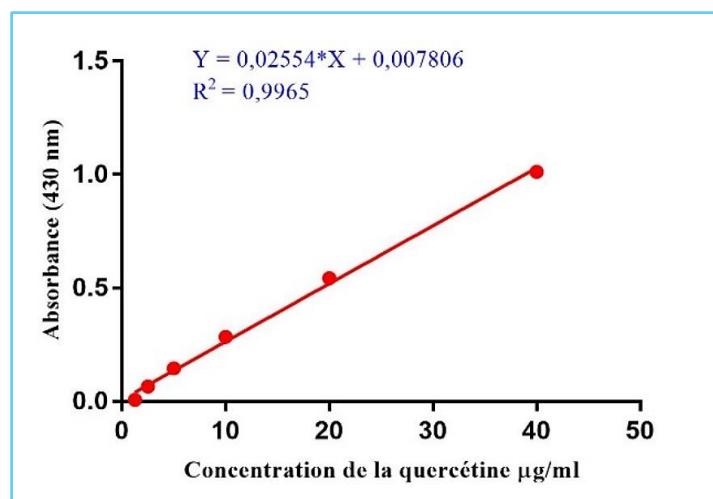
Les résultats enregistrés lors de cette étude (Tableau 11, Figure 22) indiquent que l'extrait méthanolique possède une teneur en polyphénols significatif ($19,60 \pm 0,14 \mu\text{g EAG/mg}$).

Tableau 11: Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux des parties aériennes de Parietaria.

Extrait	Polyphénols totaux (µg AGE /mg)	Flavonoïdes totaux (µg QE /mg)
L'extrait méthanolique	$(19,60 \pm 0,14 \mu\text{g EAG/mg})$	$(10,70 \pm 0,04 \mu\text{g QE/mg})$

I.2.2. Teneur en flavonoïdes totaux TFC

Le dosage des flavonoïdes totaux a été réalisé selon la technique du trichlorure d'aluminium (AlCl_3), en utilisant comme standard la quercétine, les teneurs en flavonoïdes sont exprimées en $\mu\text{g QE /mg}$ d'extrait (Figure 23).



Les résultats obtenus au cours de cette étude (Tableau 11, Figure 24) indiquent que l'extrait méthanolique contient une teneur en flavonoïdes équivalente à $(10,70 \pm 0,04 \mu\text{g QE/mg d'extrait})$.

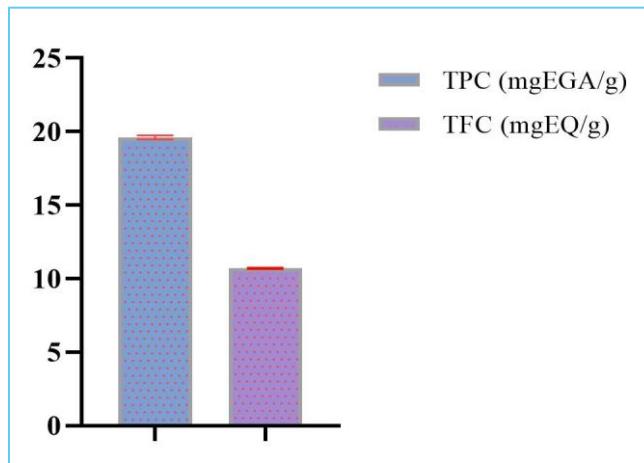


Figure 24: Teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux.

Toutefois, il est important de noter que nos résultats sont conformes à ceux de plusieurs auteurs qui ont démontré la richesse des espèces appartenant à la famille des Urticacées en polyphénols et flavonoïdes. (Mzid et al., 2017; Khaledi et al., 2018; Djelloul Karima et al., 2022; Tarasevičienė et al., 2023; Mahdavi Fikjvar et al., 2024).

II. Analyses biologiques

II.1. Evaluation de l'activité antibactérienne

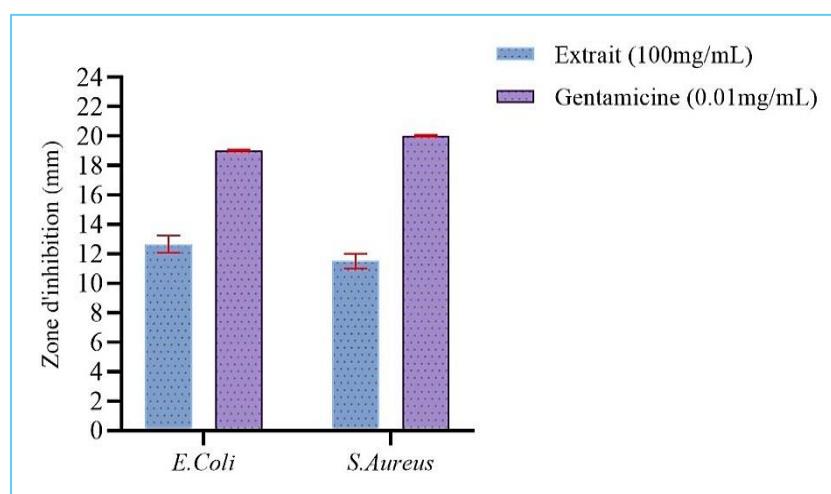
L'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique de la plante étudiée a été réalisée par la méthode de diffusion des disques sur un milieu gélosé solide (Mueller-Hinton). Dans le cadre de l'étude menée, la gentamicine est utilisée en tant que témoin positif, à savoir un antibiotique.

Cette activité est déterminée par la mesure du diamètre de la zone d'inhibition produite autour des disques contenant l'extrait et l'antibiotique après 24 heures d'incubation à une température de 37 degrés Celsius.

Dans le cadre de cette étude, les résultats de l'évaluation du potentiel antibactérien de l'extrait méthanolique et de la gentamicine sont représentés dans le tableau et la figure ci-dessous.

Tableau 12:activité antibactérienne de l'extrait méthanolique et la gentamicine.

Microorganismes	Extrait MeOH			Gentamicine (0,01mg/mL)
	100 mg/mL	50 mg/mL	25 mg/mL	
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922 (Gram -)	12,67 ± 0,58 mm	/	/	19.03±0,06 mm
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 (Gram +)	11,50 ± 0,5 mm	/	/	20.03±0,06 mm

**Figure 25:**Histogramme représente les zones d'inhibition (par mm) des souches bactériennes testées par l'extrait méthanolique et la gentamicine.

Nous remarquons que l'effet antibactérien de l'extrait méthanolique dépend de la concentration. Comme l'indiquent le tableau 12 et la figure 25, les résultats du test d'activité antibactérienne à la concentration de 100 mg/mL révèlent que les souches *E. coli* et *S. aureus* sont sensibles à l'extrait méthanolique de la plante, avec des zones d'inhibition de $12,67 \pm 0,58$ mm et $11,50 \pm 0,5$ mm, respectivement. Cependant, il a été observé que les deux souches étudiées présentent une résistance par rapport aux deux concentrations 50 mg/ml et 25 mg/ml respectivement.

Cette propriété se révèle modérée en comparaison avec celle de la gentamicine, un antibiotique de référence.

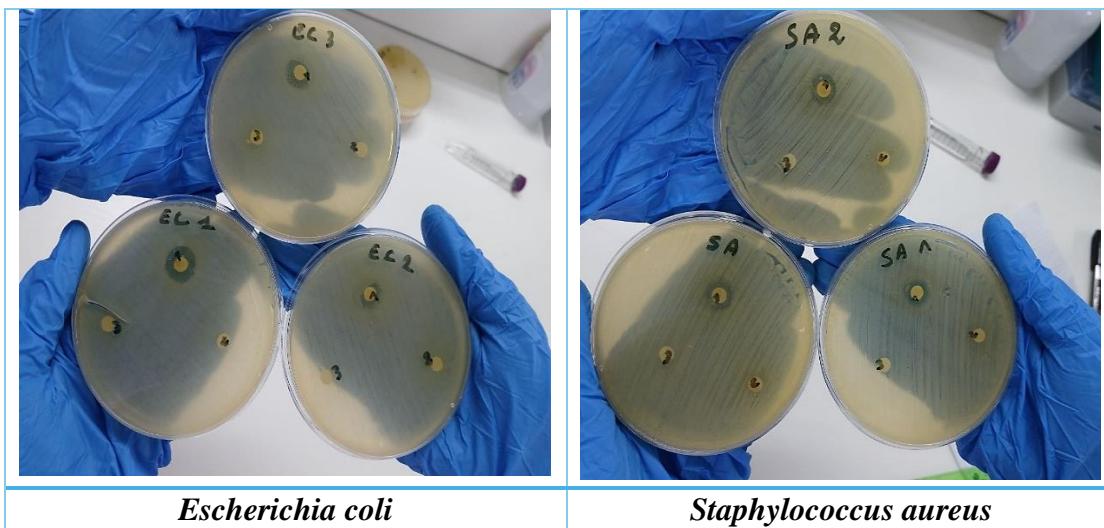


Figure 26: Photos des boîtes de pétris montrant les zones d'inhibition des bactéries.

Plusieurs études de recherches menées sur des extraits de plante appartenant au genre *Parietaria* ont montré une activité antibactérienne significative.

Les recherches menées par (Mahdavi Fikjvar et al., 2024) ont révélé que l'extrait méthanolique de *Parietaria officinalis* possédait une activité antibactérienne notable à l'encontre des deux souches bactériennes *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*.

Les études menées par Fares et al. (2013) ont révélé que les extraits aqueux et éthanoliques de *Parietaria judaica* présentent une activité antibactérienne contre la souche *Streptococcus pneumoniae*. De même, l'étude menée par (Khaledi et al., 2018) a démontré l'efficacité de l'extrait hydroéthanolique, de l'espèce *Parietaria judaica*, dans la lutte contre la bactérie *Enterococcus faecalis* ATCC 29212. Aussi l'étude menée par (Abdallah & Omar, 2019) a révélé que les extraits d'éthanol et de méthanol de *Parietaria judaica* présentent une activité antibactérienne contre la souche *Escherichia coli*.

Dans l'étude menée par Qadi et ses collaborateurs en 2020, l'efficacité antibactérienne des extraits méthanoliques, acétone et hexane de l'espèce végétale *Parietaria judaica* a été examinée. Les résultats de cette recherche ont révélé une activité antibactérienne significative contre diverses souches bactériennes, dont *Escherichia coli* ATCC25922 et *Staphylococcus aureus* ATCC25923.

Toutes ces recherches ont démontré une corrélation entre la composition chimique des extraits de plante étudiée, notamment les composés phénoliques et les flavonoïdes, et leur activité antibactérienne.

Dans ce contexte, on peut dire que l'effet antibactérien de l'extrait méthanolique étudié est attribuable à ses composants chimiques, en particulier les polyphénoles et les flavonoïdes.

II.2. Activité antioxydante

L'activité antioxydante de l'extrait hydroalcoolique (élixir méthanolique) a été évaluée par trois méthodes : DPPH, TAC et l'activité de réduction du complexe Fe^{2+} (phénanthroline).

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

Afin d'évaluer le potentiel anti-radicalaire de l'extrait méthanolique, un test de piégeage du radical libre 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH) a été réalisé. Cette évaluation a été effectuée en mesurant l'absorbance à 517 nm. Dans le cadre de ce test, l'acide ascorbique, également connu sous le nom de vitamine C, est utilisé comme étalon. La courbe d'étalonnage de cette dernière est représentée dans la figure 27.

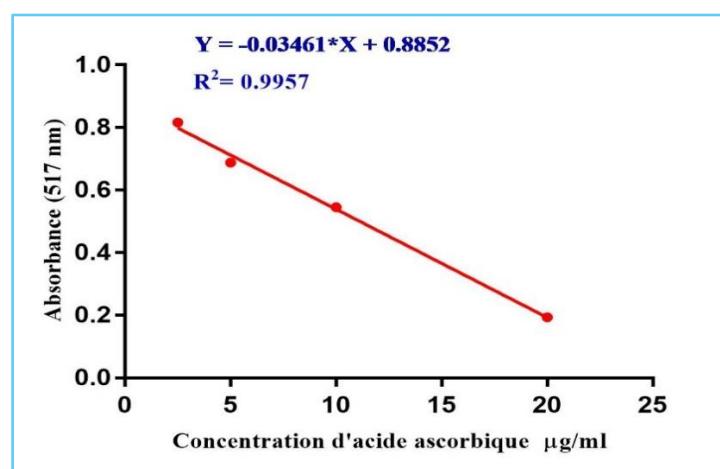


Figure 27:Courbe d'étalonnage de l'acide Ascorbique (test DPPH).

Les résultats enregistrés dans cette étude indiquent que l'extrait méthanolique ($20,10 \pm 0,29 \mu\text{g EAA /mg}$) possède un pouvoir réducteur supérieur à celui du contrôle positif BHT ($17,151 \pm 1,01 \mu\text{g EAA /mg}$) (Tableau 13).

Le pouvoir anti-radicalaire de l'extrait méthanolique de cette plante est probablement lié à sa teneur en polyphénols et flavonoïdes. En effet, nos résultats sont conformes à ceux de la littérature qui ont établi une corrélation entre la capacité anti-radicalaire des plantes et leur composition en polyphénols et flavonoïdes (Lefahal et al., 2018; Ayad et al., 2023; Makhloifi et al., 2023).

II.2.2. Capacité antioxydante totale (TAC)

La capacité antioxydante de l'extrait méthanolique a été évaluée par la méthode de phosphomolybdène. Dans le cadre de ce test, l'acide ascorbique est employé en tant que

standard, dont la courbe d'étalonnage est représentée dans la figure 28. Les données obtenues sont exprimées en $\mu\text{g EAA /mg}$.

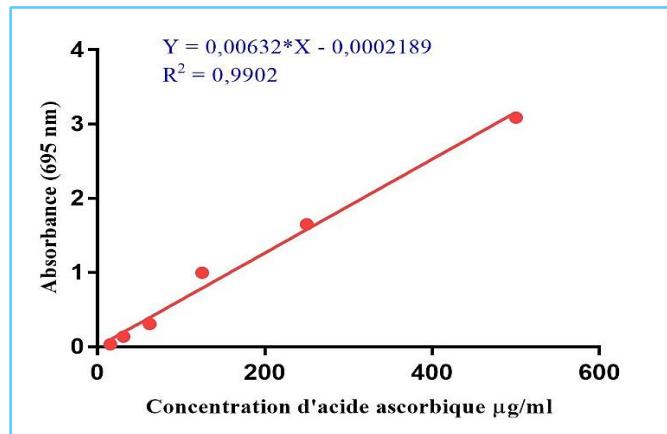


Figure 28:Courbe d'étalonnage de l'acide Ascorbique.

Les résultats de ce test révèlent que l'extrait méthanolique possède un pouvoir réducteur significatif ($43,47 \pm 0,55 \mu\text{g EAA /mg}$). Le résultat du pouvoir réducteur de l'extrait étudié dans ce test est inférieur à celui enregistré pour le BHT ($127,39 \pm 7,034 \mu\text{g EAA/mg}$) (Tableau 13).

II.2.3. Activité de réduction par la formation du complexe Fe^{+2} -phénanthroline-

Dans ce test l'antioxydant entraîne la réduction du fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}). Ce dernier réagit ensuite avec la phénanthroline pour former un complexe stable de couleur rouge-orangé dont la longueur d'onde est 510nm.

Dans ce test l'acide ascorbique est utilisé comme étalon, dont la courbe d'étalonnage est sous-représentée (Figure 29), et les résultats sont exprimés en $\mu\text{g EAA /mg}$.

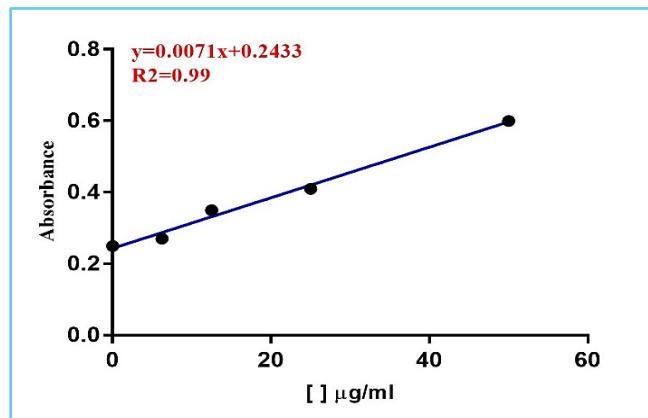


Figure 29:Courbe d'étalonnage de l'acide Ascorbique (test Phénanthroline).

Les résultats de réduction par la formation du complexe Fe^{+2} -phénanthroline- montrent que l'extrait méthanolique possède un pouvoir réducteur significatif ($19,11 \pm 0,69 \mu\text{g EAA /mg}$). Le résultat du pouvoir réducteur de l'extrait étudié dans ce test est inférieur à celui enregistré pour le BHT ($111,51 \pm 0,92 \mu\text{g EAA/mg}$), (Tableau 13).

Tableau 13:Résultats de l'activité antioxydante de l'extrait méthanolique et BHT.

Antioxidant activity	Extrait méthanolique	BHT
DPPH ($\mu\text{g AAE /mg}$)	20.10 ± 0.29	$17,151 \pm 1.01$
TAC ($\mu\text{g AAE /mg}$)	43.47 ± 0.55	$127,0397,34$
Phenanthroline ($\mu\text{g AAE /mg}$)	19.11 ± 0.69	$111,51 \pm 0,92$

L'activité biologique d'un extrait végétal est déterminée par sa composition chimique, par les groupes fonctionnels des composés majoritaires, ainsi que par leurs effets synergiques (Dorman & Deans, 2000).

Les composés phénoliques et flavonoïdes présentent des propriétés biologiques notables, notamment le potentiel antioxydant (Dehshiri et al., 2013) .Des études ont démontré une corrélation entre le potentiel antioxydant des plantes médicinales et leur teneur en polyphénols et flavonoïdes (Lefahal et al., 2022; Azzouzi et al., 2024).

Dans ce contexte, on peut dire que l'activité antioxydante de l'extrait étudié pourrait être attribuée à sa composition en polyphénols et flavonoïdes.

II.3. Evaluation de la capacité photoprotectrice

II.3.1. Profil d'absorption des rayons UV

Les extraits de plantes contiennent une variété de phytoconstituants qui présentent des propriétés d'absorption des UV, notamment les polyphénols et les flavonoïdes. Ils constituent donc un ingrédient prometteur pour la conception de nouvelles formulations d'écrans solaires respectueux de l'environnement (Azzouzi et al., 2024). Par conséquence, un vaste éventail d'ingrédients d'origine végétale est reconnu pour son utilisation dans les produits cosmétiques destinés à la protection cutanée (Ngoc et al., 2019).

Dans le cadre de l'évaluation de l'effet d'absorption des rayonnements ultraviolets (UV) de l'extrait étudiée, le spectre d'absorption UV a été enregistré. Comme l'illustre la figure 30, il a été observé que l'extrait MeOH présente une capacité d'absorption des rayonnements ultraviolets dans le domaine UVB et UVA, avec un pic de longueur d'onde maximale (λ_{max})

de 326 nm. À la lumière de ces observations, il est postulé que l'extrait en question pourrait considérer comme un agent prometteur, doté de propriétés photoprotectrices.

Afin de déterminer le potentiel photoprotecteur de l'extrait, il a été nécessaire de mesurer plusieurs paramètres, tel que le facteur de protection solaire (FPS), la longueur d'onde critique (λ_c), les ratios UVA/UVB et UVAI/UV.

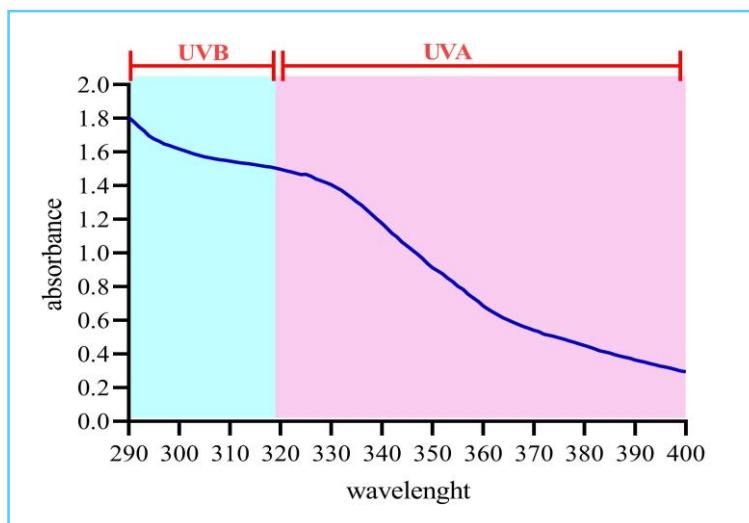


Figure 30: Profil d'absorption UV de l'extrait méthanolique.

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

Les résultats obtenus (voir figure 31 et tableau 14) mettent en évidence une corrélation entre la concentration de l'extrait étudié et les valeurs FPS. En effet, il a été observé que ces valeurs augmentent en fonction de l'augmentation de la concentration de l'échantillon.

La Commission européenne exige qu'une valeur FPS supérieure ou égale à 6 soit atteinte pour qu'un produit soit doté d'un effet photoprotecteur. En effet, les résultats enregistrés révèlent que l'extrait étudié présente un FPS de $8,68 \pm 0,06$ à une faible concentration de 0,5 mg/ml.

Dans ce contexte, l'extrait MeOH semble être un bon candidat pour la formulation d'une préparation photoprotectrice.

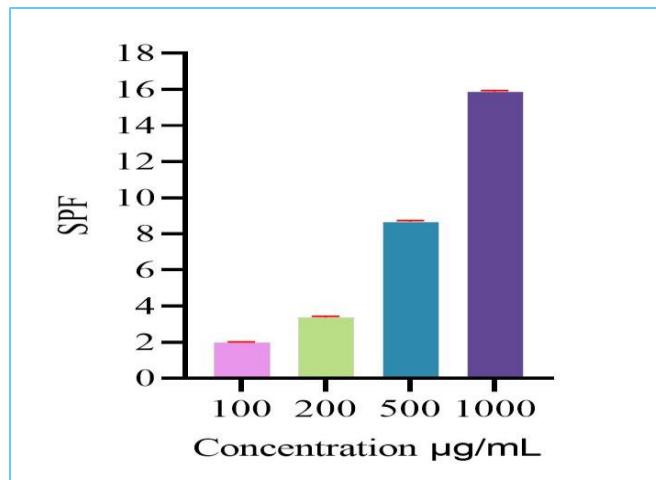


Figure 31: Facteur de protection solaire FPS de l'extrait méthanolique.

Tableau 14: Résultats de l'activité photoprotectrice.

[$\mu\text{g/ml}$]	SPF	UVA/UVB	UVAL/UV	λ_c (nm)
1000	15.87 ± 0.06	0.504 ± 0.01	0.602 ± 0.01	372 ± 0.00
500	8.68 ± 0.06	0.54 ± 0.01	0.65 ± 0.01	373.3 ± 0.00
200	3.37 ± 0.06	0.56 ± 0.003	0.67 ± 0.01	376.5 ± 0.00
100	2.00 ± 0.00	0.59 ± 0.000	0.71 ± 0.000	379 ± 0.00

Photoprotection selon la commission européenne : une faible protection ($6,0 \leq \text{FPS in vitro} \leq 14,9$), une protection moyenne ($15,0 \leq \text{FPS in vitro} \leq 29,9$), une protection élevée ($30,0 \leq \text{FPS in vitro} \leq 59,9$) et une protection très élevée ($\text{FPS in vitro} \leq 60,0$) (Fuentes et al., 2022).

II.3.3. Evaluation de la protection contre les rayonnements UVA

D'après les recommandations US-FDA (Fuentes et al., 2022), l'extrait méthanolique étudié a également montré une efficacité de photoprotection à large spectre (UVA-UVB) le fait que ($\lambda_c \geq 370$ nm).

Le rapport UVA/UVB est un indice utilisé pour évaluer la protection contre le rayonnement UVA. Les niveaux de protection sont classés selon le système d'évaluation Boots Star Rating (voir matériels et méthodes). Les résultats ont montré que l'extrait méthanolique présentait un rapport UVA/UVB de 0.54 ± 0.01 à une faible concentration de $0,5 \text{ mg/mL}$. Ces résultats suggèrent que l'extrait étudié possède une bonne activité protectrice contre les rayonnements UVA.

Par ailleurs, ces résultats sont confirmés par la valeur du rapport UVAI/UV, où l'extrait étudié a enregistré une valeur de $0,65 \pm 0,01$ à une concentration de $0,5 \text{ mg/mL}$, révélant ainsi une bonne protection contre les UVA, conformément aux recommandations de la US-FDA. L'efficacité de l'extrait en question en tant qu'agent photoprotecteur pourrait être attribuée à sa teneur en composés phénoliques et flavonoïdes. En considération de cette observation, les résultats obtenus sont en cohérence avec ceux de plusieurs auteurs qui ont établi une corrélation entre le potentiel d'absorption des UV des extraits de plantes et leurs phytoconstituants, notamment les polyphénols et les flavonoïdes (Makhloufi et al., 2023; Azzouzi et al., 2024).

II.3.4. Evaluation de la photostabilité

La photostabilité d'un produit désigne sa résistance à la dégradation sous l'effet de la lumière, notamment les rayons UV.

Les résultats de la photostabilité de l'extrait méthanolique obtenus sont représentés dans la figure et le tableau ci-dessous :

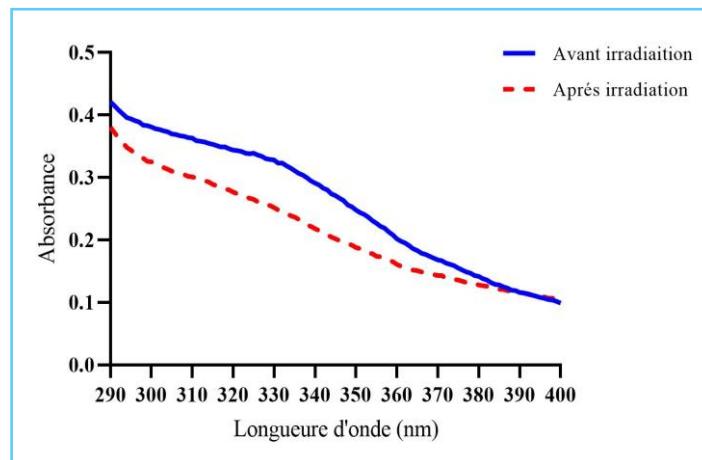


Figure 32: Profil d'absorption UV de l'extrait méthanolique avant et après irradiation.

Tableau 15: Résultats de photostabilité de l'extrait méthanolique.

Durée d'exposition au rayonnement UV (min)	Pourcentage restant de l'aire sous la courbe (%)	Stabilité
0	100	/
120	82,53	Photostable

Les résultats obtenus révèlent que l'extrait méthanolique a subi une réduction de 17,5 % de l'absorption des rayons ultraviolets. Cette observation permet de conclure que l'extrait en

question est photostable, car son absorption des rayonnements UV n'a pas présenté de forte réduction après l'irradiation.

II.3.5. Evaluation de la thermostabilité

La thermostabilité d'un produit se réfère à sa capacité à résister aux effets de la chaleur. Un produit est dit thermostable s'il reste stable et ne subit pas de dégradation significative lorsqu'il est exposé à des températures élevées.

Lors de cette étude, un test d'évaluation de thermostabilité de l'extrait méthanolique a été mis en œuvre et les résultats obtenus sont représentés dans la figure 33 et le tableau 16.

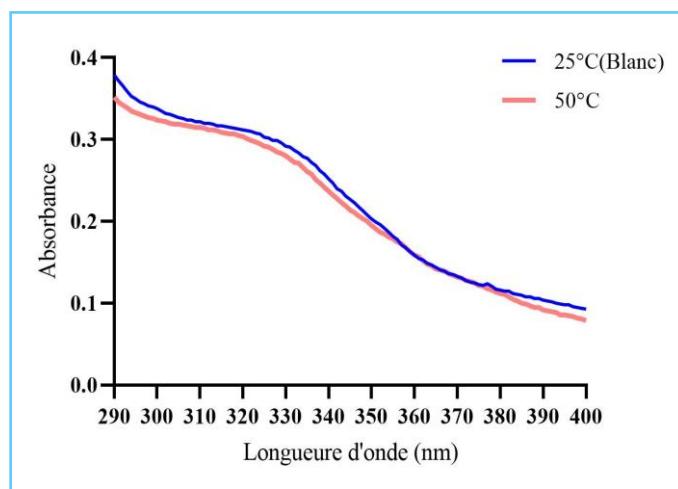


Figure 33: Profil d'absorption UV de l'extrait méthanolique à 25°C et 50°C.

Tableau 16: Résultats du test de thermostabilité de l'extrait méthanolique.

Température	Pourcentage restant de l'aire sous la courbe (%)	Stabilité
25°C	100	-
50°C	95,97	Thermotostable

En fait, les résultats enregistrés révèlent que l'extrait méthanolique présente une stabilité thermique, car après une heure d'incubation à 50 °C, il est resté stable à 95,97 %.

Les résultats du facteur de protection solaire (FPS), de la protection à large spectre (pour les rayonnements UVA), de la photostabilité et de la thermostabilité enregistrés pour l'extrait méthanolique de la plante étudiée sont très prometteurs et incitent à utiliser cet extrait dans la formulation de produits de protection solaire.

Références

- Abdallah, L., & Omar, G. (2019). Antibacterial effect of some wild medicinal plants in Palestine against multidrug resistant *Escherichia coli* clinical isolate. *Brazilian Journal of Biological Sciences*, 6(12), e370. <https://doi.org/10.21472/bjbs.061209>
- Ayad, R., Keskinkaya, H. B., Atalar, M. N., Lefahal, M., Zaabat, N., Makhloufi, E. H., Demirtas, I., Trifa, W., Akkal, S., & Medjroubi, K. (2023). *Jurinea humilis* DC. Polar Extract : HPLC Analysis, Photoprotective, Antioxidant Activities and Bioactive Content. *Chemistry Africa*, 6(2), 827-836. <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00525-y>
- Azzouzi, S., Lefahal, M., Louaar, S., Makhloufi, E.-H., Medjroubi, K., & Akkal, S. (2024). *Centaurea dimorpha* Viv. (Asteraceae) growing in Algeria extracts as a promising natural cosmetic active ingredient : Broad-spectrum photoprotection and antioxidant efficacy. *Journal of Agriculture and Applied Biology*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.11594/jaab.06.01.01>
- Dehshiri, M. M., Aghamollaei, H., Zarini, M., Nabavi, S. M., Mirzaei, M., Loizzo, M. R., & Nabavi, S. F. (2013). Antioxidant activity of different parts of *Tetrataenium lasiopetalum*. *Pharmaceutical Biology*, 51(8), 1081-1085. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.775594>
- Djelloul Karima, M., Radia, D., Nawal, Z., & Nesrine, H. (2022). Phytochemical study and evaluation of the antioxidant and antimicrobial activity of the methanolic extract of *urtica dioica*. *PLANT ARCHIVES*, 22(2), 366-375. <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2022.v22.no2.063>
- Dorman, H. J. D., & Deans, S. G. (2000). Antimicrobial agents from plants : Antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88(2), 308-316. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.00969.x>
- Fares, S., Omar, G., Abdallah, L., Almasri, M., Slaileh, A., & Zurba, Z. (2013). *Antibacterial Activity of Selected Palestinian Wild Plant Extracts against Multidrug-Resistant Clinical Isolate of Streptococcus pneumoniae*. 10.
- Fuentes, J. L., Pedraza Barrera, C. A., Villamizar Mantilla, D. A., Flórez González, S. J., Sierra, L. J., Ocazionez, 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(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/molecules27175525>

Khaledi, M., Khaledi, F., Asadi-Samani, M., Gholipour, A., & Mahmoodi Kouhi, A. (2018). Phytochemical evaluation and antibacterial effects of *Medicago sativa*, *Onosma sericeum*, *Parietaria judaica* L., *Phlomis persica* and *Echinophora platyloba* DC. on *Enterococcus faecalis*. *Biomedical Research and Therapy*, 5(1), 1941-1951. <https://doi.org/10.15419/bmrat.v5i1.408>

Lefahal, M., Zaabat, N., Ayad, R., Makhloifi, 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(2), 26. <https://doi.org/10.3390/medicines5020026>

Lefahal, M., Makhloifi, E.-H., Boussetla, A., Ayad, R., Rayane, S. A., & Akkal, S. (2022). Isoorientin Isolated from the Algerian Halophyte *Limonium thouinii* (Viv.) Kuntze as a Multifunctional Cosmetic Ingredient: Antioxidant and Photoprotective Effects Evaluation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 92(4), 889-896. <https://doi.org/10.1007/s40011-022-01380-0>

Mahdavi Fikjar, E., Golmohammadi, S., & Jalali, A. (2024). The Volatile Constituents and Antimicrobial Analysis of *Parietaria Officinalis* from the Northern Part of Iran, Guilan Province. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 20(4). <https://doi.org/10.22037/ijps.v20i4.44928>

Makhloifi, E.-H., Lefahal, M., Ayad, R., Cakmak, Y. S., Nieto, G., & Akkal, S. (2023). *Helosciadium crassipes* Koch (Apiaceae) extracts as natural sunscreen and preservative additives. *Notulae Scientia Biologicae*, 15(4), 11639. <https://doi.org/10.55779/nsb15411639>

Mzid, M., Ben Khedir, S., Ben Salem, M., Regaieg, W., & Rebai, T. (2017). Antioxidant and antimicrobial activities of ethanol and aqueous extracts from *Urtica urens*. *Pharmaceutical Biology*, 55(1), 775-781. <https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1275025>

Ngoc, L. T. N., Tran, V. V., Moon, J.-Y., Chae, M., Park, D., & Lee, Y.-C. (2019). Recent Trends of Sunscreen Cosmetic : An Update Review. *Cosmetics*, 6(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/cosmetics6040064>

Qadi, M., Jaradat, N., Al-lahham, S., Ali, I., Abualhasan, M. N., Shraim, N., Hussein, F., Issa, L., Mousa, A., Zarour, A., Badrasawi, A., Baarah, A. M., & Al-Omari, R. (2020). Antibacterial, Anticandidal, Phytochemical, and Biological Evaluations of Pellitory Plant. *BioMed Research International*, 2020(1), 6965306. <https://doi.org/10.1155/2020/6965306>

Tarasevičienė, Ž., Vitkauskaitė, M., Paulauskienė, A., & Černiauskienė, J. (2023). Wild Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.) Leaves and Roots Chemical Composition and Phenols Extraction. *Plants*, 12(2), 309. <https://doi.org/10.3390/plants12020309>



Conclusion



Conclusion

Dans le présent travail, nous avons procédé à une analyse qualitative et quantitative des métabolites secondaires et à l'évaluation des activités antibactérienne, antioxydante et photoprotectrice d'une plante médicinale algérienne appartenant au genre *Parietaria* famille des Urticacées.

Les résultats obtenus lors du screening phytochimique ont révélé la présence de différentes familles de métabolites secondaires, dont les flavonoïdes, les tanins, les alcaloïdes, les phénols et les coumarines.

Le dosage des polyphénols et des flavonoïdes a respectivement été réalisé par les méthodes photospectrométriques. Les résultats obtenus ont révélé la présence de quantités significatives de ces métabolites.

L'évaluation de l'activité antibactérienne vis-à-vis les souches *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* a démontré que l'extrait méthanolique possède un effet inhibiteur plus ou moins important.

Concernant l'évaluation de l'activité antioxydante, trois méthodes *in vitro* ont été employées (DPPH, TAC et phénanthroline). Les résultats ont démontré que l'extrait méthanolique possède une activité antioxydante significative selon les trois méthodes d'évaluation.

L'effet photoprotecteur de l'extrait méthanolique a été évalué selon plusieurs paramètres. Tout d'abord, le facteur de protection solaire (FPS) a été mesuré afin de déterminer la capacité de protection de l'extrait contre les rayonnements UVB. Ensuite, la longueur d'onde critique (λ_c), ainsi que les ratios UVA/UVB et UVAI/UV ont été calculés afin d'évaluer la photoprotection contre les rayonnements UVA. Les résultats obtenus ont démontré l'efficacité photoprotectrice de l'extrait méthanolique, conformément aux recommandations de la Commission européenne et du US-FDA. En effet, il a été observé que l'extrait en question possède un bon effet photoprotecteur à une faible concentration de 0,5 mg/mL (FPS= $8,68 \pm 0,06$), ($\lambda_c = 373,3$), (UVA/UVB= $0,54 \pm 0,01$) et (UVAI/UV= $0,65 \pm 0,01$). Par ailleurs, les tests de thermostabilité et de photostabilité ont montré que l'extrait méthanolique conservait ses propriétés photoprotectrices après incubation à des températures élevées et une exposition prolongée aux rayonnements ultraviolets, ce qui renforce son intérêt en tant qu'ingrédient actif stable et efficace. D'après les résultats obtenus, cet extrait pourrait servir d'ingrédient cosmétique de valeur dans divers produits en raison de sa capacité d'absorption des radiations ultraviolettes.

L'ensembls de ces résultats obtenus ouvre des opportunités d'exploitation de cette plante pour divers usages et représente seulement un point de départ dans le domaine de la recherche de substances naturelles ayant une activité biologique. Des tests *in vitro* et *in vivo* supplémentaires seront nécessaires pour valider les activités mises en évidence.



Summary



The main objective of this study is to highlight the biological potential of a medicinal Algerian plant belonging to the genus *Parietaria* (family Urticaceae), in relation to its secondary metabolites and its possible applications in photoprotection

A phytochemical screening of the plant's aerial parts revealed the presence of various potentially active compounds, including alkaloids, flavonoids, phenols, tannins, and coumarins. Quantitative analysis showed a significant content of polyphenols ($19.60 \pm 0.14 \mu\text{g GAE/mg}$) and flavonoids ($10.70 \pm 0.04 \mu\text{g QE/mg}$), indicating promising antioxidant potential.

The antibacterial activity of the extract was assessed using the agar diffusion method on two reference strains, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The results demonstrated a moderately strong inhibitory effect, suggesting noteworthy antimicrobial activity.

The antioxidant capacity was evaluated through three *in vitro* assays (DPPH, TAC, and phenanthroline), showing significant free radical scavenging activity with values of $20.10 \pm 0.29 \mu\text{g AAE/mg}$ (DPPH), $43.47 \pm 0.55 \mu\text{g AAE/mg}$ (TAC), and $19.11 \pm 0.69 \mu\text{g AAE/mg}$ (phenanthroline).

Photoprotective activity was assessed by measuring parameters such as the Sun Protection Factor (SPF), critical wavelength (λ_c), UVA/UVB ratio, and UVAI/UV ratio. The extract showed significant absorption in the UVB and UVA regions, with notable photoprotective effects at a low concentration (0.5 mg/mL). In addition, photostability and thermostability tests were carried out to study the behavior of the extract in prolonged light and at high temperatures.

Overall, the results of this study suggest that the investigated plant can be considered a potential natural photoprotective agent for use in cosmetic formulations.

Keywords: Urticaceae, *Parietaria*, phytochemical screening, antibacterial activity, antioxidant activity, photoprotection.



Résumé



L'objectif principal de cette étude est de mettre en évidence les potentialités biologiques d'une plante médicinale algérienne appartenant au genre *Parietaria* de la famille des Urticacées, en lien avec ses métabolites secondaires et ses éventuelles applications dans le domaine de la photoprotection.

Le screening phytochimique des parties aériennes a révélé la présence de certaines substances potentiellement actives tels que : les alcaloïdes, les flavonoïdes, les phénols, les tannins et les coumarines.

L'appréciation de la teneur en polyphénols et en flavonoïdes a bien montré que notre extrait végétal contient une quantité significative de polyphénols ($19,60 \pm 0,14 \mu\text{g EAG/mg}$) et de flavonoïdes ($10,70 \pm 0,04 \mu\text{g QE/mg}$). En outre, l'activité antibactérienne a été évaluée selon la méthode de diffusion en milieu gélosé sur deux souches testées d'*Escherichia coli* et de *Staphylococcus aureus*. Les résultats ont révélé que l'extrait étudié possède un effet inhibiteur plus ou moins important.

L'évaluation du potentiel antioxydant a été effectuée par trois tests *in vitro* (DPPH, TAC et phénanthroline) et les résultats ont confirmé l'effet antioxydant de l'extrait de cette plante : $20,10 \pm 0,29 \mu\text{g EAA/mg}$ pour le DPPH, $43,47 \pm 0,55 \mu\text{g EAA/mg}$ pour le TAC et $19,11 \pm 0,69 \mu\text{g EAA/mg}$ pour la phénanthroline.

L'activité photoprotectrice a été évaluée en mesurant les paramètres FPS, λ_c , UVA/UVB et UVAI/UV. Les résultats obtenus ont montré que l'extrait absorbait le rayonnement UV dans les régions spectrales UVB et UVA, avec une activité photoprotectrice significative à faible concentration (0,5 mg/mL). En outre, l'étude du comportement de l'extrait à la lumière prolongée et à des températures élevées a été menée par le biais de tests de photostabilité et de thermostabilité.

Dans l'ensemble, les résultats de notre étude indiquent que la plante étudiée peut être utilisée comme agent protecteur contre les rayons UV dans diverses formulations cosmétiques.

Mots-clés : Urticacées, *Parietaria*, screening phytochimique, activité antibactérienne, activité antioxydante, activité photoprotectrice.



ملخص



الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تسلیط الضوء على الإمکانیات البيولوژیة للنبتة الطیبیة الجزائریة المنتتمیة إلى جنس من عائلة *Urticaceae*، وذلك فيما يتعلق بمرکبات أیضاً ثانوی وبنطیقاتها المحتملة في مجال الحمایة من الأشعة فوق البنفسجیة.

کشف الفحص الفیتوکیمیائی للأجزاء الھوائیة للنبتة عن وجود بعض المرکبات الفعالة المحتملة مثل: القلوریدات، الفلافونویدات، الفینولات، التانینات، والکومارینات.

أظهر القياس الکمی المتعلق بمحتوی البولیفینولات والفلافونویدات أن المستخلص النباتي يحتوي على كمية معنبرة من البولیفینولات ($19,60 \pm 0,14 \mu\text{g EAG/mg}$) والفلافونویدات ($10,70 \pm 0,04 \mu\text{g QE/mg}$) علاوة على ذلك، تم تقيیم النشاط المضاد للبکتیریا باستخدام طریقة الانتشار في الوسط الجیلاتینی على سلالات *Escherichia coli* و *Staphylococcus aureus*، وأظهرت النتائج أن المستخلص النباتي يمتلك تأثیراً مثبّطاً متقاویاً على هذه الكائنات الحیة.

تم إجراء تقيیم إمکانات النشاط المضاد للأکسدة باستخدام ثلاثة اختبارات (TAC، DPPH و phénanthroline)، وقد أکدت النتائج وجود تأثیر جيد للمستخلص النباتي كمضاد للأکسدة: ($20,10 \pm 0,29 \mu\text{g EAA/mg}$) في اختبار DPPH ، ($19,11 \pm 0,69 \mu\text{g EAA/m}$) في اختبار TAC و ($0,55 \mu\text{g EAA/m}$) في اختبار phénanthroline.

تم تقيیم النشاط الحامی ضد الأشعة فوق البنفسجیة عن طریق قیاس عدة معايیر تشمل λ_c ، FPS ، λ_c ، UVA/UVB و UVAI/UV. وقد أظهرت النتائج أن المستخلص يمتص الأشعة فوق البنفسجیة في النطاقات الطیفیة UVB و UVA ، مع نشاط حامی ملحوظ ضد الأشعة فوق البنفسجیة حتى عند التركیزات المنخفضة ($0.5 \mu\text{g/mL}$). بالإضافة إلى ذلك، أجريت اختبارات الثبات الضوئی والثبات الحراري لدراسة سلوك المستخلص في الضوء لفترات طویلة وفي درجات الحرارة العالیة.

بناءً على هذه النتائج، يمكن الاستنتاج أن النبتة المدروسة قد تكون قادرة على تقديم تطبيقات فعالة كمادة واقیة ضد الأشعة فوق البنفسجیة في التركیبات التجمیلیة المختلفة.

الكلمات المفتاحیة: *Parietaria*، *Urticaceae*، الفحص الفیتوکیمیائی، النشاط المضاد للبکتیریا، النشاط المضاد للأکسدة، الحامی النشاط الحامی ضد الأشعة فوق البنفسجیة.

Criblage phytochimique et évaluation des propriétés antibactériennes, antioxydantes et photoprotectrices d'une plante médicinale appartenant de la famille des Urticaceae.

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master II en Biochimie Appliquée

L'objectif principal de cette étude est de mettre en évidence les potentialités biologiques d'une plante médicinale algérienne appartenant au genre *Parietaria* de la famille des Urticacées, en lien avec ses métabolites secondaires et ses éventuelles applications dans le domaine de la photoprotection.

Le screening phytochimique des parties aériennes a révélé la présence de certaines substances potentiellement actives tels que : les alcaloïdes, les flavonoïdes, les phénols, les tannins et les coumarines.

L'appréciation de la teneur en polyphénols et en flavonoïdes a bien montré que notre extrait végétal contient une quantité significative de polyphénols ($19,60 \pm 0,14 \mu\text{g EAG/mg}$) et de flavonoïdes ($10,70 \pm 0,04 \mu\text{g QE/mg}$). En outre, l'activité antibactérienne a été évaluée selon la méthode de diffusion en milieu gélosé sur deux souches testées d'*Escherichia coli* et de *Staphylococcus aureus*. Les résultats ont révélé que l'extrait étudié possède un effet inhibiteur plus ou moins important.

L'évaluation du potentiel antioxydant a été effectuée par trois tests *in vitro* (DPPH, TAC et phénanthroline) et les résultats ont confirmé l'effet antioxydant de l'extrait de cette plante : $20,10 \pm 0,29 \mu\text{g EAA/mg}$ pour le DPPH, $43,47 \pm 0,55 \mu\text{g EAA/mg}$ pour le TAC et $19,11 \pm 0,69 \mu\text{g EAA/mg}$ pour la phénanthroline.

L'activité photoprotectrice a été évaluée en mesurant les paramètres FPS, λ_c , UVA/UVB et UVAI/UV. Les résultats obtenus ont montré que l'extrait absorbait le rayonnement UV dans les régions spectrales UVB et UVA, avec une activité photoprotectrice significative à faible concentration (0,5 mg/mL).

En outre, l'étude du comportement de l'extrait à la lumière prolongée et à des températures élevées a été menée par le biais de tests de photostabilité et de thermostabilité.

Dans l'ensemble, les résultats de notre étude indiquent que la plante étudiée peut être utilisée comme agent protecteur contre les rayons UV dans diverses formulations cosmétiques.

Mots-clés : Urticacées, *Parietaria*, screening phytochimique, activité antibactérienne, activité antioxydante, activité photoprotectrice.

Laboratoires de recherche : Unité de Valorisation des Ressources Naturelles, Molécules Bioactives et Analyses Physico-chimiques et Biologiques et Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBT) à Constantine.

Présenté et soutenu par : KHELIFI Nada et BOUAOUNE Roumaissa

Jury d'évaluation :

Présidente : Dr. OUELBANI Rayene

(MCB – Université Constantine 1 Frères Mentouri).

Encadrante : Dr. AZZOUZI Salima

(MCA- Université Constantine 3 Salah Boubnider).

Examinateur : Dr. LAFEHAL Mostafa

(MCA- Université Constantine 3 Salah Boubnider).

Date de soutenance : 24/06/2025

