

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI Mokhtar Annaba University
Université BADJI Mokhtar – Annaba
Faculté des Sciences



جامعة باجي مختار – عنابة

كلية العلوم

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Thèse

Présentée pour obtenir le diplôme de

Doctorat Troisième Cycle

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biologie Végétale et Pharmacognosie

Par :

M^{me} HARSA Bouchra

Thème :

Étude ethno-pharmacologique et activité biologique d'une plante médicinale *Pallenis hierichuntica* de la région de Tébessa.

Thèse soutenue le 07/06/2026 devant le jury composé de :

N°	Nom et prénom	Grade	Etablissement	Qualité
01	HAMEL Tarek	Prof.	Université BADJI Mokhtar -Annaba	Président
02	SERIDI Ratiba	Prof.	Université BADJI Mokhtar -Annaba	Rapporteur
03	SADOU Nina	Prof.	Université BADJI Mokhtar -Annaba	Co-rapporteur
04	BOUDIAF Imen	MCA	Université BADJI Mokhtar -Annaba	Examineur
05	MAALEM Souhail	Prof.	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi - Tébessa	Examineur
06	BOUGHENDJIOUA Hicham	Prof.	ENSET Skikda	Examineur

Année universitaire : 2025/2026

Avant-Propos

Les recherches présentées dans ce travail ont été menées en collaboration avec les institutions et les laboratoires suivants :

- Laboratoire de Biologie Végétale et Environnement, Université BADJI Mokhtar Annaba, Algérie ; Sous la direction de Pr. Ratiba SERIDI.
- Unité de recherche : Valorisation des ressources Naturelles, Molécules Bioactives et Analyses physico-chimiques et biologiques (VARENBIOMOL), Faculté des Sciences Exactes, Département de Chimie, Université Frères MENTOURI Constantine, Algérie.
- Centre de Recherche scientifique et technique en Analyses Physico-Chimique (CRAPC), Annexe de Ouargla, Algérie.
- Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBt), Wilaya de Constantine, Algérie.
- Conservation des forêts de la Wilaya de Tébessa, Algérie.
- Département de Chimie analytique, Faculté de Pharmacie, Université de Dicle, Turquie.
- Laboratoire de Valorisation et Promotion des Ressources Sahariennes (VPRS), Université KASDI Merbah Ouargla, Algérie.
- Ferial SPA- Société des Fertilisants d'Algérie.
- Département de Biologie animale, Université de Constantine 1 (UMC), Algérie.
- Département de Biologie animale, Université de Batna, Algérie.
- Département de Biologie, Université de Tébessa (Echikh Larbi Tbessi), Algérie.



REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Madame la Professeure **SERIDI Ratiba**, directrice de ma thèse, pour avoir accepté de m'encadrer après le changement de sujet, dans lequel je n'avais pas trouvé ma passion, et pour son soutien constant. Je suis profondément inspirée par son engagement envers l'excellence académique et par sa conviction que la passion est essentielle pour réaliser un travail scientifique de qualité. Je lui suis infiniment reconnaissante pour son encouragement inestimable et sa confiance indéfectible tout au long de ce parcours. Merci pour votre dévouement constant et pour la foi que vous avez toujours placée en moi.

J'exprime également ma profonde reconnaissance à Madame la Professeure **SADOU Nina**, co-directrice de cette thèse, pour son accompagnement bienveillant, ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long de ce travail. Son soutien scientifique et moral a été déterminant dans l'orientation et l'aboutissement de cette recherche. Je lui adresse mes sincères remerciements pour son implication, sa rigueur et sa gentillesse. Sa présence discrète mais essentielle a profondément marqué cette expérience humaine et scientifique.

Je remercie sincèrement les **membres du jury** d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur le Professeur **HAMEL Tarek**, Président du jury, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider cette soutenance et pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

Ma reconnaissance s'adresse également à Madame la Maître de Conférences A, **BOUDIAF Imen**, à Monsieur le Professeur **MAALEM Souhail** et à Monsieur le Professeur **BOUGHENDJIOUA Hicham**, pour leurs remarques pertinentes, leurs suggestions constructives et leur contribution précieuse à l'enrichissement de cette thèse.

À vous tous, j'exprime ma sincère reconnaissance pour le temps que vous avez consacré à la lecture, à l'évaluation et à l'amélioration de ce travail.

Mes sincères remerciements vont à Madame la Professeure **MEKKIOU Ratiba** pour son soutien exceptionnel et ses conseils avisés tout au long de cette aventure de recherche. Son expertise, sa patience et sa disponibilité ont constitué des piliers essentiels dans l'achèvement de cette thèse. Je lui suis profondément reconnaissante pour ses orientations éclairées et son accompagnement inestimable. Merci du fond du cœur pour tout ce qu'elle a fait pour moi.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude à **toutes les universités et laboratoires** ayant contribué à l'accomplissement de ce travail. Grâce à leur soutien, j'ai pu mener à bien une partie essentielle de cette étude et finaliser ce projet de recherche.

Dédicaces et Remerciements

À ma famille et à mon époux

Je dédie ce travail à ma famille bien-aimée et à mon époux, pour leur amour inconditionnel, leur patience et leur soutien constant. Leur appui matériel et moral a été essentiel à la réalisation de cette thèse.

À ma mère

À ma chère maman, source de tendresse et de prières sincères, qui m'a transmis l'amour du savoir et la patience sur son chemin. Je te dédie ce travail en témoignage de mon amour et de ma reconnaissance, et je prie Dieu de te protéger et de te garder comme une couronne sur ma tête.

À la famille maternelle

À la famille de ma mère, qui m'a toujours entourée d'affection et d'attention. Merci à mes tantes et mes oncles pour leurs encouragements, leurs mots bienveillants et leur présence réconfortante à chaque étape de ce parcours. Votre chaleur et votre soutien sincère ont laissé en moi une empreinte indélébile.

À mon père

J'exprime mes sentiments les plus profonds de gratitude et de reconnaissance à la mémoire de mon père, Tayeb le bienveillant, dont l'amour et la générosité ont été pour moi une source d'inspiration inestimable tout au long de ma vie. Bien qu'il ne soit plus parmi nous, son héritage de bonté et de sagesse continue d'éclairer mon chemin. Je prie Dieu Tout-Puissant de l'envelopper de Sa miséricorde et de le récompenser pour tout le bien qu'il a accompli.

À mes grand-mères et à mon grand-père

Je prie Dieu d'accorder Sa miséricorde à mes deux grand-mères et de les accueillir dans Son vaste paradis.

J'adresse également toute mon affection et ma gratitude à mon grand-père maternel, symbole de sagesse, de générosité et de modestie.

Sa présence bienveillante et son soutien constant ont toujours été pour moi une source de réconfort et de fierté.

À mes sœurs

À mes trois sœurs bien-aimées pour votre affection, votre soutien moral et vos encouragements constants.

Votre amour et votre présence ont toujours été pour moi un appui précieux et une source de sérénité tout au long de ce parcours.

À ma fille bien-aimée

À ma fille chérie, ma fleur âgée de trois ans, dont la pureté et le sourire lumineux ont été la lumière de mes jours et la force qui m'a poussée à avancer.

Son rire fut la musique du réconfort dans les moments de fatigue, et son regard innocent une promesse d'un avenir meilleur.

À toi, ma petite, je dédie le fruit de mon labeur et la fierté de ma vie.

À mes amis proches

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à mes amis proches, pour leur écoute, leur compréhension et leur présence constante à mes côtés, même dans les moments les plus difficiles de ce travail.

Merci d'avoir toujours été là, avec tant de patience et de gentillesse.

Je souhaite adresser une mention particulière à mon amie chère Jaâfri Sabrina, pour son soutien indéfectible, ses encouragements et son amitié précieuse dont je suis profondément reconnaissante.

À tous

Enfin, j'exprime ma gratitude à toutes celles et ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse.

Même ceux dont les attitudes ont rendu le chemin plus difficile ont, sans le savoir, renforcé ma détermination et ma persévérance.

À vous tous, merci pour votre aide, vos conseils et la trace que vous avez laissée dans ce travail, contribuant, d'une manière ou d'une autre, à son achèvement.

Productions scientifiques

Productions scientifiques effectués dans le cadre du sujet de thèse :

✓ **Publications scientifiques (2) :**

Bouchra HARSA, Ratiba SERIDI, Ratiba MEKKIOU, Abdeldjalil KERKABOU, Nina SADOU, Chawki BENSOUICI and Amina CHOUH. Phytochemical screening and biological activities of *Pallenis hierichuntica* extracts during fructification in the Betita region, Algeria. 2024, 6(14). <https://doi.org/10.48047/AFJBS.6.14.2024.10046-10059>

LC/MS-MS analysis, biological activities of all flowering period parts of an Algerian *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter. (Article soumis à une revue internationale à comité de lecture).

✓ **Communications internationales (2) :**

Bouchra HARSA, Ratiba SERIDI, Ratiba MEKKIOU, Sabrina HARSA, Nina SADOU and Mustafa Abdullah YILMAZ. Histological study and LC-MS/MS analysis of a medicinal plant (*Pallenis sp.*) from the semi-arid region of Tebessa, Algeria. II. International Biological and Life Sciences Congress (BIOLIC), October 30 to 01, 2024, Megasaray Westbeach Hotel, Antalya, Turkey.

Bouchra HARSA, Ratiba SERIDI, Ratiba MEKKIOU, Abdeldjalil KERKABOU, Nina SADOU, Chawki BENSOUICI. Phytochemical composition and antioxidant activity of aerial parts of *Pallenis sp.* During the fructification period In Algeria. VI. International Agricultural, Biological & Life Science Conference (AGBIOL), September 18 to 20, 2024, Edirne, Turkey.

✓ **Communications nationales (5) :**

Bouchra HARSA, Ratiba SERIDI, Nina SADOU et Ratiba MEKKIOU. Potentiel antidiabétique in vitro et activité inhibitrice enzymatique des extraits de *Pallenis hierichuntica* provenant de régions semi-arides d'Algérie. 3^{ème} Séminaire National Univers, Terre, Nature & Vie SNV-STU. 27 et 29 septembre 2025, Tlemcen.

Bouchra HARSA, Ratiba SERIDI, Ratiba MEKKIOU, Abdeldjalil KERKABOU, Nina SADOU and Chawki BENSOUICI. Valorisation thérapeutique de *Pallenis hierichuntica* en période de fructification : approche phytochimique et bioactivité appliquée à l'usage traditionnel. 2^{ème} Symposium national de Biologie & Pharmacotoxicologie : Bioproduits des PAM (Plantes aromatiques et médicinales). 28, 29 mai 2025, Blida.

Bouchra HARSA, Ratiba SERIDI, Nina SADOU, Ratiba MEKKIOU, et Chawki Bensouici. Activité antioxydante et indice SPF d'une espèce des *Asteraceae* : Evaluation chimique et dosage des composés bioactifs. Conférence nationale sur la phyto-biotechnologie (2e édition). Le 12 et 13 Novembre 2024. El-Tarf. Université de Chadli Bendjedid-El-Tarf.

Bouchra HARSA, Ratiba SERIDI, Nina SADOU. L'exploitation durable de *Pallenis hierichuntica* : Méthodologie de récolte et de séchage pour préserver les propriétés biologiques. 2^{ème} séminaire National des Plantes Aromatiques et Médicinales de l'Est Algérien (SNPAMEA-2). Le 13 et 14 Octobre 2024. Azzaba- Skikda. Ecole Normale Supérieure d'enseignement Technologique de Skikda.

Bouchra HARSA, Ratiba SERIDI, Nina SADOU, Ratiba MEKKIOU, Abdeldjalil KERKABOU, et Chawki BENSOUICI. Évaluation phytochimique et activité antioxydante des racines de *Pallenis hierichuntica* pendant la période de fructification dans la région de Tébessa, Algérie. 2^{ème} Séminaire National des Plantes Aromatiques et Médicinales de l'Est Algérien (SNPAMEA-2). Le 13 et 14 Octobre 2024. Azzaba- Skikda. Ecole Normale Supérieure d'enseignement Technologique de Skikda.

✓ **Autres publications scientifiques réalisées durant la période de la thèse (3) :**

Fairouz REMOUCHE, Allal HAMZA, Abdeldjalil KERKABOU, **Bouchra HARSA**, Ratiba MEKKIOU, Diana C.G.A. PINTO and Artur M.S. SILVA. Chemical profiling, DFT and docking calculations of Petroleum ether extract from Algerian *Suaeda fruticosa* Forssk. Ex J.F.Gmel. 2025, AFJBS.

Abdeldjalil KERKABOU, Nabila SLOUGUI, Manel BOUMARAF, **Bouchra HARSA**, Anter BOUCHAALA, Chawk BENSOUICI, Ratiba MEKKIOU. GC-MS Characterization and Bioactivity Study of *Oudneya africana* leaves Essential Oil: Antidiabetic, Antimicrobial and Photoprotective activities. 2025, Chemistry and Biodiversity. (<https://doi.org/10.1002/cbdv.202403227>)

Hindel FATMI, Souhail MAALEM, **Bouchra HARSA**, Ahmed DEKAK and Haroun CHENCHOUNI. Pollen morphological variability correlates with a large-scale gradient of aridity. 2020. (<https://doi.org/10.5194/we-20-19-2020>)

Abréviations

Liste des abréviations

A_{0.5}	Concentration de l'échantillon correspondant à une absorbance de 0.5 (Absorbance at 0.5)
ABS	Access and Benefit-Sharing (Accès et partage des avantages)
Abs(λ)	Absorbance at wavelength λ (Absorbance à la longueur d'onde λ)
ABTS	2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique)
ACE	Angiotensin-Converting Enzyme (Enzyme de conversion de l'angiotensine)
AFNOR	Association Française de Normalisation
ANOVA	Analysis of Variance (Analyse de la variance)
BHA	Butyl Hydroxy Anisole
BHT	Butyl Hydroxy Toluène
BSA	Bovine Serum Albumin (Albumine sérique bovine)
°C	Degré Celsius
CDB	La Convention sur la diversité biologique
CE	Collision Energy (Énergie de collision)
CE (Sol)	Conductivité Électrique (Electrical Conductivity)
CI	Indice d'importance culturelle
CITES	Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction
CLPE	Consentement libre, préalable et éclairé
CLSI	Clinical and Laboratory Standards Institute (Institut des normes cliniques et de laboratoire)
Cm	Centimètre
CMI	Concentration Minimale Inhibitrice
Coss.	Cosson (abréviation d'auteur botanique)
CRAPC	Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-Chimiques
CUPRAC	Cupric Reducing Antioxidant Capacity (Capacité antioxydante réductrice du cuivre)
DC.	De Candolle (abréviation d'auteur botanique)
DPPH	1,1-Diphényl-2-PicrylHydrazyl
E	Echantillon
E	East (Est – Longitude est)
EAG	Équivalent d'Acide Gallique (Gallic Acid Equivalent, GAE)
EDQM	European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare (Direction Européenne de la Qualité du Médicament et des Soins de Santé)
EE (λ)	Erythema Effect Spectrum at wavelength λ (Spectre d'efficacité érythémale à la longueur d'onde λ)
ENSA	École Nationale Supérieure Agronomique (Alger)
EQ	Equivalent de Quercétine
ES	Extrait sec

ET	Écart-type
Euro+Med	Euro+Med PlantBase
Ev	electronvolt (électron-volt)
F	Feuille
FAO	Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
FC	Facteur de correction (selon contexte statistique)
FeCl₃	Chlorure ferrique
FL	Fidelity Level (le niveau de fidélité)
Fl	Floraison
Fle	Inflorescences
FPS	Facteur de Protection Solaire (Sun Protection Factor : SPF)
Fr	Fructification
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power (Pouvoir antioxydant réducteur du fer)
Fru	Fruit
G	Gramme
GACP	Good Agricultural and Collection Practices (Bonnes Pratiques Agricoles et de Récolte)
GAE	Gallique Acid Equivalent (Équivalent en acide gallique : EAG)
GC-MS	Gas Chromatography-Mass Spectrometry (Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse)
GPS	Global Positioning System
H	Heure
HCl	Acide chlorhydrique
HPLC	Chromatographie en phase liquide à haute performance
H₂SO₄	Acide sulfurique
I (λ)	Solar Intensity Spectrum at wavelength λ (Intensité solaire à la longueur d'onde λ)
IAR	Informant Agreement Ratio (Taux d'accord des informateurs)
IC₅₀	Inhibitory Concentration 50 (Concentration inhibitrice 50 % : CI ₅₀)
ICF	Informant Consensus Factor (Facteur de consensus des informateurs)
IF (m/z)	Ion Fille (Fragment Ion, Product Ion, rapport masse/charge)
IL-6	Interleukin-6 (Interleukine-6)
IM	Ion Moléculaire (Molecular Ion)
ISE	International Society of Ethnobiology (La société internationale de l'ethnobiologie)
ISO	International Organization for Standardization (Organisation internationale de normalisation)
IUCN (UICN)	International Union for Conservation of Nature (Union internationale pour la conservation de la nature)
J	Jour

Kew	Jardins botaniques royaux de Kew
KI (GC-MS)	Kovats Index (Indice de Kovats, indice de rétention)
KI	Potassium Iodide (Iodure de potassium)
KSA	Kingdom of Saudi Arabia (Royaume d'Arabie Saoudite)
L	Litre
LC-MS/MS	Chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem
LOX	Lipoxygénase
MAT	Mutually Agreed Terms (Termes convenus d'un commun accord)
MeOH	Méthanol
még	milléquivalent (milliequivalent)
Mg	Milligramme
MI	Mitotic Index (Indice mitotique)
MIC	Minimum Inhibitory Concentration (Concentration Minimale Inhibitrice : CMI)
Min	Minute
mL	Millilitre
mm	Millimètre
mM	Millimolaire
MN	Micronucleus (Micronoyau(x))
MRM	Multiple Reaction Monitoring (Surveillance de Réactions Multiples)
mS	millisiemens
n	nombre d'échantillons ou de répétitions
N (GPS)	North (Nord - Latitude nord)
N₂	Nitrogen (Azote, gaz diazote)
N.A.	Non Applicable (Not Applicable)
Na₂CO₃	Carbonate de sodium
NaOCL	Hypochlorite de sodium
NaOH	Hydroxyde de sodium
N.D.	Non Déterminé (Not Determined)
NDGA	Nordihydroguaiaretic Acid (Acide nordihydroguaiarétique)
NIST	National Institute of Standards and Technology (Institut National des Normes et de la Technologie, USA)
N_{ps}, N_{ss}, N_t, N_{ur}	Catégories d'usages ethnopharmacologiques (Plante, Soins, Traitement, Nombre d'utilisateurs)
nm	Nanomètre
OMS	Organisation mondiale de la Santé
P.	<i>Pallenis</i>
PBSWM	Protocole de Nagoya sur la Biodiversité (Partage juste et équitable des avantages)

PFI	Partie aérienne (Floraison)
PFr	Partie aérienne (Fructification)
pH	power of Hydrogen (potentiel Hydrogène)
<i>P. hierichuntica</i>	<i>Pallenis hierichuntica</i>
pNPG	para-Nitrophenyl- α -D-glucopyranoside (para-Nitrophényl- α -D-glucopyranoside)
POWO	Plants Of the World Online (Plantes du monde en ligne)
QE	Quercetin Equivalent (Équivalent de quercétine)
RFC	Relative Frequency of Citation (la fréquence relative de citation)
RFI	Racine (Floraison)
RFr	Racine (Fructification)
RRG	Relative Root Growth (Croissance racinaire relative)
Rutine-D₃	Rutine deutérée (marquée au deutérium, D ₃)
<i>S. aureus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
SARS-CoV-2	Coronavirus responsable de la COVID-19
SD	Standard Deviation (Écart-type)
SI	Standard Interne (Internal Standard)
Sp.	Espèce
SPF	Sun Protection Factor (Facteur de Protection Solaire : FPS)
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (Logiciel statistique)
Syn.	Synonyme
TFC	Total Flavonoid Content (Teneur totale en flavonoïdes)
TFI	Tige (Floraison)
TFr	Tige (Fructification)
TNF-α	Tumor Necrosis Factor alpha (Facteur de Nécrose Tumorale alpha)
TPC	Total Phenolic Content (Teneur totale en composés phénoliques)
TR	Temps de Rétention (Retention Time)
UFC	Unité Formant Colonie (Colony Forming Unit, CFU)
UHPLC	Ultra High Performance Liquid Chromatography (Chromatographie en phase liquide à ultra haute performance)
UHPLC–MS/MS	Ultra High Performance Liquid Chromatography coupled with Tandem Mass Spectrometry (Chromatographie en phase liquide à ultra haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem)
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
USD	United States Dollar
UR UR_i UR_n	Usages recensés / informateurs / usages uniques (indices ethnobotaniques)
UV	Use Value (La valeur d'usage)

UV	Ultra-Violet
UV_part	(Valeur d'usage par organe)
UV-Vis	Ultraviolet-Visible Spectrophotometry (Spectrophotométrie Ultraviolet-Visible)
V.	Vincet
v/v	Volume sur volume
w/w	weight/weight [Rapport du poids de l'extrait obtenu au poids de la matière végétale sèche (poids/poids)]
WGS84	World Geodetic System 1984
WHO	World Health Organization (Organisation mondiale de la Santé)
%	Pourcentage
µl	Microlitre
µg	Microgramme

Liste des figures

N°	Figure	Page
01	Aire de distribution du genre <i>Pallenis</i> selon POWO	15
02	<i>Pallenis hierichuntica</i> (Michon) Greuter, Aspect général de la plante en milieu naturel	17
03	Carte de la wilaya de Tébessa montrant les communes enquêtées et le site de prélèvement des échantillons (Betita)	25
04	<i>Pallenis hierichuntica</i> observée sur le site de Betita (commune de Bir El Ater, wilaya de Tébessa), à deux stades phénologiques	26
05	Coupe transversale de la racine de <i>Pallenis hierichuntica</i> (Microscope optique)	47
06	Coupe transversale de la tige de <i>Pallenis hierichuntica</i> (Microscope optique)	48
07	Coupe transversale de la feuille de <i>Pallenis hierichuntica</i> (Microscope optique)	49
08	Répartition des participants selon le sexe	51
09	Répartition des participants selon les tranches d'âge	52
10	Répartition des participants selon le niveau d'instruction	53
11	Répartition des participants selon l'activité professionnelle	54
12	Répartition des participants selon la commune et le sexe	55
13	Répartition des participants selon la source d'acquisition du savoir	56
14	Répartition des participants selon la catégorie de personnes à qui le savoir est transmis	57
15	Répartition des parties de <i>Pallenis hierichuntica</i> utilisées à des fins thérapeutiques selon le sexe des participants	58
16	Répartition des modes de préparation de <i>Pallenis hierichuntica</i> selon le sexe	63
17	Répartition des modes d'administration de <i>P. hierichuntica</i> selon le sexe	60
18	Répartition de l'affection traitée par <i>Pallenis hierichuntica</i> selon le sexe	61
19	Répartition des effets secondaires signalés selon le sexe	62
20	Importance culturelle et perceptions locales de <i>Pallenis hierichuntica</i> selon le sexe	63
21	Indices ethnobotaniques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	64
22	Teneurs en composés phénoliques totaux et en flavonoïdes totaux dans les différents organes de <i>Pallenis hierichuntica</i> aux stades de floraison et de fructification	73
23	Chromatogrammes issus de l'analyse LC-MS/MS des extraits hydro-méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	74
24	Chromatogrammes LC-MS/MS des extraits hydro-méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i> . (suite)	75
25	Comparaison des huiles essentielles de <i>Pallenis hierichuntica</i>	80
26	Chromatogramme GC-MS de l'huile essentielle des fleurs de <i>Pallenis hierichuntica</i>	81
27	Chromatogramme GC-MS de l'huile essentielle des fruits de <i>Pallenis hierichuntica</i>	81
28	Courbes dose-réponse de la croissance relative racinaire (RRG, %) des bulbes homogènes d' <i>Allium cepa</i> exposés aux différents extraits bruts de <i>Pallenis hierichuntica</i> en fonction de la concentration (mg/mL)	85
29	Variation de l'indice mitotique (MI) des cellules méristématiques d' <i>Allium</i>	86

	<i>cepa</i> exposées aux extraits bruts de <i>Pallenis hierichuntica</i> (0,1-5 mg/mL)	
30	Variation de la fréquence totale des aberrations chromosomiques (AC %) induites par les extraits bruts de <i>Pallenis hierichuntica</i> chez <i>Allium cepa</i> (0,1-5 mg/mL)	87
31	Variation de la fréquence des micronoyaux (MN %) induits par les extraits bruts de <i>Pallenis hierichuntica</i> chez <i>Allium cepa</i> (0,1-5 mg/mL)	88
32	Effets cytotoxiques (RRG, MI) et génotoxiques (AC, MN) comparés entre les neuf extraits bruts de <i>Pallenis hierichuntica</i> exposés aux cellules méristématiques d' <i>Allium cepa</i> à 5 mg/mL	89
33	Activité antioxydante comparative des extraits hydro-méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i> (DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC)	93
34	Profil comparatif des IC ₅₀ de l'inhibition de l' α -amylase par les extraits de <i>P. hierichuntica</i> (exclusion de l'acarbose pour optimiser la discrimination inter-organes)	95
35	Activité photoprotectrice in vitro (SPF) des extraits méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	99
36	IC ₅₀ des activités anti-inflammatoires in vitro des extraits hydro-méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	100
37	Activité antibactérienne des huiles essentielles de <i>Pallenis hierichuntica</i>	107
A2	Résultats de l'analyse physico-chimique du sol du site de Betita	2
A3	Attestation d'identification de <i>Pallenis hierichuntica</i>	2
A4	Vue du site d'échantillonnage de <i>Pallenis hierichuntica</i> , caractérisé par des substrats pierreux ou sablo-limoneux faiblement couverts	3
A5	Observations morphologiques de <i>Pallenis hierichuntica</i> au stéréomicroscope Leica	4
A7	Histogramme de la distribution des âges des participants à l'enquête ethnopharmacologique	6
A8	Distribution des participants selon la transmission ou l'absence de transmission du savoir traditionnel, stratifiée par sexe	6
A9	Distribution des participants à l'enquête ethnopharmacologique selon la profession et le sexe	7
A10	Présentation des phénophasés utilisés dans l'étude : floraison et fructification	7
A12	Comparaison des extraits avant et après lyophilisation	9
A13	Schéma du protocole de distillation et du montage de Clevenger utilisé pour l'extraction des huiles essentielles de <i>P. hierichuntica</i>	9
A14	Présentation des données brutes et des étapes de calcul des rendements en huiles essentielles	10
A15	Courbes logistiques des neuf extraits bruts de <i>Pallenis hierichuntica</i> obtenues dans le test <i>Allium cepa</i> , avec indication de la concentration inhibitrice CI ₅₀ officielle (2,1 mg/mL)	10
A16	Activités antioxydante comparative des extraits hydro-méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i> (DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC)	11
A17	IC ₅₀ des extraits de <i>Pallenis hierichuntica</i> comparés à l'acarbose, illustrant la supériorité inhibitrice des métabolites phénoliques naturels	11

Liste des tableaux

N°	Tableau	Page
01	Comparaison entre les approches qualitatives et quantitatives en ethnopharmacologie	11
02	Valeurs de $EE(\lambda) \times I(\lambda)$ utilisées pour le calcul du SPF	42
03	Rendements d'extraction obtenus à partir des différentes parties de <i>Pallenis hierichuntica</i> au stade de floraison et de fructification.	68
04	Résultats du screening phytochimique de neuf échantillons de <i>P. hierichuntica</i>	70
05	TPC des extraits de <i>Pallenis hierichuntica</i> aux deux stades phénologiques	71
06	TFC des extraits et pourcentage de flavonoïdes	72
07	Principaux composés phénoliques identifiés par UHPLC-MS/MS dans les extraits hydro méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	76
08	Principaux composés phénoliques identifiés par UHPLC-MS/MS dans les extraits hydro méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i> (suite)	77
09	Composés identifiés dans les fleurs et les fruits de <i>P. hierichuntica</i> par GC-MS	82
10	Croissance racinaire relative (RRG %) des extraits bruts de <i>Pallenis hierichuntica</i>	86
11	Indice mitotique (MI %) des extraits bruts de <i>Pallenis hierichuntica</i>	86
12	Fréquence totale des aberrations chromosomiques (AC %) induites par les extraits bruts de <i>Pallenis hierichuntica</i>	87
13	Fréquence des micronoyaux (MN %) induits par les extraits bruts de <i>Pallenis hierichuntica</i>	88
14	Activité antioxydante des extraits hydro-méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	92
15	Activité inhibitrice de l'alpha amylase des extraits hydro-méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	94
16	Activité photoprotectrice (SPF in vitro) de <i>Pallenis hierichuntica</i>	99
17	Activité anti- inflammatoire (in vitro) des extraits hydro-méthanoliques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	100
18	Activité antibactérienne des huiles essentielles de <i>Pallenis hierichuntica</i>	107
A1	Principaux métabolites de <i>Pallenis hierichuntica</i> et activités biologiques associées	1
A11	Caractéristiques physiques des échantillons séchés et broyés de <i>Pallenis hierichuntica</i> aux stades de floraison et de fructification	8

«الدراسة الإثنو-فارماكولوجية والنشاط البيولوجي للنبتة الطبية

Pallenis hierichuntica من منطقة تبسة «

الملخص

تمثل هذه الدراسة أول تحقيق متكامل يُجرى حول *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter في الجزائر، حيث تُجمع بين الإثنوفارماكولوجيا، والبيئة، والمورفولوجيا، والتشريح النباتي، والتنوع الكيميائي (UHPLC-MS/MS)، (GC-MS)، والتقييم البيولوجي. يكشف المسح الميداني الذي شمل 400 مٌخبر من المناطق السهبية لولاية تبسة عن معارف تقليدية مُنظمة، تُنقل أساسًا عبر النساء، وموجَّهة نحو علاج الاضطرابات الهضمية والجلدية والالتهابية والتنفسية.

تُظهر الملاحظات البيئية والتشريحية أن هذا النوع نبات سهبي شديد التحمل للجفاف، يتميز بتكيفات مورفولوجية واضحة تُعزز إنتاج المستقبلات الثانوية. كشفت المستخلصات الهيدرو-ميثانولية عن تنوع كيميائي مرتفع، تهيمن عليه أحماض الكينيك والكلوروجينيك، والروتين، واللوتولين، والأبيجينين. كما أظهرت الزيوت الأساسية نموذجًا كيميائيًا فريدًا غنيًا بالسيسكويترابينات المؤكسجة، خاصة المركب R,7R-bisabolone.6

أظهرت المستخلصات نشاطًا قويًا مضادًا للأكسدة DPPH، ABTS، FRAP، CUPRAC، وتثبيطًا ملحوظًا لإنزيم- α amylase، وقدرة فوتوحامية مرتفعة (SPF 30-32)، بالإضافة إلى تأثيرات مضادة للالتهاب. أما الزيوت الأساسية فقد أبانت عن نشاط قوي ضد *Staphylococcus aureus*. وأظهر اختبار *Allium cepa* سُمية خلوية معتدلة تعتمد على التركيز.

تؤكد هذه الدراسة على التلاقي بين المعارف التقليدية، والتكيفات البيئية، والغنى الأيضي، والأنشطة البيولوجية، مما يجعل *P. hierichuntica* موردًا واعدًا للتطبيقات الغذائية-الصيدلانية والجلدية-التجميلية.

الكلمات المفتاحية

Pallenis hierichuntica؛ الجزائر؛ تبسة؛ إثنوفارماكولوجيا؛ UHPLC-MS/MS؛ GC-MS؛ متعددات الفينول؛ الفلافونويدات؛ ألفا-أميلاز/ألفا-غلوكوزيداز؛ معامل الحماية من الشمس؛ السيسكويترابينات؛ البسابولون؛ المكملات الغذائية العلاجية؛ المستحضرات الجلدية-التجميلية

«Étude ethno-pharmacologique et activité biologique d'une plante médicinale *Pallenis hierichuntica* de la région de Tébessa»

Résumé

Cette étude constitue la première investigation intégrée consacrée à *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter en Algérie, combinant ethnopharmacologie, écologie, morpho-anatomie, chimiodiversité (UHPLC–MS/MS, GC–MS) et évaluation biologique. Une enquête menée auprès de 400 informateurs des zones steppiques de Tébessa révèle un savoir traditionnel structuré, transmis majoritairement par les femmes, et orienté vers le traitement des affections digestives, cutanées, inflammatoires et respiratoires.

Les observations écologiques et anatomiques montrent une espèce strictement xérophile, dotée d'adaptations morphologiques remarquables favorisant la biosynthèse de métabolites secondaires. Les extraits hydro-méthanoliques présentent une forte chimiodiversité, dominée par l'acide quinique, l'acide chlorogénique, la rutine, la lutéoline et l'apigénine, tandis que les huiles essentielles révèlent un chemotype inédit riche en sesquiterpènes oxygénés, notamment le 6R,7R-bisabolone.

Les extraits montrent une activité antioxydante élevée (DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC), une inhibition notable de l' α -amylase, une photoprotection importante (SPF 30–32) et des effets anti-inflammatoires significatifs. Les huiles essentielles exercent une forte activité antibactérienne contre *Staphylococcus aureus*. Le test *Allium cepa* indique une cytotoxicité modérée et dose-dépendante.

Cette étude démontre la convergence entre savoir traditionnel, adaptation écologique, richesse métabolique et bioactivités, positionnant *P. hierichuntica* comme une ressource prometteuse pour des applications nutraceutiques et dermocosmétiques.

Mots-clés : *Pallenis hierichuntica* ; Algérie ; Tébessa ; ethnopharmacologie ; UHPLC–MS/MS ; GC–MS ; polyphénols ; flavonoïdes ; α -amylase/ α -glucosidase ; SPF ; sesquiterpènes ; bisabolone ; nutraceutique ; dermocosmétique.

«Ethno-pharmacological study and biological activity of the medicinal plant *Pallenis hierichuntica* from the Tébessa region»

Abstract

This study represents the first integrated investigation dedicated to *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter in Algeria, combining ethnopharmacology, ecology, morpho-anatomy, chemodiversity (UHPLC–MS/MS, GC–MS), and biological evaluation. A survey conducted with 400 informants from the steppe regions of Tébessa revealed a well-structured body of traditional knowledge, transmitted mainly by women and focused on the treatment of digestive, dermatological, inflammatory, and respiratory disorders.

Ecological and anatomical observations show that the species is strictly xerophilous, displaying remarkable morphological adaptations that promote the biosynthesis of secondary metabolites. Hydro-methanolic extracts exhibited high chemodiversity, dominated by quinic acid, chlorogenic acid, rutin, luteolin, and apigenin, while the essential oils revealed a unique chemotype rich in oxygenated sesquiterpenes, particularly 6R,7R-bisabolone.

The extracts demonstrated strong antioxidant activity (DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC), notable inhibition of α -amylase, significant photoprotection (SPF 30–32), and marked anti-inflammatory effects. The essential oils displayed potent antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*. The *Allium cepa* assay indicated moderate, dose-dependent cytotoxicity.

Overall, this study highlights a clear convergence between traditional knowledge, ecological adaptation, metabolic richness, and biological activities, positioning *P. hierichuntica* as a promising natural resource for nutraceutical and dermocosmetic applications.

Keywords: *Pallenis hierichuntica*; Algeria; Tébessa; ethnopharmacology; UHPLC–MS/MS; GC–MS; polyphenols; flavonoids; α -amylase/ α -glucosidase; SPF; sesquiterpenes; bisabolone; nutraceutical; dermocosmetic.

Table des matières

Table des matières

<i>Avant-Propos</i>	ii
<i>REMERCIEMENTS</i>	iii
Productions scientifiques	vi
Liste des abréviations	x
Liste des figures	xv
Liste des tableaux	xvii
المخلص	xviii
Résumé	xix
Abstract	xx
Introduction générale	1
PARTIE I : Revue de la littérature	3
Chapitre 1. Bases théoriques et méthodologiques de l'ethnopharmacologie	4
1.1. Introduction à l'Ethnopharmacologie	4
1.1.1. Définition, portée et fondements scientifiques de l'ethnopharmacologie	4
1.1.2. Origines et évolution historique de l'ethnopharmacologie	5
1.1.3. Rôle dans la valorisation des savoirs traditionnels	6
1.1.4. Tendances actuelles et enjeux de la recherche ethnopharmacologique	6
1.2. Importance des plantes médicinales dans les systèmes de santé traditionnels	7
1.2.1. Place dans les soins de santé primaires	7
1.2.2. Rôle socioculturel et économique	7
1.2.3. Défis liés à une utilisation non contrôlée	8
1.2.4. Potentiel d'intégration dans la médecine moderne	9
1.3. Approches méthodologiques en recherche ethnopharmacologique	10
1.3.1. Méthodes qualitatives et quantitatives	10
1.3.2. Outils d'enquête et critères de sélection des informateurs	12
1.3.3. Cadre éthique, légal et déontologique de la recherche ethnopharmacologique	12
Chapitre 2. La famille des <i>Asteraceae</i> et le genre <i>Pallenis</i>	14
2.1. La famille des <i>Asteraceae</i>	14
2.1.1. Caractéristiques botaniques générales	14
2.1.2. Répartition géographique et diversité écologique	14
2.1.3. Intérêt médicinaal et ethnobotanique	14
2.1.4. Activités biologiques des espèces médicinales	14
2.2. Le genre <i>Pallenis</i>	15
2.2.1. Classification taxonomique et caractéristiques générales	15
2.2.2. Répartition géographique et habitats	15
2.2.3. Intérêt ethnopharmacologique et potentiel médicinaal	16
Chapitre 3. Synthèse bibliographique sur <i>Pallenis hierichuntica</i> (Michon) Greuter, 1997	17

3.1.	Description botanique et systématique de <i>Pallenis hierichuntica</i>	17
3.1.1.	Morphologie générale de la plante	17
3.1.2.	Structure florale et dispersion des fruits de <i>Pallenis hierichuntica</i>	18
3.1.3.	Cycle de vie et adaptations écologiques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	18
3.1.4.	Classification taxonomique et problèmes nomenclatureaux de <i>Pallenis hierichuntica</i>	19
3.2.	Répartition biogéographique de <i>Pallenis hierichuntica</i>	19
3.2.1.	Aires de distribution mondiales de <i>Pallenis hierichuntica</i>	19
3.2.2.	Répartition en Algérie et spécificités écologiques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	19
3.3.	Usages traditionnels de <i>Pallenis hierichuntica</i>	20
3.4.	Données phytochimiques et propriétés pharmacologiques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	20
3.4.1.	Principaux constituants chimiques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	20
3.4.2.	Activités biologiques rapportées de <i>Pallenis hierichuntica</i>	21
3.5.	Potentiel de valorisation, limites et perspectives de <i>Pallenis hierichuntica</i>	22
3.5.1.	Risques et limites liés à une utilisation non contrôlée de <i>Pallenis hierichuntica</i>	22
3.5.2.	Potentiel de valorisation de <i>Pallenis hierichuntica</i>	22
PARTIE II : Matériel et Méthodes		23
1.	Collecte et préparation du matériel végétal	24
1.1.	Sites de prélèvement : localisation et caractéristiques	24
1.2.	Collecte du matériel végétal	26
1.3.	Identification botanique et dépôt des échantillons à l'herbier	28
1.4.	Histologie des racines, tiges et feuilles de <i>Pallenis hierichuntica</i>	28
2.	Enquête ethnopharmacologique de <i>Pallenis hierichuntica</i>	30
2.1.	Zone d'étude et sélection des participants	30
2.2.	Collecte des données	30
2.3.	Considérations éthiques	31
2.4.	Analyses statistiques et indices ethnobotaniques	31
2.4.1.	Analyses statistiques	31
2.4.2.	Indices ethnobotaniques	32
3.	Extraction et conservation des extraits de <i>Pallenis hierichuntica</i>	33
3.1.	Préparation des échantillons : nettoyage, séchage, broyage	33
3.2.	Procédure d'extraction et solvants utilisés	34
3.3.	Lyophilisation et stockage des extraits de <i>Pallenis hierichuntica</i>	34
3.4.	Extraction des huiles essentielles par hydro-distillation de <i>P. hierichuntica</i>	34
4.	Etude phytochimique des extraits de <i>Pallenis hierichuntica</i>	35
4.1.	Dépistage qualitatif des métabolites secondaires	35
4.1.1.	Identification des flavonoïdes (test de Shibata)	35
4.1.2.	Identification des coumarines (test de Feigl-Frehden-Anger)	35
4.1.3.	Identification des stérols et terpènes (test de Liebermann-Burchard)	35

4.1.4.	Identification des tanins (test de Stiasny)	36
4.1.5.	Identification des saponines (Test de mousse).....	36
4.1.6.	Identification des leucoanthocyanes.....	36
4.1.7.	Identification des quinones	36
4.1.8.	Identification des alcaloïdes (Test de Dragendorff).....	36
4.2.	Analyse quantitative des extraits de <i>Pallenis hierichuntica</i>	37
4.2.1.	Détermination de la teneur totale en composés phénoliques (TPC).....	37
4.2.2.	Détermination de la teneur totale en flavonoïdes (TFC).....	37
4.2.3.	Analyse statistique	37
4.3.	Analyse chromatographique par LC-MS/MS de <i>Pallenis hierichuntica</i>	39
4.4.	Analyse de l'huile essentielle par GC-MS de <i>Pallenis hierichuntica</i>	39
5.	Évaluation des activités biologiques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	41
5.1.	Évaluation de la toxicité par le test <i>Allium cepa</i> de <i>Pallenis hierichuntica</i>	41
5.2.	Activité antioxydante de <i>Pallenis hierichuntica</i>	42
	• Test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle).....	42
	• Test ABTS (2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)	42
	• Test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)	42
	• Test CUPRAC (Cupric Reducing Antioxidant Capacity)	43
5.3.	Inhibition enzymatique de l' α -amylase et de l' α -glucosidase - Determiation des IC ₅₀	43
5.4.	Pouvoir photoprotecteur (SPF <i>in vitro</i>) de <i>Pallenis hierichuntica</i>	43
5.5.	Activité anti-inflammatoire <i>in vitro</i> de <i>Pallenis hierichuntica</i>	44
	• Inhibition de la lipoxygénase (LOX).....	44
	• Stabilisation de la membrane érythrocytaire.....	44
	• Inhibition de la dénaturation protéique	45
5.6.	Activité antibactérienne (tests diffusion, MIC) de <i>Pallenis hierichuntica</i>	45
5.7.	Méthodes d'analyses statistiques.....	45
Partie III : Résultats et Discussion		47
1.	Écologie, morphologie et anatomie de <i>Pallenis hierichuntica</i> (Michon) Greuter	48
1.1.	Caractérisation écologique et observations de terrain	48
1.2.	Morphologie de <i>Pallenis hierichuntica</i>	48
1.3.	Histologie de <i>Pallenis hierichuntica</i>	49
	a) Racines.....	49
	b) Tiges	50
	c) Feuilles	51
2.	Résultats ethnopharmacologiques concernant <i>Pallenis hierichuntica</i>	53
2.1.	Profil sociodémographique des participants	53
2.1.1.	Répartition par sexe	53
2.1.2.	Répartition par âge.....	54

2.1.3.	Niveau d’instruction	54
2.1.4.	Activité professionnelle	55
2.1.5.	Répartition des participants selon la commune et le sexe	56
2.2.	Sources du savoir et transmission	57
2.3.	Usages thérapeutiques de <i>Pallenis hierichuntica</i>	59
2.3.1.	Parties utilisées	60
2.3.2.	Modes de préparation de <i>Pallenis hierichuntica</i>	61
2.3.3.	Modes d’administration de <i>Pallenis hierichuntica</i>	62
2.3.4.	Affections traitées	62
2.3.5.	Effets secondaires de <i>Pallenis hierichuntica</i>	64
2.4.	Importance culturelle et perceptions locales de <i>Pallenis hierichuntica</i>	65
2.5.	Analyses statistiques et indices ethnobotaniques	66
3.	Résultats et discussion sur les rendements d’extraction, la qualité des extraits et les huiles essentielles de <i>Pallenis hierichuntica</i>	68
3.1.	Qualité et caractéristiques des échantillons de <i>Pallenis hierichuntica</i>	68
3.2.	Rendement d’extraction	68
3.3.	Qualité des extraits lyophilisés de <i>Pallenis hierichuntica</i>	70
3.4.	Discussion sur les implications phytochimiques et biologiques	70
4.	Profil phytochimique de <i>Pallenis hierichuntica</i>	71
4.1.	Dépistage qualitatif des métabolites secondaires de <i>Pallenis hierichuntica</i>	71
4.2.	Analyse quantitative des extraits de <i>Pallenis hierichuntica</i>	73
4.2.1.	Teneur totale en composés phénoliques (TPC)	73
4.2.2.	Teneur totale en flavonoïdes (TFC) de <i>Pallenis hierichuntica</i>	73
4.2.2.	Statistique et interprétation	74
4.3.	Chromatographie UHPLC-MS/MS des extraits de <i>P. hierichuntica</i>	75
4.4.	L’huile essentielle de <i>Pallenis hierichuntica</i> par GC-MS	82
4.4.1.	Caractéristiques générales et rendement	82
4.4.2.	Composition chimique des huiles essentielles de <i>Pallenis hierichuntica</i>	83
4.4.3.	Analyse comparative et interprétation	85
4.4.4.	Variabilité inter-organes et signification biologique	85
5.	Activités biologiques des extraits de <i>Pallenis hierichuntica</i>	87
5.1.	Effets cytotoxiques et génotoxiques de <i>Pallenis hierichuntica</i> : Test <i>Allium cepa</i>	87
5.1.1.	Effets sur la croissance racinaire (RRG)	87
5.1.2.	Effets sur l’indice mitotique (MI)	88
5.1.3.	Aberrations chromosomiques (AC)	89
5.1.4.	Micronoyaux (MN)	89
5.1.5.	Comparaison inter-organes	90
5.1.6.	Discussion cytotoxique et génotoxique	91

5.2.	Activité antioxydante de <i>Pallenis hierichuntica</i>	93
5.2.1.	Vue d'ensemble de l'activité antioxydante	93
5.2.2.	Analyse différentielle entre organes et stades	93
5.2.3.	Corrélations biochimiques (TPC/TFC – UHPLC-MS/MS)	94
5.2.4.	Signification écophysiological et implications biologiques	95
5.3.	Activité inhibitrice de l'α-amylase de <i>Pallenis hierichuntica</i>	96
5.3.1.	Résultats expérimentaux : IC₅₀ des extraits	96
5.3.2.	Analyse des facteurs déterminants de l'activité inhibitrice	97
5.3.3.	Discussion intégrative Inhibition de l'α-amylase	98
5.4.	Activité photoprotectrice (SPF in vitro) de <i>Pallenis hierichuntica</i>	100
5.5.	Activité anti-inflammatoire in vitro de <i>Pallenis hierichuntica</i>	102
5.5.1.	Résultats expérimentaux	102
5.5.2.	Analyse des déterminants phytochimiques	103
5.5.3.	Discussion intégrée	104
6.	Convergence ethnopharmacologie × écologie × chimiodiversité × bioactivité	105
6.1.	Une espèce façonnée par les contraintes écologiques steppiques	105
6.2.	Une chimiodiversité organo-spécifique structurée par les pressions environnementales	105
6.3.	Cohérence entre savoirs traditionnels et profils chimiques	106
6.4.	Validation expérimentale des usages thérapeutiques traditionnels	106
6.5.	Synthèse intégrative : un continuum écologique–chimique–pharmacologique	107
7.	Activité antibactérienne de <i>Pallenis hierichuntica</i>	108
8.	Discussion intégrée : écologie, chimie et activité antibactérienne de <i>Pallenis hierichuntica</i>	111
8.1.	Contexte écologique et anatomique favorable aux sesquiterpènes	111
8.2.	Chimiodiversité dominée par les sesquiterpènes oxygénés, et l'activité antibactérienne	111
8.3.	Une activité antibactérienne cohérente avec les mécanismes biochimiques connus	112
8.4.	Relations fleurs-fruits : une synergie biosynthétique et une stabilité du chemotype	112
8.5.	Convergence avec les usages ethnopharmacologiques locaux	113
8.6.	Signification écologique et mécanistique : des HE comme outils de survie en milieu aride	113
8.7.	Synthèse intégrative : écologique → chimique → biologique → ethnothérapeutique	113
	Conclusion	115
	Références bibliographiques	117
	Annexes	131

Introduction général

Introduction générale

Depuis des millénaires, la nature offre à l'humanité une richesse inestimable de plantes médicinales répondant à ses besoins essentiels (Heinrich, Barnes, *et al.*, 2022). Grâce à leurs usages thérapeutiques, alimentaires, fourragers et cosmétiques, ces plantes occupent une place centrale dans de nombreuses pratiques traditionnelles (Boughendjioua, 2001). L'exploitation des vertus médicinales des plantes à travers les civilisations constitue la pierre angulaire de l'ethnopharmacologie, une discipline qui étudie les savoirs traditionnels relatifs à l'utilisation des plantes médicinales (Etkin, 1993).

L'ethnopharmacologie est une science interdisciplinaire alliant les approches socioculturelles, naturelles et médicales. Elle s'intéresse à l'usage des plantes médicinales en s'appuyant sur les pratiques traditionnelles et leur validation scientifique, notamment par des recherches expérimentales portant sur leurs effets thérapeutiques (Heinrich, 2015). Cette discipline contribue ainsi à la préservation des savoirs ancestraux et à la découverte de nouvelles substances bioactives, enrichissant la pharmacopée moderne et ouvrant la voie au développement de nouveaux médicaments (Heinrich *et al.*, 2009).

Dans cette optique, notre étude s'inscrit dans une démarche scientifique intégrée combinant enquête ethnopharmacologique, analyses chimiques et évaluation biologique de l'espèce étudiée. Dans ce contexte, elle porte sur une investigation ethnopharmacologique approfondie de *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter, une plante médicinale originaire de la région nord-est de l'Algérie, plus précisément de la wilaya de Tébessa. Cette région, caractérisée par un climat semi-aride, abrite une biodiversité floristique remarquable, riche en espèces à potentiel thérapeutique, utilisées depuis des siècles dans la médecine traditionnelle (Boukezoula *et al.*, 2022). Parmi ces espèces, *Pallenis hierichuntica* se distingue par la fréquence de son utilisation locale, bien qu'elle n'ait pas encore fait l'objet d'investigations scientifiques approfondies en Algérie.

L'objectif principal de ce travail est de documenter les usages traditionnels de cette plante médicinale dans la région de Tébessa, à partir d'une enquête ethnopharmacologique menée auprès de 400 participants répartis dans quatre communes principales : Bir El-Ater, El Ogla, El Houidjbet et Bir Dheb. L'accent est particulièrement mis sur *Pallenis hierichuntica*, une espèce présentant un intérêt ethnopharmacologique notable et croissant.

Outre la collecte de données sur les pratiques locales, cette recherche s'intéresse également à l'analyse chimique des extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica*, prélevés aux stades de floraison et de fructification. Parallèlement, une évaluation biologique a été réalisée afin d'examiner les activités antioxydante, enzymatique, anti-inflammatoire, l'activité antibactérienne ainsi que le facteur de protection solaire de la plante. Ces analyses constituent un volet essentiel de cette étude.

Ce manuscrit est structuré en trois parties principales :

- Partie I - Revue de la littérature : Cette première partie établit le cadre théorique de la recherche. Elle présente les fondements de l'ethnopharmacologie, son évolution historique et ses orientations actuelles, en mettant l'accent sur son rôle dans la préservation et la valorisation des savoirs traditionnels. Un accent particulier est porté sur les plantes médicinales de la famille *Asteraceae*, et plus spécifiquement sur le genre *Pallenis*, à travers une étude de sa classification, de ses caractéristiques botaniques et de sa répartition géographique. Une section détaillée est consacrée à *Pallenis hierichuntica*, abordant sa morphologie, sa classification et ses adaptations écologiques, ainsi que les principales activités biologiques déjà étudiées.
- Partie II - Matériels et méthodes : Cette partie décrit les protocoles expérimentaux utilisés pour la collecte du matériel végétal, les procédés d'extraction et d'analyse chimique, ainsi que les méthodes employées pour l'évaluation des activités biologiques de la plante.
- Partie III - Résultats, discussion et perspectives : Cette section présente et discute les résultats issus de l'enquête ethnopharmacologique, des analyses chimiques et des essais biologiques. Elle confronte les observations obtenues aux données de la littérature et ouvre des perspectives pour de futures recherches visant à valoriser davantage cette espèce.

Ainsi, cette étude ambitionne de contribuer à la valorisation scientifique, socio-économique et culturelle d'une espèce médicinale encore peu explorée, tout en participant à la préservation du patrimoine ethnobotanique algérien.

Le travail se conclut par une synthèse générale et des perspectives de recherche, soulignant l'intérêt de *Pallenis hierichuntica* dans le cadre du développement durable et de la valorisation des ressources naturelles locales.

PARTIE I : Revue de la littérature

Chapitre 1. Bases théoriques et méthodologiques de l'ethnopharmacologie

1.1. Introduction à l'Ethnopharmacologie

1.1.1. Définition, portée et fondements scientifiques de l'ethnopharmacologie

L'ethnopharmacologie est une discipline interdisciplinaire à l'interface des sciences de la vie et des sciences humaines. Elle étudie les savoirs traditionnels liés à l'usage médicinal des plantes et des produits naturels, en combinant l'observation ethnobotanique et la validation scientifique (Heinrich et Jager, 2015). Elle relie la recherche sur les substances naturelles aux dimensions culturelles et sociales des pratiques thérapeutiques, contribuant ainsi à l'innovation en phytothérapie et à la conception de phytomédicaments sûrs et efficaces (Fleurentin, 1991; Fleurentin and Balansard, 2002). Selon Assimopoulou et Trifan (2024), cette discipline constitue un pont entre les remèdes traditionnels et la science moderne, en intégrant des considérations éthiques et juridiques telles que la Convention sur la diversité biologique et le Protocole de Nagoya.

Coals et *al.* (2024) insistent sur sa dimension éthique et écologique, tandis que dos Santos Dantas Lima et *al.* (2024) soulignent l'importance du langage et de la nomenclature vernaculaire des plantes dans l'interprétation de leurs propriétés pharmacologiques.

En résumé, l'ethnopharmacologie représente une approche intégrée de la santé et de la nature, favorisant la rencontre entre tradition et science moderne au service d'une pharmacopée durable, éthique et culturellement inclusive. La création, en 1979, du *Journal of Ethnopharmacology* et de l'*International Society for Ethnopharmacology* a marqué un tournant majeur dans la reconnaissance internationale de cette discipline. Ces initiatives ont favorisé les échanges interculturels, renforcé la légitimité scientifique des savoirs traditionnels et promu une éthique de recherche rigoureuse dans ce domaine en pleine expansion (de Smet et Rivier, 1989).

Les fondements de l'ethnopharmacologie reposent sur plusieurs principes essentiels :

- **La préservation et le respect des savoirs traditionnels** : ces connaissances enrichissent la pharmacopée moderne et participent à la sauvegarde du patrimoine culturel des communautés locales (Heinrich et Gibbons, 2001; Pinton et Grenand, 2007) ;
- **L'effet synergique des composés végétaux** : les plantes médicinales renferment divers métabolites secondaires dont l'action combinée peut renforcer l'efficacité thérapeutique (Williamson, 2001) ;
- **La validation scientifique et la sécurité d'usage** : l'évaluation expérimentale permet de confirmer l'efficacité et d'assurer la sécurité d'emploi des remèdes traditionnels (Yeung *et al.*, 2019) ;
- **L'éthique et l'équité** : la collecte et l'utilisation des savoirs locaux doivent respecter les droits des populations concernées et garantir un partage juste des bénéfices issus de leur valorisation (Heinrich *et al.*, 2009).

Ainsi, l'ethnopharmacologie joue un rôle clé non seulement dans la découverte de nouveaux principes actifs, mais aussi dans la promotion d'une recherche respectueuse et durable, à l'interface entre tradition et science moderne. Des exemples récents illustrent cette synergie, notamment la découverte de composés antiviraux naturels actifs contre des virus tels que la grippe ou le SARS-CoV-2 (Pirintsos *et al.*, 2022), démontrant le potentiel concret de cette discipline dans le contexte de la santé mondiale.

1.1.2. Origines et évolution historique de l'ethnopharmacologie

L'ethnopharmacologie puise ses racines dans les grands systèmes médicaux traditionnels tels que l'Ayurveda, la médecine traditionnelle chinoise ou les pharmacopées autochtones fondés sur des siècles d'observations empiriques et de transmission orale (Jaiswal, Liang et Zhao, 2016). Ce n'est toutefois qu'au XX^e siècle qu'elle s'est imposée comme une discipline scientifique à part entière, notamment grâce aux travaux pionniers de Luis Lewin et Richard Evans Schultes, dont les recherches ethnobotaniques ont conjugué enquêtes de terrain et analyses phytochimiques (Lewin, 1924; Schultes et Hofmann, 1979). Au cours des décennies 1960-1970, face à la modernisation rapide et à l'érosion des savoirs traditionnels, l'ethnopharmacologie s'est affirmée comme un outil essentiel pour la documentation et la sauvegarde de ces connaissances (Hadjadj *et al.*, 2015; Miara, Ait, *et al.*, 2018; Zatout *et al.*, 2021). Des figures comme Jean-Marie Pelt ont également souligné son potentiel dans la découverte de nouveaux agents thérapeutiques d'origine naturelle (Pelt, 1981). Avec le temps, le champ d'application de l'ethnopharmacologie s'est élargi pour inclure non seulement les plantes, mais aussi les champignons, les substances animales et les minéraux utilisés à des fins médicinales (Assefa, Mesfin et Girmay, 2025). La discipline a parallèlement intégré des considérations éthiques majeures, telles que le consentement libre et éclairé, la reconnaissance du patrimoine immatériel des communautés locales et la question de la propriété intellectuelle (Fleurentin, 1991). L'adoption de la Convention sur la diversité biologique (CDB) lors du Sommet de la Terre à Rio en 1992 a constitué une étape déterminante, en reconnaissant la nécessité de préserver à la fois la biodiversité et les savoirs traditionnels associés.

Aujourd'hui, l'ethnopharmacologie dépasse la simple observation des remèdes traditionnels pour en promouvoir la valorisation scientifique. De nombreuses substances naturelles ont été intégrées dans la pharmacopée moderne, à l'image de *Withania somnifera* (Ashwagandha), issue de la tradition ayurvédique et désormais étudiée pour ses effets pharmacologiques dans des contextes cliniques contemporains (Mukherjee *et al.*, 2021). Ce processus illustre la capacité de l'ethnopharmacologie à instaurer un dialogue fécond entre science moderne et savoirs traditionnels, favorisant l'innovation thérapeutique tout en respectant leurs fondements culturels (Lahlou, 2008; Weniger et Bourdy, 2008).

1.1.3. Rôle dans la valorisation des savoirs traditionnels

L'ethnopharmacologie joue un rôle déterminant dans la valorisation et la préservation des savoirs médicaux traditionnels. En documentant les pratiques de soins et les remèdes employés par différentes cultures, elle contribue à leur reconnaissance comme patrimoine culturel immatériel (Weldegerima, 2009). La validation scientifique de l'efficacité de certains remèdes traditionnels favorise leur intégration dans les systèmes de santé modernes (Leonti et Casu, 2013), tout en ouvrant des perspectives économiques pour les communautés locales notamment par la commercialisation de produits dérivés et en promouvant une gestion durable des ressources naturelles (Cunningham, 2001). Cette discipline permet de structurer et de valoriser les savoirs médicaux locaux en vue de leur intégration éventuelle dans les systèmes médicaux formels (Fleurentin, 2012).

En Algérie, plusieurs enquêtes ont révélé une riche diversité d'usages médicaux au sein des populations rurales et nomades (Miara, Bendif, *et al.*, 2018; Zatout *et al.*, 2021). Ainsi, l'ethnopharmacologie contribue activement à la valorisation socio-économique des territoires et à la reconnaissance du savoir immatériel (Heinrich et Gibbons, 2001).

1.1.4. Tendances actuelles et enjeux de la recherche ethnopharmacologique

L'ethnopharmacologie connaît aujourd'hui un essor remarquable, soutenu par l'intégration de méthodologies interdisciplinaires alliant approches moléculaires, écologiques, anthropologiques et socioculturelles (Mukherjee, Venkatesh et Ponnusankar, 2010). Cette dynamique permet une compréhension approfondie des usages traditionnels des plantes médicinales tout en consolidant leur valorisation scientifique (Leonti et Casu, 2013). Parmi les principaux enjeux contemporains figurent la lutte contre la biopiraterie, la protection des savoirs autochtones et la préservation de la biodiversité défis nécessitant l'instauration de cadres juridiques et éthiques solides (Parween et Marchant, 2022). De plus, les priorités actuelles incluent la validation pharmacologique et toxicologique des espèces médicinales, l'élaboration de pharmacopées locales contextualisées et la gestion durable des ressources naturelles (George et Ijiru, 2011). Dans ce contexte, la documentation scientifique des plantes adaptées aux environnements arides représente un axe stratégique (Hemmami *et al.*, 2023), notamment dans les régions du Maghreb à biodiversité fragile (Miara, Ait, *et al.*, 2018). L'intérêt croissant pour l'ethnopharmacologie se manifeste aussi dans la recherche pharmaceutique, puisque près de 80 % des composés médicamenteux découverts proviennent des savoirs ethnomédicaux (Fabricant et Farnsworth, 2001). Ces travaux ont permis

l'identification de composés bioactifs prometteurs contre des pathologies majeures telles que le cancer ou le diabète, tout en s'inscrivant dans une approche durable des systèmes de santé et des écosystèmes (Yuan *et al.*, 2022; Shende, 2024). Enfin, la recherche contemporaine dépasse désormais la simple collecte des savoirs traditionnels pour s'intéresser aux mécanismes d'action des principes actifs et à leur intégration potentielle dans la médecine moderne (OMS, 2023), une orientation est particulièrement marquée dans les pays émergents d'Asie, d'Amérique du Sud et du Moyen-Orient (Yeung *et al.*, 2019). Par ailleurs, un intérêt croissant se porte sur les propriétés antioxydantes, la valeur nutritionnelle et le rôle des plantes médicinales dans la prévention des maladies chroniques (Gilani et Atta-ur-Rahman, 2005).

1.2. Importance des plantes médicinales dans les systèmes de santé traditionnels

1.2.1. Place dans les soins de santé primaires

Les plantes médicinales jouent un rôle central dans les systèmes de santé traditionnels des pays en développement, représentant souvent la première ligne de soins pour une grande partie de la population (FAO et OMS, 1997). Selon l'Organisation mondiale de la santé, dans certaines régions d'Asie et d'Afrique, jusqu'à 80 % de la population dépend de la médecine traditionnelle pour les soins de santé primaires (OMS, 2023). En Afrique, en Asie ainsi qu'en Amérique latine, les remèdes à base de plantes sont généralement plus accessibles, moins coûteux et mieux acceptés culturellement que les traitements issus de la médecine moderne (WHO, 2018). Leur utilisation repose sur un savoir empirique ancestral, transmis oralement à travers les générations, particulièrement précieux dans les zones rurales ou isolées, où les infrastructures médicales modernes sont souvent insuffisantes (WHO, 2013).

En Algérie, notamment dans les régions steppiques telles que Djelfa, Naâma, El Bayadh et Tiaret, la médecine traditionnelle fondée sur l'usage des plantes médicinales constitue un pilier essentiel des pratiques de soins populaires (Miara, Hammou et Aoul, 2013; Bouafia *et al.*, 2021). Des études ethnobotaniques récentes ont révélé une grande diversité floristique médicinale, avec plus de 90 espèces recensées appartenant à 42 familles botaniques dans certaines zones, appartenant principalement aux familles *Lamiaceae*, *Asteraceae* et *Apiaceae* (Bouasla et Bouasla, 2017). Ces plantes sont traditionnellement utilisées pour traiter des affections digestives, respiratoires et dermatologiques, à travers des modes de préparation ancestraux comme la décoction et la macération (Belhouala et Benarba, 2021). Ce savoir, transmis oralement à travers les générations, en particulier par les femmes et les personnes âgées, représente un patrimoine précieux nécessitant une documentation rigoureuse et une valorisation scientifique (Derridj *et al.*, 2010).

1.2.2. Rôle socioculturel et économique

Selon Heinrich *et al.* (2023), le rôle des plantes médicinales dépasse largement la simple fonction thérapeutique dans de nombreuses sociétés traditionnelles; Elles constituent un élément central des dimensions sociales, culturelles et symboliques, occupant une place essentielle dans l'organisation et la cohésion des communautés.

Intégrées dans divers rituels, pratiques spirituelles et croyances religieuses, ces plantes contribuent à structurer la cosmovision locale et à maintenir les liens identitaires (Frazão-Moreira, 2016). Le savoir associé à ces espèces est généralement transmis oralement à travers les générations et demeure souvent entre les mains de figures sociales clés telles que les guérisseurs, chamans ou matriarches, dont le rôle dépasse la simple détention du savoir pour s'étendre à la médiation sociale et culturelle (Frazão-Moreira, 2016).

Au-delà de leur portée socioculturelle, les plantes médicinales constituent également un levier économique important. La cueillette, la culture, la transformation et la commercialisation de ces plantes représentent une source de revenus essentielle, notamment pour les femmes et les petits producteurs dans plusieurs régions rurales (Souilah *et al.*, 2018; Meddour *et al.*, 2022). Dans certains contextes, ces activités jouent même le rôle de filet de sécurité économique pour les familles marginalisées, en leur offrant une alternative viable ou un revenu complémentaire (Bhattarai *et al.*, 2010). Un exemple représentatif est celui du *Gnetum africanum* au Cameroun : plante utilisée comme aliment et ressource médicinale traditionnelle, elle fait l'objet d'une commercialisation locale active permettant aux agriculteurs ruraux d'améliorer leurs revenus (Ali, Assanta et Robert, 2011).

À une échelle plus large, l'importance des plantes médicinales dépasse désormais le cadre local pour s'inscrire dans une économie mondiale en pleine expansion. Le marché des produits phytothérapeutiques connaît une croissance soutenue, avec des estimations dépassant 100 milliards de dollars USD d'ici 2030 (Market Research Future, 2023). Certaines espèces, notamment les plantes rares ou reconnues pour leurs propriétés thérapeutiques, deviennent des ressources stratégiques valorisées tant localement qu'internationalement (Sobakin *et al.*, 2022).

Ces fonctions variées expliquent la persistance des usages traditionnels des plantes médicinales et soulignent l'importance de renforcer la recherche sur les espèces encore peu étudiées afin de mieux cerner leur valeur ethnopharmacologique.

1.2.3. Défis liés à une utilisation non contrôlée

Malgré les nombreux bienfaits reconnus des plantes médicinales, leur utilisation non encadrée soulève plusieurs problématiques majeures tant sur le plan sanitaire qu'environnemental (Awoke *et al.*, 2024) . D'une part, l'absence de standardisation dans la préparation des remèdes traditionnels notamment en ce qui concerne le dosage, la forme galénique et la voie d'administration peut entraîner une variabilité importante dans l'efficacité et la sécurité des traitements (de Smet et

Rivier, 1989). D'autre part, l'absence de connaissances scientifiques précises sur la dose thérapeutique, les possibles interactions médicamenteuses ou la toxicité potentielle de certaines espèces ne fait qu'accroître les risques pour la santé humaine (Farzaei *et al.*, 2020) . Des cas de toxicité hépatique, rénale ou neurologique ont été documentés en rapport avec des plantes mal identifiées qui étaient supposées passer par des processus moins risqués connus sous le nom de simplification à base de plantes' ou censées être des surdoses mineures (de Smet et Rivier, 1989). Par ailleurs, l'absence de réglementation claire dans le secteur des plantes médicinales, notamment en Algérie, contribue à une exploitation anarchique des ressources végétales (Helali, Benchachou et Yagoub, 2022). Cette pression excessive sur les populations sauvages met en péril la durabilité de nombreuses espèces, et peut entraîner une perte de biodiversité significative (Hemmami *et al.*, 2023). Dans ce contexte, comme le stipule l'Article 8(j) de la Convention sur la diversité biologique (1992), il devient urgent de mettre en place des cadres juridiques et scientifiques permettant de réglementer l'utilisation de ces ressources tout en assurant la préservation des savoirs traditionnels.

1.2.4. Potentiel d'intégration dans la médecine moderne

Depuis l'Antiquité, les plantes médicinales occupent une place essentielle dans les pratiques de soins traditionnelles, notamment dans les régions où l'accès aux services de santé modernes demeure limité (Pan *et al.*, 2014). Dans plusieurs pays, ces savoirs ancestraux continuent de jouer un rôle central dans la prise en charge de la santé au quotidien. Des États comme la Chine, l'Inde ou le Maroc ont d'ailleurs reconnu l'importance de ces pratiques en les intégrant partiellement à leurs systèmes de santé publique (WHO, 2013).

Face à cet intérêt croissant, des organisations internationales telles que l'Organisation mondiale de la santé encouragent :

- la formation des professionnels de santé aux approches traditionnelles ;
- le soutien à la recherche scientifique sur les substances actives issues des plantes ;
- la mise en œuvre de cadres réglementaires garantissant la qualité et la sécurité des produits (WHO, 2013) .

Cette dynamique vise à établir un dialogue entre médecine traditionnelle et médecine moderne, en misant sur une approche complémentaire et respectueuse des savoirs autochtones (Bodeker et Kronenberg, 2002). Les études récentes sur les composés bioactifs, tels que les flavonoïdes et les polyphénols connus pour leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, illustrent le potentiel scientifique de ce patrimoine thérapeutique (Gumisiriza *et al.*, 2024).

1.3. Approches méthodologiques en recherche ethnopharmacologique

1.3.1. Méthodes qualitatives et quantitatives

L'enquête ethnopharmacologique repose sur une combinaison de méthodes qualitatives et quantitatives complémentaires (Heinrich *et al.*, 2009). Les méthodes qualitatives telles que les entretiens semi-directifs, l'observation participante et les récits de vie permettent de recueillir les représentations culturelles, les pratiques thérapeutiques et le vocabulaire local autour des remèdes. Elles sont essentielles pour situer les usages dans leur contexte socioculturel et pour la sélection initiale des espèces à étudier. Afin d'éviter les biais d'interprétation, ces approches doivent suivre des protocoles rigoureux d'enregistrement, de transcription et d'analyse thématique (Bernard, 2011).

Les méthodes quantitatives, quant à elles, servent à objectiver et prioriser les savoirs recueillis. Des indices tels que la valeur d'usage (*Use Value*, UV), la fréquence relative de citation (*Relative Frequency of Citation*, RFC), le facteur de consensus des informateurs (*Informant Consensus Factor*, ICF) et le niveau de fidélité (*Fidelity Level*, FL) permettent d'identifier les espèces les plus pertinentes pour des analyses chimiques ou pharmacologiques ultérieures (Ahmad *et al.*, 2017). Des tests statistiques sont également employés pour comparer les connaissances entre groupes d'informateurs (âge, sexe, profession) et pour évaluer la robustesse des corrélations entre variables écologiques et usages (Phillips et Gentry, 1993).

Le tableau suivant présente une comparaison synthétique entre ces deux approches appliquées aux recherches ethnopharmacologiques.

Tableau 1. Comparaison entre les approches qualitatives et quantitatives en ethnopharmacologie

Critère de comparaison	Approche qualitative	Approche quantitative
Objectif principal	Comprendre les perceptions, croyances et savoirs traditionnels liés aux usages des plantes médicinales.	Mesurer la fréquence, la distribution et la corrélation des usages ou des espèces citées.
Méthodes utilisées	Entretiens semi-directifs, discussions de groupe, observation participante.	Questionnaires structurés, inventaires, analyses statistiques.
Type de données	Données descriptives, narratives et contextuelles.	Données numériques, mesurables et comparables.
Échantillonnage	Petit nombre d'informateurs clés choisis pour leur expertise ou leur expérience.	Grand nombre de répondants, échantillonnage aléatoire ou systématique.
Analyse des données	Analyse de contenu, interprétation thématique.	Analyses statistiques (fréquences, indices d'importance relative, tests de corrélation).
Avantages	Approche riche et contextualisée ; permet d'accéder au sens culturel des pratiques.	Permet la généralisation, la comparaison entre sites ou populations.
Limites	Subjectivité de l'interprétation, difficulté de reproductibilité.	Risque de réduire la complexité culturelle à des chiffres.
Complémentarité	Sert à explorer et comprendre les savoirs.	Sert à valider et quantifier les observations qualitatives.

Ces deux approches, lorsqu'elles sont combinées, offrent une compréhension à la fois profonde et mesurable des pratiques traditionnelles, tout en renforçant la rigueur scientifique de l'étude (Martin, 1995; Alexiades, 1996; Cunningham, 2001; Heinrich *et al.*, 2009; Heinrich et Jager, 2015).

Bonnes pratiques méthodologiques :

- Définir clairement la population-cible et la stratégie d'échantillonnage (échantillonnage intentionnel/purposif pour informateurs clés ; échantillonnage aléatoire ou par quotas selon l'objectif).
- Combiner entretiens approfondis et questionnaires standardisés pour permettre comparaisons inter-études.
- Documenter systématiquement les données (fiches d'enquête, enregistrements audio, photos, coordonnées GPS des sites de collecte) (Alexiades, 1996).

1.3.2. Outils d'enquête et critères de sélection des informateurs

Les outils d'enquête mobilisés en ethnopharmacologie comprennent principalement les fiches d'ethnobotanique standardisées, les grilles d'entretien semi-structuré, les carnets de terrain, les questionnaires structurés, les enregistrements audio ou vidéo ainsi que les relevés GPS des sites de collecte (Silva *et al.*, 2014). L'identification botanique exige la collecte d'échantillons-vouchers, leur conservation et dépôt dans un herbier reconnu (avec numéro d'exsiccata) pour assurer la traçabilité taxonomique avant toute étude chimique ou pharmacologique (Martin, 1995). La prise de photographies et l'obtention des données écologiques (biotope, période de récolte) complètent la fiche d'échantillonnage (Alexiades, 1996).

Pour la sélection des informateurs, il est recommandé de privilégier une diversité socioculturelle incluant notamment les aînés, les guérisseurs ou tradipraticiens, les commerçants de plantes, les herboristes ainsi que les femmes et les hommes responsables des préparations domestiques, afin d'obtenir une représentation équilibrée des savoirs locaux (Leso *et al.*, 2017). Parmi les critères les plus pertinents figurent l'ancienneté ou l'expérience déclarée, la reconnaissance sociale (notamment la réputation de guérisseur), la spécialisation éventuelle (par exemple phytothérapie vs. usages culinaires) ainsi que la disponibilité à transmettre l'information (Leso *et al.*, 2017). L'échantillonnage peut ainsi combiner une approche «purposive», centrée sur les informateurs clés, et une approche «snowball» fondée sur le bouche-à-oreille pour identifier des détenteurs de savoirs difficiles à localiser (Dolores et Tongo, 2006). Pour les besoins de l'analyse, il est utile d'enregistrer les données démographiques des informateurs (âge, sexe, niveau d'éducation, profession) afin d'examiner leur influence éventuelle sur la distribution des connaissances (Phillips et Gentry, 1993).

La validation des données repose sur le recoupement des informations (triangulation) entre les témoignages oraux, les observations directes, la littérature locale et les données phytosociologiques. L'intégration d'indicateurs quantitatifs tels que le RFC, l'UV ou l'ICF permet de renforcer l'objectivité des résultats et d'orienter plus facilement la sélection des espèces à analyser sur les plans phytochimique et pharmacologique (Phillips et Gentry, 1993).

1.3.3. Cadre éthique, légal et déontologique de la recherche ethnopharmacologique

La recherche en ethnopharmacologie implique des enjeux éthiques majeurs tels que le respect des peuples et de leurs savoirs, l'obtention d'un consentement libre et éclairé, la préservation de la confidentialité, ainsi que la reconnaissance et le partage équitable des bénéfices (Awoke *et al.*, 2024). Les principes fondamentaux reposent notamment sur l'obtention d'un consentement libre, préalable et éclairé (CLPE) pour toute collecte d'informations ou d'échantillons, ainsi que sur la transparence quant à l'usage prévu des données et sur la garantie d'une confidentialité conforme aux attentes des communautés concernées (ISE, 2008).

Sur le plan juridique et normatif, la Convention sur la diversité biologique (CDB) et son Protocole de Nagoya constituent les principaux instruments encadrant l'accès aux ressources génétiques. Ces textes exigent la mise en place de procédures d'Accès et de Partage des Avantages (ABS) garantissant une rétribution juste et équitable des communautés détentrices de savoirs traditionnels. Les équipes de recherche doivent ainsi se conformer aux réglementations nationales relatives à l'ABS et, le cas échéant, négocier des accords de partage des avantages (MAT - Mutually Agreed Terms) avec les autorités compétentes et les communautés locales (CDB, 2010).

Les codes de déontologie et les bonnes pratiques occupent également une place centrale. Le Code of Ethics publié par l'International Society of Ethnobiology (ISE) constitue à cet égard une référence majeure : il insiste sur le respect des droits collectifs, l'accès équitable aux résultats, la restitution des informations aux communautés, la reconnaissance de la propriété intellectuelle traditionnelle et la mise en place de mécanismes de compensation appropriés. Les institutions de recherche et les comités d'éthique, qu'ils soient locaux ou internationaux, doivent par ailleurs valider les protocoles avant le début du travail de terrain (ISE, 2006).

Sur le plan pratique et contractuel, il est nécessaire d'établir des accords écrits formulaires de CLPE, protocoles d'étude, accords ABS/MAT et de prévoir des modalités adaptées de restitution des résultats (rapports en langue locale, réunions communautaires, ateliers de restitution). Des clauses explicites concernant la co-auteurisation, la propriété des échantillons et les formes de partage des avantages, qu'elles soient financières ou non financières (renforcement des capacités, infrastructures locales, transfert de technologies), doivent être intégrées lorsque cela s'applique (Albuquerque, Alves et Ferreira Júnior, 2025). La transparence et le respect des attentes des communautés renforcent la légitimité scientifique et l'acceptabilité sociale de l'ensemble du projet (Beato et Veneroso, 2023).

Chapitre 2. La famille des *Asteraceae* et le genre *Pallenis*

2.1. La famille des *Asteraceae*

2.1.1. Caractéristiques botaniques générales

La famille des *Asteraceae* (ou *Compositae*) est typiquement caractérisée par des inflorescences en capitule, entourées de bractées, et une grande variabilité morphologique : fleurs ligulées, tubulées ou discrètes, présence souvent de pappus pour la dissémination des graines (Tessier, 2020; Encyclopaedia Britannica, 2024). Les feuilles peuvent être simples ou composées, alternes ou opposées, avec des poils glandulaires dans certains genres (Funk *et al.*, 2009). Cette architecture florale particulière (Capitule) confère à cette famille une adaptation évolutive remarquable et une grande diversification (Rolnik et Olas, 2021).

Les composés chimiques typiques comprennent les lactones sesquiterpéniques, les polyphénols, les flavonoïdes, les acides phénoliques, les terpènes et les sesquiterpènes, ce qui explique en grande partie leur richesse pharmacologique potentielle (Sulsen *et al.*, 2017).

2.1.2. Répartition géographique et diversité écologique

Les *Asteraceae* constituent l'une des plus grandes familles de plantes à fleurs, avec environ 1600 à 1700 genres et entre 23 000 et 25 000 espèces dans le monde (Michel, Abd Rani et Husain, 2020). Elles se retrouvent dans une grande diversité d'habitats : zones tempérées, tropicales, arides, prairies, bords de routes, milieux semi-arides et zones montagneuses (Bohm et Stuessy, 2001). Certaines espèces prospèrent dans les milieux extrêmes où la compétition est limitée (Rolnik et Olas, 2021).

2.1.3. Intérêt médicinal et ethnobotanique

Dans de nombreuses traditions, les plantes de la famille des *Asteraceae* sont utilisées comme remèdes pour des affections variées (digestion, inflammations, infections, troubles métaboliques) (Nadaf *et al.*, 2025). Une revue récente montre que la majorité des usages documentés concernent les propriétés antioxydantes, suivies des effets anti-hyperlipidémiques, vasorelaxants, antithrombotiques et diurétiques (Michel, Abd Rani et Husain, 2020). D'autres auteurs soulignent le rôle de cette famille dans la médecine traditionnelle, notamment pour des usages immunomodulateurs et anti-inflammatoires (Jafarinia et Jafarinia, 2019).

2.1.4. Activités biologiques des espèces médicinales

Les espèces de cette famille ont fait l'objet de nombreuses études pharmacologiques montrant des activités telles que antioxydante, antimicrobienne, anti-inflammatoire, hépatoprotectrice, cytotoxique, antidiabétique, antiparasitaire (Kamaraj *et al.*, 2022; Mohanta *et al.*, 2023; Hussain, 2024). Par exemple, une étude vietnamienne sur 9 espèces d'*Asteraceae* a mis en évidence des capacités d'élimination de radicaux libres (DPPH) et une activité antimicrobienne (Trinh *et al.*, 2020). Une revue systématique récente compile les propriétés chimiques, biologiques et les applications nutritionnelles des herbes appartenant à la famille des *Asteraceae* (Kazeminia, Mehrabi et Mahmoudi, 2022).

2.2. Le genre *Pallenis*

2.2.1. Classification taxonomique et caractéristiques générales

Le genre *Pallenis* appartient à la tribu des Inuleae, au sein de la famille *Asteraceae*. Il est souvent traité comme un genre monotypique ou presque, selon les auteurs (Adoui *et al.*, 2023; Bozdog, 2023). Les espèces du genre montrent des caractères typiques : plantes herbacées ou suffrutescentes, feuilles simples, inflorescences en capitules composés de fleurs tubulées et fleurs ligulées selon les espèces, bractées souvent acérées ou ciliées. Le réceptacle floral est parfois chaffy (avec des pales) (El-Gazzar *et al.*, 2019).

2.2.2. Répartition géographique et habitats

Pallenis est principalement méditerranéen: Europe méridionale, Afrique du Nord, Moyen-Orient, îles Canaries (Amrani-Allalou *et al.*, 2021; Ouasti, Lesne and Bussmann, 2024). Les espèces préfèrent les sols secs, les prairies pierreuses, les falaises, les dunes côtières, et souvent les milieux perturbés ou les friches (Tutin *et al.*, 1976; Riefner et Greuter, 2012). L'espèce *Pallenis spinosa*, par exemple, est largement distribuée dans la région méditerranéenne (Amrani-Allalou *et al.*, 2021; Adoui *et al.*, 2023), comme l'illustre la Figure 1.

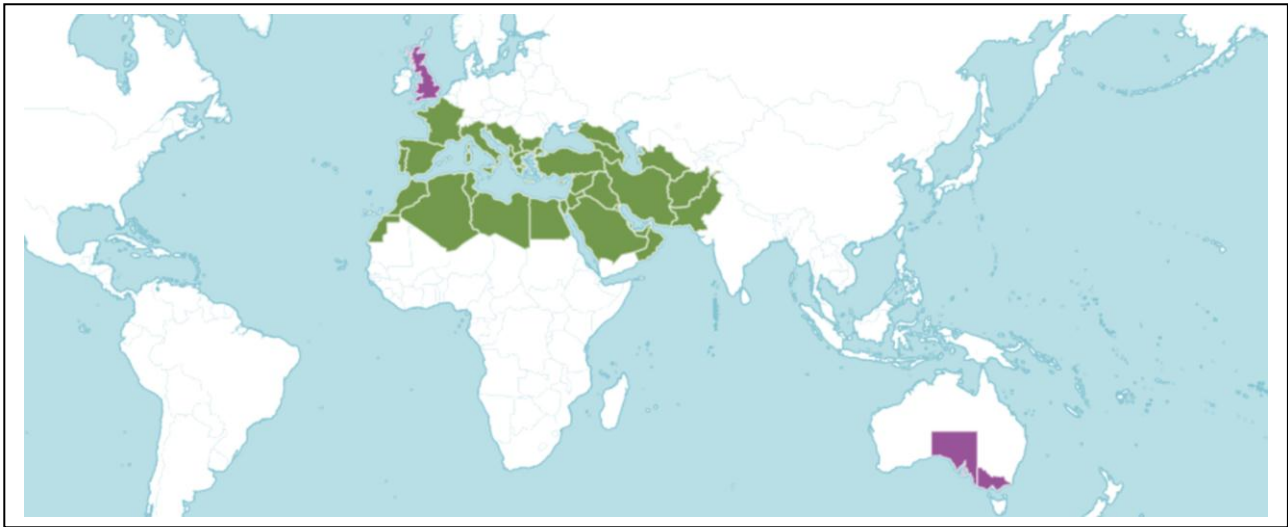


Figure 1. Aire de distribution du genre *Pallenis* selon POWO (POWO, 2024)

2.2.3. Intérêt ethnopharmacologique et potentiel médicinal

Les données ethnobotaniques et pharmacologiques récentes confirment que *Pallenis spinosa* représente une espèce d'un intérêt majeur, reliant les usages traditionnels à une validation scientifique de ses multiples activités biologiques.

Des études récentes ont exploré la valeur pharmacologique de *Pallenis spinosa*. Une analyse des composés volatils et non volatils a révélé une forte richesse en métabolites secondaires, avec des usages traditionnels pour le traitement de l'inflammation, des blessures cutanées et des infections buccales (Adoui *et al.*, 2023). Une autre étude algérienne a mis en évidence une activité antioxydante notable ainsi qu'un contenu élevé en caroténoïdes, chlorophylles et minéraux dans les feuilles de *P. spinosa*, confirmant ainsi son potentiel thérapeutique (Amrani-Allalou *et al.*, 2019).

Des travaux d'identification des composés phénoliques de *P. spinosa* ont également montré des effets inhibiteurs sur l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ACE) et sur l' α -amylase, suggérant un potentiel contre le diabète (Amrani-Allalou *et al.*, 2021). Par ailleurs, des études phytochimiques ont démontré que les huiles essentielles de *Pallenis spinosa* présentent une composition riche en sesquiterpènes et monoterpènes, associée à une activité antioxydante et cytotoxique significative (Al-Qudah *et al.*, 2017).

Une étude ethnopharmacologique menée dans la région de M'sila, de plus, documenté les usages traditionnels de l'espèce, notamment dans le traitement de diverses affections locales (Dellali et Torchi, 2022). Ainsi, le genre *Pallenis* suscite un intérêt croissant en tant que source potentielle de molécules bioactives novatrices dans le cadre de la pharmacopée moderne.

Chapitre 3. Synthèse bibliographique sur *Pallenis hierichuntica* (Michon)

Greuter, 1997

3.1. Description botanique et systématique de *Pallenis hierichuntica*

3.1.1. Morphologie générale de la plante

Pallenis hierichuntica (Michon) Greuter est une plante annuelle (therophyte) généralement de petite taille, atteignant en moyenne 5 à 15 cm de hauteur, mais la hauteur peut varier selon les conditions écologiques (Greuter, 1997; POWO, 2024). Elle est souvent sub-acaulescente, c'est-à-dire que la tige visible est très courte ou pratiquement absente, les rameaux ou les branches apparaissant surtout à la base, près du sol (Greuter, 1997; Kew, 2021).

Les feuilles sont basales et caulinaires. Elles sont de forme spatulée à obovée ou lancéolée, souvent étroites vers la base, élargies vers l'apex, marge entière (non dentée), parfois très légèrement mucronée. Elles sont couvertes d'un indument (poils) dense, long, soyeux ou floconneux, au début, puis pouvant devenir plus rugueuses ou partiellement dénudées selon l'âge des feuilles (Pignatti, 1982; POWO, 2021). L'aspect général de la plante en milieu naturel est illustré à la figure 2, montrant sa morphologie typique et son port bas caractéristique des milieux arides.



Figure 2. *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter, Aspect général de la plante en milieu naturel (POWO, 2021).

3.1.2. Structure florale et dispersion des fruits de *Pallenis hierichuntica*

L'inflorescence est constituée d'un capitule solitaire, terminal ou parfois axillaire, courtement pédonculé ou presque sessile, d'un diamètre d'environ 1,2 à 2 cm (Thieret, 1982; POWO, 2021). L'involucre comprend 2 à 3 rangs de bractées, les externes foliacées, rigides, à apex mucroné ou aigu, souvent plus longues que les fleurs ligulées (Kew, 2021). Les fleurs périphériques (ligulées) sont féminines, à ligules jaunes ou jaune-or, tandis que les fleurs centrales (tubulées) sont hermaphrodites (Tutin *et al.*, 1976; POWO, 2021).

Les fruits sont des akènes à pappus réduit formé de soies ou d'écailles scarieuses ; ils peuvent persister sur la plante après dessiccation (Thieret, 1982). L'involucre présente un comportement hydrochastique : il se ferme en période de sécheresse et s'ouvre à l'humidité, phénomène qui vaut à l'espèce le nom vernaculaire de « faux Rose de Jéricho » (Zohary, 1966; Teppner, 1995).

3.1.3. Cycle de vie et adaptations écologiques de *Pallenis hierichuntica*

La germination a lieu durant la saison humide, en hiver ou au début du printemps selon les régions (Bhatt *et al.*, 2016; PBSWM, 2023). La floraison et la fructification se déroulent typiquement entre mars et avril, mais peuvent s'étendre de janvier à juin en fonction de l'altitude et des conditions pluviométriques (Wiklund, 1985; Kew, 2021).

L'espèce présente une capacité marquée de résistance à la sécheresse : les parties aériennes desséchées peuvent persister et protéger les akènes retenus à l'intérieur de l'involucre. Lorsqu'une source d'humidité est disponible, l'involucre s'ouvre par hydrochasticité, exposant les fruits aux gouttes de pluie et favorisant leur dissémination ainsi qu'un ensemencement local efficace. Ce mécanisme, bien documenté chez les « Roses of Jericho » du genre *Anastatica* et également signalé chez la « false Rose of Jericho » *Pallenis hierichuntica*, a été décrit de manière détaillée tant au niveau expérimental qu'anatomique (Steinbrinck and Schinz, 1908; Friedman, Gunderman et Ellis, 1978; Teppner, 1995).

Pallenis hierichuntica se développe préférentiellement sur des sols secs, sablo-limoneux ou graveleux, typiques des prairies pierreuses, des steppes, des dunes côtières et des milieux perturbés. Elle peut également coloniser des substrats gypsiques, et se rencontre jusqu'à des altitudes avoisinant 1500 m selon les régions (Tutin *et al.*, 1976; Pignatti, 1982; Greuter, 1997).

3.1.4. Classification taxonomique et problèmes nomenclatureaux de *Pallenis hierichuntica*

Pallenis hierichuntica appartient à la famille des *Asteraceae*, tribu des *Inuleae* et sous-tribu des *Inulinae* (POWO, 2021). L'espèce a connu plusieurs réassignations génériques : décrite d'abord sous *Saulcya hierichuntica* (Michon, 1852), elle a ensuite été placée dans *Asteriscus* (*Asteriscus hierichunticus*) (Wiklund, 1985), avant d'être finalement transférée au genre *Pallenis* par Greuter (1997), position taxonomique aujourd'hui retenue par Flora Mediterranea ainsi que par Euro+Med PlantBase et Plants of the World Online (Euro+Med PlantBase, 2006; Kew, 2021).

Les synonymes les plus cités incluent: *Saulcya hierichuntica* (Michon, 1852), *Asteriscus hierichunticus* (Terpner, 1995), ou encore *Asteriscus pygmaeus* mentionné dans certains travaux. L'épithète spécifique correcte est *hierichuntica*, bien que la variante orthographique *hierochuntica* demeure fréquente dans la littérature (Teppner, 1995).

L'espèce est actuellement confirmée dans le genre *Pallenis* par les études récentes et les bases de données modernes (Kew, 2021; POWO, 2021).

3.2. Répartition biogéographique de *Pallenis hierichuntica*

3.2.1. Aires de distribution mondiales de *Pallenis hierichuntica*

Selon Plants of the World Online et d'autres sources, l'espèce *Pallenis hierichuntica* possède un aire de répartition native s'étendant du sud de l'Espagne (sud-est) et des îles Canaries (notamment Fuerteventura) jusqu'au Pakistan. Elle est présente en Afrique du Nord, incluant l'Algérie, le Maroc, la Tunisie, la Libye, l'Égypte et le Sahara Occidental. Dans la région de l'Asie de l'Ouest et du Moyen-Orient, l'espèce se rencontre en Syrie, en Palestine, en Jordanie, dans le Sinaï égyptien, dans plusieurs régions de la péninsule Arabique, ainsi qu'au sud de l'Iran et au Pakistan (Euro+Med PlantBase, 2006; Kew, 2021).

3.2.2. Répartition en Algérie et spécificités écologiques de *Pallenis hierichuntica*

Pallenis hierichuntica est signalée en Algérie parmi les pays de distribution confirmée (Euro+Med PlantBase, 2006; Kew, 2021; WFO, 2025). L'espèce occupe principalement des milieux arides à semi-arides, tels que les steppes, les rocailles et les plaines sablo-limoneuses ou graveleuses, avec une tolérance occasionnelle aux substrats gypsiques (Wiklund, 1985).

Les études floristiques récentes sur les écosystèmes steppiques de l'est algérien (Senoussi *et al.*, 2020; Macheroum *et al.*, 2021) confirment la prédominance d'espèces xérophiles d'*Asteraceae* dans ces habitats, contexte auquel appartient *P. hierichuntica*.

Il est possible que l'espèce se rencontre ponctuellement sur sols sablo-limoneux dans certaines régions, mais aucune étude publiée ne décrit encore ses populations naturelles ni leur écologie spécifique en Algérie, ce qui souligne le besoin d'investigations complémentaires sur le terrain.

3.3. Usages traditionnels de *Pallenis hierichuntica*

En Arabie Saoudite, *Pallenis hierichuntica* est recensée dans la flore locale (Collenette, 1999). Les noms vernaculaires rapportés incluent « نقد » (*Naqd*), « بركات » (*Barakat*) et parfois « عين البقر » (*Ain al-Baqr*) ou « جهويان » (*Jahwiyan*), selon les sources locales (KSA Nature, no date; Abdullah and Al Dosari, 2022). Ces dénominations reflètent l'ancrage de l'espèce dans la culture botanique régionale, bien que les usages médicaux ou rituels spécifiques demeurent peu documentés dans la littérature scientifique.

Un usage souvent cité localement : certains habitants prétendent que la plante sèche, peut être utilisée dans les foyers pour ses odeurs ou pour éloigner les parasites (KSA Nature, no date; Ullah *et al.*, 2020). Ces pratiques reflètent l'intégration de l'espèce dans les traditions domestiques et symboliques, même si elles restent peu étudiées scientifiquement.

3.4. Données phytochimiques et propriétés pharmacologiques de *Pallenis hierichuntica*

Jusqu'à présent, les études phytochimiques publiées concernent *Pallenis hierichuntica* en particulier, ainsi que, plus largement, des extraits du genre *Pallenis*. Ces travaux permettent d'identifier les principaux métabolites secondaires et d'évaluer leur rôle dans les activités biologiques de l'espèce.

3.4.1. Principaux constituants chimiques de *Pallenis hierichuntica*

Les travaux récents de V. Imieje et collaborateurs représentent une source majeure d'informations sur la composition chimique de *Pallenis hierichuntica*. L'étude réalisée par Imieje, Falodun et Zaki (2022), publiée dans *Acta Chimica Slovenica*, a permis d'identifier plusieurs métabolites bioactifs dans les extraits étherés et méthanoliques de la plante. Les analyses chromatographiques et spectroscopiques ont révélé la présence de sesquiterpènes (notamment α -humulène et caryophyllène oxyde), de diterpènes, de flavonoïdes et d'acides gras tels que l'acide stéarique. Ces composés, en particulier les dérivés terpéniques, sont considérés comme responsables d'une partie de l'activité antimicrobienne et antiprotéozaires observée.

Une étude complémentaire (Imieje *et al.*, 2021, *Records of Natural Products*) s'est concentrée sur des dérivés d'humulène isolés d'*Asteriscus hierochunticus*, taxon étroitement apparenté à *P. hierichuntica*. Ces dérivés, appartenant à la classe des sesquiterpènes oxygénés, ont montré une

activité biologique notable contre *Leishmania donovani*, associée à une inhibition probable de la tubuline parasitaire (in silico).

Ces résultats confirment que les métabolites dominants du genre *Pallenis* appartiennent principalement à la famille des composés terpéniques (monoterpènes et sesquiterpènes), accompagnés de flavonoïdes et d'acides phénoliques susceptibles de renforcer l'activité antioxydante et antimicrobienne globale de la plante (voir Annexe 1 pour le tableau détaillé).

3.4.2. Activités biologiques rapportées de *Pallenis hierichuntica*

Les investigations pharmacologiques menées par Imieje et collaborateurs ont révélé que *Pallenis hierichuntica* possède un large éventail d'activités biologiques, incluant des effets antimicrobiens, antiplasmodiaux et antileishmaniens, reflétant la richesse bioactive et le potentiel médicinal de l'espèce.

A. Activité antimicrobienne

Les fractions méthanoliques et étherées ont montré une inhibition marquée de la croissance de plusieurs bactéries pathogènes (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*), ainsi que des champignons tels qu'*Aspergillus fumigatus*. Ces effets sont attribués à une synergie entre les sesquiterpènes oxygénés et certains flavonoïdes présents dans les extraits (Imieje, Falodun et Zaki, 2022).

B. Activité antiplasmodiale

Les extraits ont également révélé une activité significative contre *Plasmodium falciparum*, avec des IC₅₀ modérées pour les fractions méthanoliques et étherées. L'effet est principalement lié aux sesquiterpènes oxygénés, susceptibles d'interagir avec des enzymes clés du métabolisme parasitaire (Imieje, Falodun et Zaki, 2022).

C. Activité antileishmanienne

Les extraits ont montré une inhibition notable de *Leishmania donovani*, confirmée par les travaux d'Imieje et al. (2022). Les dérivés d' α -humulène isolés d'*Asteriscus hierochunticus* ont démontré une activité antileishmanienne puissante, corroborée par des modélisations in silico suggérant une inhibition probable de la tubuline parasitaire (Imieje et al., 2021). Ces résultats mettent en évidence le rôle central des métabolites terpéniques dans le potentiel thérapeutique de l'espèce.

3.5. Potentiel de valorisation, limites et perspectives de *Pallenis hierichuntica*

3.5.1. Risques et limites liés à une utilisation non contrôlée de *Pallenis hierichuntica*

À ce jour, aucune étude de toxicité in vivo ou clinique n'a été réalisée sur *Pallenis hierichuntica*, ce qui limite son application thérapeutique directe. Certains composés réactifs, tels que les hydroperoxydes de bisabolone, pourraient provoquer des effets indésirables, notamment des irritations, des réactions allergiques ou une toxicité hépatique en cas d'usage excessif (Alan Andersen, 1999; Eddin *et al.*, 2022). De plus, la présence de métabolites secondaires, tels que flavonoïdes, phénols et terpénoïdes, pourrait interférer avec les enzymes du cytochrome P450, entraînant des interactions médicamenteuses potentielles (Pang *et al.*, 2012; Kondža, Brizic et Jokić, 2024).

Sur le plan écologique, une récolte non régulée menace la régénération des populations naturelles et la stabilité des écosystèmes arides où l'espèce se développe, compromettant ainsi la durabilité de ses habitats (Bennett, 2023; Hemmami *et al.*, 2023; Dougan, 2024).

3.5.2. Potentiel de valorisation de *Pallenis hierichuntica*

Les propriétés biologiques de *Pallenis hierichuntica* confirment son fort potentiel thérapeutique. Les bisabolones hydroperoxydés isolés de cette espèce constituent des candidats prometteurs pour la recherche pharmacologique (Imieje *et al.*, 2022; Imieje, Falodun et Zaki, 2022). La mise en culture contrôlée de la plante, en alternative à la cueillette sauvage, permettrait de garantir la durabilité des ressources naturelles tout en assurant la qualité des extraits. Avant toute exploitation industrielle, il est toutefois nécessaire de réaliser des études supplémentaires portant sur la standardisation, la stabilité et la sécurité des composés bioactifs.

Enfin, la valorisation locale de *P. hierichuntica* pourrait contribuer au développement durable des zones arides, en conciliant innovation biotechnologique, conservation de la biodiversité et retombées socio-économiques positives.

PARTIE II : Matériel et Méthodes

1. Collecte et préparation du matériel végétal

1.1. Sites de prélèvement : localisation et caractéristiques

L'étude ethnopharmacologique ainsi que la collecte de *Pallenis hierichuntica* aux deux stades phénologiques (floraison et fructification) ont été réalisées dans la wilaya de Tébessa, située à l'extrême Est de l'Algérie, à la frontière avec la Tunisie. Cette wilaya consiste en une zone de transition bioclimatique : le semi-aride à subaride, avec 200-400 mm de précipitations annuelles. Le semi-aride (300-400 mm/an) domine la partie nord (notamment les communes de Bir Dheb et El Houdjbet), tandis que le sub-aride (200-300 mm/an) s'étend sur les plateaux steppiques d'Oum Ali, Safsaf El Ouesra, Thlidjene, Bir El Ater (Boumesrane, 2020) et El Ogla.

La végétation est typiquement steppique, marquée par l'installation de groupements à *Artemisia herba-alba*, *Stipa tenacissima* (alfa) et *Lygeum spartum*, caractéristiques des parcours steppiques du Nord-Est algérien (Nedjraoui, 2006).

L'enquête a été effectuée dans les quatre communes représentatives suivantes : Bir El Ater, El Houdjbet, El Ogla et Bir Dheb présentant des conditions écologiques favorables à la croissance spontanée de l'espèce. Le site principal de prélèvement est localisé dans la zone de Betita (commune de Bir El Ater), incluse dans le bassin phosphaté du Djebel Onk (secteur Oued Betita) (Figure 3).

Cette zone se caractérise par des formations superficielles présentant une fraction sableuse notable, issue d'apports éoliens et fluviaux (Ferrag dit Alleg, 2010).

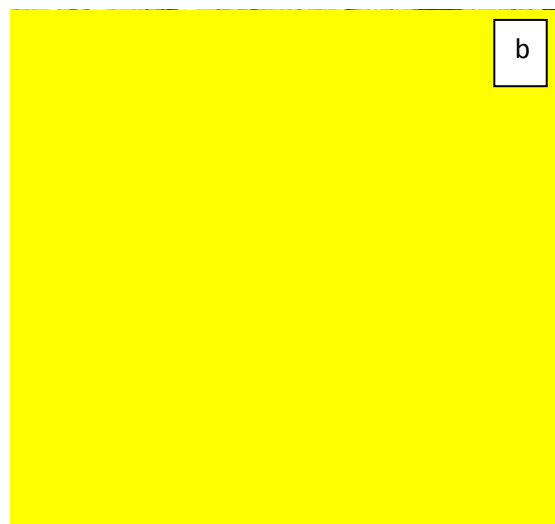
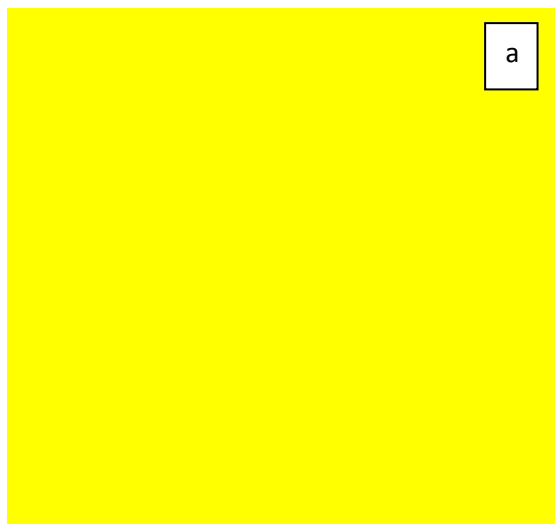
Des échantillons de sol (0-20 cm) ont été prélevés en schéma W (5 carottes composées, ~1 kg/site), tamisés à 2 mm puis analysés au laboratoire FERTIAL selon des normes ISO (texture, pH, conductivité électrique, matière organique, calcaire total, et au besoin CEC/nutriments), avec contrôle qualité. Les méthodes et résultats détaillés figurent en Annexe 2.

1.2. Collecte du matériel végétal

La collecte de *Pallenis hierichuntica* a été réalisée à Betita (commune de Bir El Ater, wilaya de Tébessa ; WGS84), dans une démarche de gestion responsable des bioressources. Deux campagnes distinctes ont été menées pour capter l'effet phénologique : 3 février 2020 (floraison) et 11 février 2020 (fructification). Les deux phases ont été échantillonnées sur deux micro-stations appariées du même site, en conditions écologiques comparables. À titre de repère, une micro-station de référence est située à 34°41'05,7" N ; 8°02'20,5" E ; ~799 m d'altitude (WGS84).

Avant le prélèvement, la densité et la couverture ont été estimées sur 5 quadrats de 4 m² par micro-station. L'échantillonnage, partiellement destructif mais strictement limité, a porté sur des individus sains tirés aléatoirement avec espacement ≥ 10 m (pour limiter la dépendance spatiale). Le quota par micro-station a été plafonné à min (3 individus ; $0,03 \times N$), où N est le nombre total d'individus recensés avant collecte. Plus de 95 % des individus reproducteurs ont été laissés en place ; l'impact local est ainsi estimé de façon conservatrice à < 5 % (fondé sur la fraction prélevée).

Les spécimens ont servi à l'herbier, à l'anatomie et aux analyses phytochimique et biologique. Aucun permis spécifique n'a été requis (espèce non protégée localement, *P. hierichuntica* n'étant ni inscrite sur la liste rouge de l'UICN (Ali-Shtayeh, Jamous et Zaitoun, 2025; IUCN, 2025) ni protégée par la CITES (CITES, 2025) ; toutes les opérations ont été conduites dans le respect des principes éthiques et des réglementations environnementales en vigueur. La traçabilité a été assurée par un cahier de terrain (substrat, végétation associée, perturbations, météo du jour) et des photos *in situ*. Deux photographies *in situ* illustrant les deux phases phénologiques (floraison et fructification)



sur
le
site
de
Betita
sont
présentés
ci-après

(Figure 4 [a -b]).

Figure 4. *Pallenis hierichuntica* observée sur le site de Betita (commune de Bir El Ater, wilaya de Tébessa), à deux stades phénologiques : (a) floraison, 3 février 2020 ; (b) fructification, 11 février 2020. Crédit photo : Bouchra Harsa.

1.3. Identification botanique et dépôt des échantillons à l'herbier

L'identification botanique de *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter a été réalisée en deux étapes. D'abord, une détermination morphologique faite par l'auteure à l'aide des flores de référence (Ozenda, 1958; Quezel et Santa, 1963), dans lesquelles l'espèce était mentionnée sous ses anciens noms. Ensuite, cette identification a été confirmée par l'avis du Dr. Salah Eddine DJOUDI (Université Ziane Achour, Djelfa) et Pr. BENHOUHOU Salima (ENSA) (Annexe 3) et validée par la consultation de bases de données internationales Tropicos (2021) , World Flora Online (2025) conformément aux descriptions de Blanca & Cueto (2007) , Greuter (1997) et Teppner (1995) (Jeddi, Ouaritini et Fikri-Benbrahim, 2021).

Il est à noter que, dans ces ouvrages classiques, l'espèce est traitée sous le synonyme *Asteriscus pygmaeus* (DC.) Coss. & Durieu (syn. *Odontospermum pygmaeum* (DC.) O. Hoffm.), correspondant à *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter au sens actuel ; cette correspondance des synonymes est étayée par la révision de Wiklund (1985) et par les portails Euro+Med PlantBase (2006) et World Flora Online (2024).

Les spécimens séchés et étiquetés ont été déposés à l'Herbier de l'ENSA (Alger), fournissant une référence botanique fiable pour les travaux futurs.

1.4. Histologie des racines, tiges et feuilles de *Pallenis hierichuntica*

Les organes de *Pallenis hierichuntica* (racines, tiges et feuilles) ont été fixés pendant moins de 24 h dans une solution FAA (Formol : Acide Acétique glacial : Ethanol (70 %) ; 5:5:90, v/v/v). Après un rinçage à l'éthanol (70 %), des coupes transversales très fines ont été obtenues manuellement au moyen d'une lame de rasoir, en respectant une orientation strictement perpendiculaire à l'axe des organes. Les sections ont été immédiatement transférées dans de l'eau distillée pour éviter tout dessèchement.

Les coupes transversales ont été clarifiées 10-15 min dans une solution d'hypochlorite de sodium diluée (1:1 à partir d'un NaOCl commercial ~5 %), suivies d'un double rinçage à l'eau distillée. Un bref traitement alcalin (hydroxide de sodium 5 %, 2-5 min) a ensuite été appliqué, puis neutralisé dans une eau distillée acidifiée (acide acétique 1-2 %, 1-2 min).

La double coloration a été réalisée successivement par le vert de méthyle (3-5 min, coloration verte des tissus lignifiés/sclérifiés) puis par le rouge Congo (15 min, marquage rose des parois celluloses), avec de courts rinçages intermédiaires.

Les observations morphologiques préliminaires et la préparation des échantillons ont été réalisées à l'aide d'un stéréomicroscope Leica (modèle binoculaire, équipé d'un double système d'éclairage incident et transmis). Cet appareil a servi à examiner la morphologie externe des organes (racines,

tiges, feuilles et inflorescences) et à sélectionner les fragments destinés à l'analyse histologique ultérieure (Annexe 4).

Les coupes fines obtenues manuellement ont ensuite été montées à l'eau glycinée (glycérol : eau, 1:1) sous lamelle et examinées au microscope optique Leica DM LS2, en lumière transmise ($\times 10$ - $\times 40$). Au moins cinq sections transversales nettes et perpendiculaires par organe ont été retenues afin d'assurer la fiabilité et la représentativité des observations anatomiques, conformément à la méthode décrite par Paris et Hurabielle (1976) (Sofiane, 2018) et adaptée selon Ruzin (1999).

2. Enquête ethnopharmacologique de *Pallenis hierichuntica*

2.1. Zone d'étude et sélection des participants

L'enquête ethnopharmacologique a été réalisée dans la wilaya de Tébessa (Est de l'Algérie) et a couvert quatre communes rurales : Bir El Ater, El Houidjbet, El Ogla et Bir Dheb. Ces zones ont été retenues en raison de la richesse de leurs savoirs traditionnels liés aux plantes médicinales ainsi que de la présence naturelle de l'espèce étudiée *Pallenis hierichuntica*.

L'échantillonnage a reposé sur une méthode dirigée (*purposive sampling*), en ciblant les catégories sociales reconnues comme détentrices principales des connaissances ethnopharmacologiques, à savoir : herboristes, pasteurs et femmes âgées. Afin d'élargir la représentativité, la méthode dite de la boule de neige (*snowball sampling*) a été utilisée, certains participants orientant la chercheuse vers d'autres informateurs réputés pour leur expertise en médecine traditionnelle.

L'échantillon final a été fixé à 400 participants, garantissant un niveau de confiance de 95 % avec une marge d'erreur acceptable. La répartition des participants entre les quatre communes de la wilaya de Tébessa (Figure 3) a été effectuée de manière proportionnelle à leur poids démographique, assurant une représentativité spatiale adéquate.

Des quotas minimaux ont été appliqués pour les détenteurs clés du savoir tout en maintenant une diversité sociodémographique (sexe, âge, niveau d'instruction et profession). La participation était volontaire et basée sur un consentement libre et éclairé, obtenu oralement et, lorsque possible, confirmé par signature.

L'enquête s'est déroulée sur une période de trois ans, entre 2020 et 2022, permettant de couvrir plusieurs saisons de collecte et de réduire les biais liés à la temporalité. Malgré les contraintes imposées par la pandémie de COVID-19, la continuité des entretiens a été assurée grâce à des adaptations locales (contacts préalables, entretiens en plein air et respect des mesures sanitaires).

2.2. Collecte des données

La collecte a été réalisée au moyen de questionnaires structurés et d'entretiens semi-structurés (Annexe 5) portant sur :

- les espèces médicinales utilisées,
- les parties végétales employées,
- les modes de préparation et d'administration,
- les affections traitées,
- la transmission des savoirs,
- les croyances et rituels associés.

Les questions ont été posées en arabe dialectal et, ponctuellement, en berbère chaoui avec l'appui d'une traductrice locale, afin d'assurer la compréhension et la fidélité des réponses. Les données ont ensuite été traduites en français et organisées dans des tableaux analytiques.

Le questionnaire a été pré-testé sur 20 informateurs (Martin, 1995; Alexiades, 1996). Des observations directes (observation participante) ont complété les entretiens pour valider la concordance entre déclarations et pratiques réelles.

2.3. Considérations éthiques

Un consentement oral, libre et éclairé a été recueilli auprès de tous les participants. L'anonymat et la confidentialité des réponses ont été garantis.

En l'absence de comité d'éthique local, le protocole a été validé par le directeur de thèse, garantissant la conformité scientifique. Les principes de l'éthique en ethnopharmacologie ont été respectés, conformément :

- à la Déclaration d'Helsinki (2013), adaptée aux recherches ethnobotaniques,
- au Code d'éthique de l'International Society of Ethnobiology (ISE, 2006),
- à la Convention de l'UNESCO pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel (2003),
- et au Protocole de Nagoya (2010) relatif à l'accès et au partage des avantages (APA) (CDB, 2010).

2.4. Analyses statistiques et indices ethnobotaniques

Les données recueillies ont été examinées à travers des approches à la fois qualitatives et quantitatives, permettant de mettre en évidence les relations entre les variables ethnobotaniques, les caractéristiques sociodémographiques et les usages traditionnels de *Pallenis hierichuntica*.

2.4.1. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été conduites à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics v.26. Les tests non paramétriques, notamment le test du χ^2 pour l'étude des associations entre variables qualitatives, ainsi que les tests de Mann-Whitney et de Kruskal-Wallis pour la comparaison des distributions ordinales entre groupes indépendants, ont été mobilisés afin d'évaluer les relations entre les fréquences d'usage, les modes de préparation et les variables sociodémographiques (sexe, âge, profession, commune). Le seuil de signification statistique a été fixé à $p < 0,05$.

Les représentations graphiques (figures descriptives, histogrammes comparatifs, indices ethnobotaniques) ont été produites sous Excel et Python (bibliothèque *matplotlib* v.3.8), puis

vérifiées sous SPSS, ce qui a permis d'obtenir des illustrations homogènes et conformes aux standards de présentation scientifique.

2.4.2. Indices ethnobotaniques

Plusieurs indices classiques et complémentaires ont été calculés afin d'estimer l'importance relative des espèces, les organes les plus sollicités et le degré de consensus entre informateurs :

Valeur d'usage (UV) : $UV = \sum UR_i / N$ (Phillips et Gentry, 1993).

Fréquence relative de citation (RFC) : $RFC = FC / N$ (Tardío et Pardo-De-Santayana, 2008).

Niveau de fidélité (FL%) : $FL\% = (N_{\square} / N_{\square}) \times 100$ (Friedman *et al.*, 1986).

Facteur de consensus des informateurs (ICF) : $ICF = (N_{ur} - N_{\square}) / (N_{ur} - 1)$ (Trotter *et al.*, 1986).

Informant Agreement Ratio (IAR) : $IAR = (UR - S) / (UR - 1)$ (Bennett & Prance, 2000)

Indice d'importance culturelle (CI) : $CI = \sum_u (UR_u / N)$ (Tardío et Pardo-De-Santayana, 2008)

Valeur d'usage par organe (UV_part) : $UV_{part} = \sum (UR_{i,part}) / N$

Les indices complémentaires de diversité intra-communale, tels que l'indice de Shannon-Wiener (H') et l'indice d'équitabilité de Pielou (J'), ont servi à évaluer la distribution des savoirs au sein des différentes communes. La similarité inter-communale a, quant à elle, été estimée à l'aide de l'indice de Jaccard (J).

L'indice d'importance culturelle (CI) a été calculé selon la formule : $CI = \sum_u (UR_u / N)$ (Tardío et Pardo-De-Santayana, 2008).

La valeur d'usage par organe (UV_part) a été déterminée par : $UV_{part} = \sum (UR_{i,part}) / N$

Enfin, le rapport d'accord entre informateurs (Informant Agreement Ratio, IAR) a été calculé selon la relation : $IAR = (UR - S) / (UR - 1)$ (Bennett et Prance, 2000).

Les indices et analyses statistiques obtenus ont permis de caractériser les tendances d'usage, la distribution des connaissances au sein des différents groupes sociaux et le niveau de consensus autour des usages thérapeutiques de *Pallenis hierichuntica*.

3. Extraction et conservation des extraits de *Pallenis hierichuntica*

3.1. Préparation des échantillons : nettoyage, séchage, broyage

Au stade de floraison, les parties aériennes (feuilles, tiges, capitules floraux) et les organes souterrains de *Pallenis hierichuntica* ont été étudiés, en parallèle avec l'analyse spécifique de la partie aérienne. Au stade de fructification, l'étude a porté sur les parties aériennes (tiges, fruits) et les organes souterrains, incluant également la partie aérienne prise isolément.

Afin de faciliter la présentation des résultats et des méthodes, les extraits issus des différentes parties de la plante ont été codés comme suit :

- Stade de floraison (Fl) : Feuilles (F), Tiges (TFI), Capitules floraux (Fle), Racines (RFl), Partie aérienne (PFl).
- Stade de fructification (Fr) : Fruits (Fru), Tiges (TFr), Racines (RFr), Partie aérienne (PFr).

Ces abréviations seront utilisées dans toutes les sections analytiques et biologiques du chapitre.

Les échantillons ont été soigneusement nettoyés à l'aide d'un pinceau souple afin d'éliminer les poussières et les impuretés, puis soumis aux mêmes conditions de séchage : à température ambiante (20-25 °C), à l'ombre, dans un environnement sec et ventilé, jusqu'à obtention d'un poids constant, conformément aux recommandations des GACP (WHO, 2018) et de la Pharmacopée Européenne, 10^e éd. (EDQM, 2020). La teneur en humidité des différents organes a été déterminée par la méthode gravimétrique. Des échantillons frais ont été pesés (poids frais), puis séchés à l'air libre, dans les mêmes conditions (20-25 °C), à l'ombre, dans un environnement sec et ventilé jusqu'à obtention d'un poids constant (poids sec).

Le pourcentage d'humidité a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Teneur en humidité (\%)} = (\text{Poids frais} - \text{Poids sec}) / \text{Poids frais} \times 100$$

Les échantillons séchés ont ensuite été conservés dans un local sec, à l'abri de la lumière, et à température ambiante.

Des spécimens témoins (vouchers) ont été préparés (pressage, séchage, étiquetage) et déposés à l'herbier de référence. Le broyage des échantillons séchés a été effectué à l'aide d'un broyeur planétaire (Retsch PM100, 25 Hz, 15 min), permettant d'obtenir une poudre homogène de granulométrie < 64 µm. Les poudres obtenues ont été conditionnées dans des flacons opaques en verre ambré, hermétiques et protégés de la lumière et de l'humidité.

Un système rigoureux de codification et de traçabilité (code site, date de collecte, phénophase) a été appliqué à chaque lot. La qualité des poudres a été vérifiée à travers un contrôle sensoriel (couleur, odeur, absence de moisissures) et une vérification de l'homogénéité granulométrique, réalisée conformément aux normes ISO 3310-1:2016 (test sieves en maille métallique) et ISO 565:1990 (tailles nominales des ouvertures).

3.2. Procédure d'extraction et solvants utilisés

L'extraction des métabolites secondaires de différents organes et parties de *Pallenis hierichuntica* aux stades de floraison et de fructification a été effectuée par macération dans un mélange hydro-méthanolique (méthanol/eau, 50:50, v/v), méthode couramment utilisée pour l'extraction des polyphénols et des flavonoïdes (Do *et al.*, 2013). La poudre végétale séchée a été mise en contact avec le solvant sous agitation magnétique, à température ambiante, pendant 72 h. L'opération a été répétée trois fois. Après filtration, les extraits ont été concentrés sous pression réduite à 35 °C à l'aide d'un évaporateur rotatif.

3.3. Lyophilisation et stockage des extraits de *Pallenis hierichuntica*

Après concentration sous pression réduite, les extraits hydro-méthanolique ont été congelés puis lyophilisés à l'aide d'un lyophilisateur de paillasse CHRIST Alpha 1-2 LD plus (Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Allemagne). Le programme appliqué comporte une phase de congélation, suivie d'un séchage primaire (6 h, 0,200 mbar) et d'un séchage secondaire (24 h, 0,010 mbar). Les poudres sèches obtenues ont ensuite été pesées et conditionnées dans des flacons hermétiques opaques et conservées à -20 °C, à l'abri de l'humidité et de la lumière, en vue des analyses ultérieures.

Le rendement global de l'extraction a été calculé selon le rapport entre la masse de l'extrait sec obtenu après lyophilisation et la masse de la matière végétale sèche initiale, exprimé en pourcentage du poids sec.

3.4. Extraction des huiles essentielles par hydro-distillation de *P. hierichuntica*

Les huiles essentielles ont été extraites à partir des capitules floraux fraîches et du fruit par hydro-distillation, en utilisant un appareil de type Clevenger. Une quantité de 100 g de matériel végétal a été soumise à une distillation à la vapeur d'eau pendant trois heures. L'huile recueillie a été séparée de la phase aqueuse, séchée à l'aide de sulfate de sodium anhydre, puis stockée dans des flacons en verre brun afin de limiter l'oxydation. Les échantillons ont été conservés à 4 °C jusqu'à leur utilisation (Filly *et al.*, 2016).

Le rendement a été calculé selon le rapport de la masse de l'huile obtenue et la masse de la matière végétale initiale exprimé en pourcentage de poids sec.

4. Etude phytochimique des extraits de *Pallenis hierichuntica*

4.1. Dépistage qualitatif des métabolites secondaires

Un criblage phytochimique préliminaire a été réalisé afin de mettre en évidence la présence des principaux groupes de métabolites secondaires : flavonoïdes, coumarines, stéroïls, terpènes, triterpènes, tanins catéchiques, tanins galliques, saponines, leucoanthocyanes et quinones. Les tests ont été effectués selon des méthodes classiques de pharmacognosie, basées sur l'apparition de colorations spécifiques ou la formation de précipités après addition de réactifs appropriés aux extraits méthanoliques.

Ces tests ont été élaborés sur les extraits hydrométhanoliques suivants :

Floraison (Fl) : Inflorescences (Fle), Tige (TFI), Feuille (F), Racine (RFI), Partie aérienne (PFI).

Fructification (Fr) : Fruit (Fru), Tige (TFr), Racine (RFr), Partie aérienne (PFr).

4.1.1. Identification des flavonoïdes (test de Shibata)

À 2 mL de la fraction méthanolique de chaque extrait, 1 mL d'HCl concentré est ajouté. Après agitation, quelques copeaux de magnésium sont introduits.

Caractérisation : une effervescence suivie d'une coloration rose à rouge indique la présence de flavonoïdes (Dohou *et al.*, 2003).

4.1.2. Identification des coumarines (test de Feigl-Frehden-Anger)

À 1 mL de la fraction méthanolique de chaque extrait, 0,5 mL d'ammoniaque (25 %) est ajouté. Après agitation, la fluorescence est observée sous lampe UV (365 nm).

Caractérisation : une fluorescence intense indique la présence de coumarines (Bouquet, 1972).

4.1.3. Identification des stéroïls et terpènes (test de Liebermann-Burchard)

Dans Trois tubes, 1 mL de chaque extrait méthanolique est déposé. Le premier tube va servir comme témoin, on ajoute dans les deux autres tubes deux à trois gouttes d'anhydride acétique et quelques gouttes d'H₂ SO₄ concentré.

Caractérisation : La présence de terpenoïdes est indiquée par l'apparition d'une couleur rouge-violet, tandis que la présence de stéroïdes est indiquée par la formation d'une couleur brun rougeâtre (Dohou *et al.*, 2003).

4.1.4. Identification des tanins (test de Stiasny)

a) À 1 g de fraction méthanolique de chaque extrait dissous dans 2 mL d'eau bouillante, on ajoute quelques gouttes de FeCl_3 (1 %).

Caractérisation : coloration vert-noir indique la présence des tanins catéchiqes.

b) À 1 mL de la fraction infusée, saturée par l'acétate de sodium, on ajoute quelques gouttes de FeCl_3 (1 %).

Caractérisation : coloration bleu-noir indique la présence des tanins galliques (Najjaa *et al.*, 2011).

4.1.5. Identification des saponines (Test de mousse)

5 mg d'extrait méthanolique de chaque organe ou partie sont mélangés à 1 g de Na_2CO_3 dissous dans 1 mL d'eau distillée et agités pendant quelques secondes.

Caractérisation : la formation d'une mousse persistante en nid d'abeille indique la présence de saponines (Dohou *et al.*, 2003).

4.1.6. Identification des leucoanthocyanes

Une fraction méthanolique de chaque extrait est mélangée à 2 mL d'HCl concentré et chauffée au bain-marie pendant 90 °C pour une durée de 15 min.

Caractérisation: l'apparition d'une coloration rouge confirme la présence de leucoanthocyanes (Mibindzou, 2004).

4.1.7. Identification des quinones

À 1 mL de l'extrait méthanolique de chaque organe ou partie, on ajoute 1 mL de NaOH (1 N) avec agitation.

Caractérisation : le développement d'une coloration rouge-brun indique la présence de quinones (Bouquet, 1972).

4.1.8. Identification des alcaloïdes (Test de Dragendorff)

Pour la recherche des alcaloïdes, 5 g de poudre végétale sont introduits dans un récipient puis extraits par 50 mL d'une solution acide à 1 % (généralement HCl ou H_2SO_4 dilué à 1 %). Le mélange est laissé en macération puis filtré. Au filtrat acide, on ajoute quelques gouttes du réactif de Dragendorff.

Caractérisation : L'apparition d'un précipité orangé indique la présence d'alcaloïdes (Harborne, 1998) .

4.2. Analyse quantitative des extraits de *Pallenis hierichuntica*

4.2.1. Détermination de la teneur totale en composés phénoliques (TPC)

La teneur totale en composés phénoliques des extraits a été évaluée selon la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu avec quelques modifications, telle que décrite par Singleton, Orthofer et Lamuela-Raventós (1999) . En bref, 0,5 mL de chaque solution d'extrait a été mélangé avec 5 mL de réactif de Folin-Ciocalteu (1 N). Après 5 minutes, le mélange réactionnel a été neutralisé avec 4 mL de solution de carbonate de sodium saturée (75 g/L) puis incubé pendant 2 h à température ambiante et à l'obscurité. L'absorbance a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible (Shimadzu UV-1800, Japon). Une courbe d'étalonnage a été établie à partir de l'acide gallique (0-200 µg/mL) et les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ES). Toutes les analyses ont été réalisées en triplicata et exprimées sous forme de moyenne ± écart-type (ET).

4.2.2. Détermination de la teneur totale en flavonoïdes (TFC)

La teneur totale en flavonoïdes a été déterminée par la méthode colorimétrique au chlorure d'aluminium avec quelques modifications, selon (Benouchenne *et al.*, 2020). Une aliquote de 50 µL de chaque extrait dilué a été mélangée avec 1900 µL de méthanol, 50 µL d'acétate de potassium (1 M) et 50 µL de nitrate d'aluminium (10 %). Le mélange a ensuite été distribué dans des plaques de microtitration à 96 puits en triplicata (200 µL par puits) et incubé 40 min à température ambiante et à l'obscurité. L'absorbance a été mesurée à 415 nm à l'aide d'un lecteur de microplaques (EnSpire, PerkinElmer, MA, USA). Une courbe d'étalonnage a été préparée avec la quercétine (0-200 µg/mL), et les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalents de quercétine par gramme d'extrait sec (mg EQ/g ES). Toutes les analyses ont été réalisées en triplicata et présentées sous forme de moyenne ± ET.

Le pourcentage relatif de flavonoïdes par rapport aux composés phénoliques totaux a été calculé selon la formule suivante : $\text{Flavonoïdes (\%)} = (\text{TFC} / \text{TPC}) \times 100$

4.2.3. Analyse statistique

Les données quantitatives ont été exprimées en moyenne ± écart-type (n = 3). L'analyse statistique a été réalisée à l'aide d'une ANOVA à un facteur afin d'évaluer les différences entre organes et stades phénologiques. Lorsque l'effet était significatif (p < 0,05), un test post-hoc de Tukey (HSD) a été appliqué pour les comparaisons multiples des moyennes. Les analyses ont été effectuées à

l'aide du logiciel Python (v.3.11) avec les bibliothèques statistiques dédiées (Statsmodels, SciPy, Pandas, Matplotlib).

4.3. Analyse chromatographique par LC-MS/MS de *Pallenis hierichuntica*

L'évaluation quantitative de 53 phytoconstituants dans les quatre extraits (Fle, TFl, F et Fru) choisis a été réalisée sur un chromatographe liquide ultra haute performance (UHPLC) modèle Shimadzu-Nexera couplé à un spectromètre de masse. L'UHPLC était équipé d'un autosampler (SIL-30AC), un four à colonnes (modèle CTO-10ASvp), des pompes binaires (LC-30CE modèle), et un dégazeur (modèle DGU-20A3R). Les conditions de la chromatographie ont été optimisées afin d'assurer une séparation optimale. Par conséquent la séparation chromatographique a été exécutée sur une phase inversée modèle Agilent Poroshell 120 EC-C18 (150mm×2.1mm, 2.7µm) colonne analytique. La température de la colonne a été réglée à 40°C.

La phase mobile était constituée de deux éluants : (A) eau contenant 5 mM de formiate d'ammonium et 0,1 % d'acide formique ; (B) méthanol contenant 5 mM de formiate d'ammonium et 0,1 % d'acide formique. Le programme d'élution en gradient était le suivant : 20-100 % B (0-25 min), 100 % B (25-35 min), puis ré-équilibration à 20 % B (35-45 min). Le débit a été fixé à 0,5 mL/min, avec un volume d'injection de 5 µL.

La détection spectrométrique a été effectuée avec une source d'ionisation par électrospray (ESI), en modes positif et négatif. L'acquisition des données a été réalisée en mode MRM (Multiple Reaction Monitoring), optimisé pour les transitions ion précurseur-ion produit spécifiques aux phytoconstituants ciblés. Les énergies de collision (CE) ont été ajustées individuellement afin d'assurer une fragmentation efficace et une transmission optimale des ions produits.

Les conditions de fonctionnement de la source étaient comme suit : gaz de séchage (N₂), 15 L/min ; gaz de nébulisation (N₂), 3 L/min ; température de la ligne de désolvatation (DL), 250 °C ; température du bloc chauffant, 400 °C ; et température de l'interface, 350 °C. L'acquisition et le traitement des données ont été réalisés à l'aide du logiciel LabSolutions (Shimadzu) (Yilmaz, 2020).

4.4. Analyse de l'huile essentielle par GC-MS de *Pallenis hierichuntica*

La détermination de la composition chimique de l'huile essentielle des deux organes de *P. hierichuntica* a été réalisée par GC/MS à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse Shimadzu GC-2030 couplé à un spectromètre de masse séquentiel Shimadzu TQ-8040. La séparation a été effectuée sur une colonne capillaire HP-5MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm). L'hélium a servi de gaz vecteur avec un débit constant de 1,0 mL·min⁻¹.

Le programme de température du four a été établi de 45 °C à 300 °C avec un gradient de 3 °C·min⁻¹, suivi d'un palier isotherme de 5 minutes à 300 °C. La température de l'injecteur a été maintenue à 250 °C. Les échantillons d'huile essentielle ont été préalablement dilués dans l'hexane (1 %, v/v), et 1,0 µL de solution a été injecté en mode split avec un rapport de division de 1:50.

L'analyse de masse a été réalisée en mode impact électronique (70 eV), avec une température de la ligne de transfert fixée à 280 °C et une température de la source d'ions à 200 °C. L'acquisition des spectres a couvert une gamme de m/z 45 à 500 uma, pour une durée totale d'analyse d'environ 60 minutes. (Benomari *et al.*, 2019)

L'identification et la quantification des constituants volatils ont été effectuées par comparaison des spectres de masse avec les bases de données NIST, Wiley et Mainlib.

5. Évaluation des activités biologiques de *Pallenis hierichuntica*

Dans ce chapitre, les extraits obtenus à partir de *Pallenis hierichuntica* (Fle, TFl, F, RFl, PFl, Fru, TFr, RFr, PFr) ont été soumis à une série d'évaluations biologiques, incluant les activités antioxydante, antidiabétique, photoprotectrice et anti-inflammatoire, afin d'apprécier leur potentiel thérapeutique. Par ailleurs, les huiles essentielles issues de deux parties du végétal (Fle et fru) ont été évaluées uniquement pour leur activité antibactérienne. Une étude de la toxicité a également été réalisée à l'aide du test *Allium cepa*, afin de vérifier l'innocuité des extraits avant toute interprétation pharmacologique.

5.1. Évaluation de la toxicité par le test *Allium cepa* de *Pallenis hierichuntica*

Des bulbes homogènes d'*Allium cepa* (30-40 mm, exempts de moisissures et de lésions mécaniques) ont été utilisés comme organisme modèle selon les protocoles standardisés décrits par Fiskesjö (1985), Bagatini et al. (2007) et les lignes directrices de l'OECD pour les bioessais phytotoxiques. Les extraits bruts ou semi-purifiés de tous les organes ont été solubilisés dans le DMSO ou l'éthanol ($\leq 1\%$ v/v), puis dilués dans l'eau distillée. Trois témoins ont été préparés : eau distillée (témoin négatif), solvant ($\leq 1\%$), et hydrazide maléique (50 mg/L) utilisé comme contrôle positif de référence en raison de son pouvoir clastogène documenté (Fiskesjo, 1993; Leme et Marin-morales, 2009).

Les bulbes, préalablement débarrassés des écailles sèches, ont été mis à germer dans l'eau distillée ($25 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, obscurité) jusqu'à l'obtention de racines mesurant 1-2 cm. Ils ont ensuite été exposés aux extraits (0,1-5 mg/mL) ou aux témoins pendant 24 à 72 h, avec renouvellement quotidien des solutions conformément aux recommandations méthodologiques (Rank et Nielsen, 1997; Herrero et al., 2012). Chaque condition expérimentale comprenait au minimum cinq bulbes et a été réalisée en triplicata indépendant.

La cytotoxicité a été évaluée en mesurant la croissance racinaire : pour chaque bulbe, 5 à 10 racines ont été mesurées, et le pourcentage de croissance relative (RRG) a été calculé par rapport au témoin négatif selon les approches décrites par Fernandes et al. (2007) et Herrero et al. (2012).

Pour l'analyse cytogénétique, les apex racinaires (1 cm) ont été fixés dans le fixateur de Carnoy (3:1), hydrolysés dans HCl 1 N ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5–10 min), colorés à l'acéto-orceine à 2 %, puis écrasés entre lame et lamelle afin d'obtenir des préparations squasheuses de haute qualité. L'observation microscopique (jusqu'à 1000 \times) a permis de scorer au moins 3000 cellules par condition, conformément aux recommandations de Grant (1982) et aux pratiques expérimentales rapportées dans la littérature (Arya et Mukherjee, 2014). Les paramètres étudiés incluaient : l'indice mitotique (MI), la fréquence des aberrations chromosomiques (ponts, fragments, retard

anaphasique, adhérence chromosomique « stickiness », C-mitoses) ainsi que la fréquence des micronoyaux (MN), reconnus comme indicateurs robustes de génotoxicité (Fenech, 2007; Leme et Marin-morales, 2009).

Les données, exprimées en moyenne \pm écart-type (SD), ont été analysées par ANOVA suivie du test de Tukey HSD, ou par Kruskal–Wallis/Dunn lorsque les conditions d’homoscédasticité n’étaient pas satisfaites (Zar, 2010). Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$. La CI_{50} (IC_{50}) d’inhibition de la croissance racinaire a été déterminée par ajustement logistique non linéaire (modèle sigmoïdal à 4 paramètres) à l’aide du logiciel GraphPad Prism, suivant les approches recommandées dans l’analyse des relations dose-réponse (Mustafa et Suna Arikan, 2008; Ping *et al.*, 2012; Ritz *et al.*, 2015).

5.2. Activité antioxydante de *Pallenis hierichuntica*

L’activité antioxydante des extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica* a été évaluée à l’aide de quatre méthodes complémentaires, à savoir **DPPH**, **ABTS**, **FRAP**, **CUPRAC** permettant d’explorer différents mécanismes d’action.

- **Test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)** : la capacité des extraits à piéger les radicaux libres a été déterminée selon la méthode décrite par Blois (1958) (Blois, 1958), avec quelques modifications mineures. Une solution de DPPH (4 mg/100 mL de méthanol) a été préparée, puis mélangée à différentes concentrations d’extrait. Après incubation de 30 minutes à température ambiante et à l’obscurité, l’absorbance a été mesurée à 517 nm. Le pourcentage d’inhibition a été calculé, et les valeurs d’ IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$) ont été déterminées par analyse de régression.
- **Test ABTS (2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)** : l’activité de neutralisation des radicaux cationiques $\text{ABTS}^{\bullet+}$ a été évaluée selon Re *et al.* (1999).
Le radical a été généré par réaction de l’ABTS (7 mM) avec le persulfate de potassium (2,45 mM), puis incubé 16 h dans l’obscurité. La solution d’ $\text{ABTS}^{\bullet+}$ a été ensuite ajustée pour atteindre une absorbance de $0,70 \pm 0,02$ à 734 nm. Des volumes définis d’extraits ont été ajoutés, et après 10 minutes d’incubation, la diminution de l’absorbance a été mesurée à 734 nm. Les pourcentages d’inhibition et les IC_{50} ont été calculés et comparés aux standards (BHT, α -tocophérol).
- **Test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)** : Le pouvoir réducteur des extraits a été déterminé selon la méthode d’Oyaizu (1986). Les extraits ont été incubés avec une solution de ferricyanure de potassium [$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, 1 %] et un tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6), puis la réaction a été arrêtée par ajout d’acide trichloroacétique (TCA, 10 %). Après centrifugation, le surnageant a été mélangé avec FeCl_3 (0,1 %) et l’absorbance

mesurée à 700 nm. Une absorbance plus élevée indique une capacité réductrice supérieure. Les résultats ont été exprimés en valeurs $A_{0,5}$, correspondant à la concentration nécessaire pour atteindre une absorbance de 0,5.

- **Test CUPRAC (Cupric Reducing Antioxidant Capacity)** : La méthode décrite par Apak et al. (2004) a été appliquée. Le mélange réactionnel contenait une solution de CuCl_2 (10 mM), de néocuproïne (7,5 mM dans l'éthanol) et de tampon acétate d'ammonium (1 M, pH 7). Les extraits ont été ajoutés à ce mélange et incubés 30 min à température ambiante. L'absorbance a ensuite été mesurée à 450 nm. Les résultats ont été exprimés en valeurs $A_{0,5}$ ($\mu\text{g/mL}$) et comparés à des antioxydants standards (BHA, BHT).

Dans l'ensemble, ces quatre approches complémentaires ont permis d'évaluer à la fois la capacité des extraits à neutraliser les radicaux libres (DPPH, ABTS) ainsi que leur pouvoir réducteur (FRAP, CUPRAC). Toutes les analyses ont été réalisées en triplicata.

5.3. Inhibition enzymatique de l' α -amylase et de l' α -glucosidase - Détermination des IC_{50}

Le potentiel hypoglycémiant des extraits de *Pallenis hierichuntica* a été évalué à travers l'inhibition de deux enzymes clés de l'hydrolyse des glucides : l' α -amylase et l' α -glucosidase.

Inhibition de l' α -amylase : L'activité inhibitrice a été déterminée selon la méthode décrite par Zengin et al. (2014). Des volumes définis d'extraits ont été incubés avec une solution d' α -amylase dans un tampon phosphate (pH 6,9). Après 10 minutes d'incubation à 37 °C, une solution d'amidon (1 %) a été ajoutée comme substrat. La réaction enzymatique a été arrêtée par addition de HCl (1 M), puis une solution iode/KI a été ajoutée afin de révéler l'amidon résiduel non hydrolysé. L'absorbance a été mesurée à 630 nm. Le pourcentage d'inhibition a été calculé pour établir les valeurs d' IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$).

Inhibition de l' α -glucosidase : L'activité inhibitrice a été évaluée selon la méthode de Dej-adisai et Pitakbut (2015). Les extraits ont été incubés avec une solution d' α -glucosidase et le substrat p-nitrophényl- α -D-glucopyranoside (pNPG). L'hydrolyse du pNPG libère du p-nitrophénol, mesuré à 405 nm. L'acarbose a été utilisée comme inhibiteur standard. Les résultats ont été exprimés en valeurs d' IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$), permettant de comparer l'efficacité inhibitrice relative des extraits.

5.4. Pouvoir photoprotecteur (SPF *in vitro*) de *Pallenis hierichuntica*

Le pouvoir photoprotecteur des extraits de *Pallenis hierichuntica* a été déterminé par la méthode spectrophotométrique décrite par Mansur et al. (1986), basée sur l'équation initialement proposée par Sayre et al. (1979). Les extraits ont été dissous dans le

solvant approprié, puis leurs absorbances ont été mesurées dans la gamme UVB (290-320 nm), avec un intervalle de lecture de 5 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis.

Le facteur de protection solaire (SPF) a été calculé selon l'équation suivante :

$$SPF = CF \times \left(\sum [EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda)] \right) / \left(\sum [EE(\lambda) \times I(\lambda)] \right)$$

où :

- **CF** est le facteur de correction (10),
- **EE(λ)** représente l'efficacité érythémale à une longueur d'onde donnée,
- **I(λ)** correspond à l'intensité spectrale du rayonnement solaire,
- **Abs(λ)** est l'absorbance mesurée de l'extrait à la longueur d'onde λ .

Les valeurs de la fonction normalisée **EE(λ) × I(λ)** utilisées pour le calcul du SPF sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 2. Valeurs de EE(λ) × I(λ) utilisées pour le calcul du SPF selon Sayre et *al.* (1979)

Longueur d'onde λ (nm)	EE (λ) × I (λ) (Normes)
290	0.0150
295	0.0817
300	0.2874
305	0.3278
310	0.1864
315	0.0837
320	0.0180
Total	1.0000

Chaque mesure a été effectuée en triplicata. Les valeurs obtenues ont été comparées à celles d'agents photoprotecteurs de référence afin d'évaluer le potentiel protecteur relatif des extraits.

5.5. Activité anti-inflammatoire *in vitro* de *Pallenis hierichuntica*

Trois modèles expérimentaux *in vitro* ont été employés pour évaluer le potentiel anti-inflammatoire des extraits :

- **Inhibition de la lipoxygénase (LOX)** : L'essai a été réalisé selon la méthode décrite par Wu et *al.* (1996) . La réaction enzymatique a été conduite dans un tampon borate (0,1 M, pH 8,8) contenant la lipoxygénase de soja et le substrat acide linoléique (10 mM). Les extraits ont été ajoutés à différentes concentrations, puis l'évolution de l'absorbance a été enregistrée à 234 nm correspondant à la formation des produits d'oxydation du substrat. Le pourcentage d'inhibition a été calculé par rapport au témoin et comparé à celui du standard positif, le nordihydroguaiarétique (NDGA).
- **Stabilisation de la membrane érythrocytaire** : L'effet stabilisant des extraits contre l'hémolyse induite par un milieu hyposmotique a été évalué selon la méthode de Sadique et

al. (1989) . Une suspension de globules rouges humains (10 %, v/v) a été incubée avec les extraits à différentes concentrations, puis centrifugée. L'absorbance du surnageant a été mesurée à 560 nm afin de quantifier l'hémolyse. Le pourcentage de protection membranaire a été calculé en comparaison avec le diclofénac, utilisé comme standard de référence.

- **Inhibition de la dénaturation protéique** : Cet essai a été réalisé selon la méthode de Pavithra et *al.* (2015) , avec légères adaptations. Une solution de sérum albumine bovine (BSA, 5 %) a été incubée avec les extraits, puis chauffée à 70 °C pendant 10 min afin d'induire la dénaturation thermique. Après refroidissement, l'absorbance a été mesurée à 660 nm. La diminution de la turbidité a été utilisée pour calculer le pourcentage d'inhibition de la dénaturation protéique.

5.6. **Activité antibactérienne (tests diffusion, MIC) de *Pallenis hierichuntica***

L'activité antibactérienne des deux huiles essentielles de deux parties inflorescences et fruits *Pallenis hierichuntica* a été évaluée par deux approches complémentaires :

- **Méthode de diffusion en milieu gélosé** : les extraits, solubilisés dans le solvant approprié (DMSO 1 % v/v), ont été déposés dans des puits de 6 mm pratiqués dans des boîtes de Petri contenant de la gélose Mueller-Hintonensemencée par les souches bactériennes testées (Gram positif : *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* ; Gram négatif : *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*). Après incubation à 37 °C pendant 24 h, les diamètres des zones d'inhibition (en mm) ont été mesurés et comparés à ceux des antibiotiques standards (gentamicine pour les Gram– et Gram+, ampicilline pour les Gram+ uniquement) (Pérez, Pauli and Bazerque, 1990; Balouiri, Sadiki and Ibnsouda, 2016; Perez-Chauca, Saldaña-Bobadilla and Minchán-Herrera, 2020).
- **Détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI)** : réalisée en microplaque de 96 puits selon la méthode de dilution en milieu liquide. Les concentrations croissantes d'extrait ont été ajoutées à un inoculum bactérien standardisé à 0,5 McFarland puis ajusté à $\approx 10^5$ UFC/mL. Après incubation 24 h à 37 °C, la croissance bactérienne a été évaluée spectrophotométriquement à 600 nm. La CMI a été définie comme la plus faible concentration inhibant totalement la croissance visible (Balouiri, Sadiki et Ibnsouda, 2016; CLSI, 2018).

5.7. **Méthodes d'analyses statistiques**

Toutes les expérimentations ont été réalisées en triplicat indépendant afin d'assurer la reproductibilité et la fiabilité des résultats. Les données sont présentées sous forme de moyenne \pm écart-type (SD). Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide des logiciels IBM SPSS

Statistics (v.26) et GraphPad Prism (v.10), ainsi que, ponctuellement, du langage Python (v.3.11) avec les bibliothèques statistiques SciPy, Statsmodels et Pandas.

Les valeurs d' IC_{50} et $A_{0.5}$ ont été calculées par régression linéaire ou non linéaire, selon le modèle présentant le meilleur ajustement.

Les comparaisons entre groupes ont été réalisées à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) suivie du test post-hoc de Tukey. Lorsque l'hypothèse de normalité n'était pas vérifiée, des tests non paramétriques tels que Kruskal-Wallis, complétés si nécessaire par le test de Dunn, ont été appliqués.

Les corrélations entre paramètres phytochimiques et activités biologiques ont été évaluées au moyen des coefficients de Pearson ou de Spearman, en fonction de la distribution des données.

Le seuil de signification statistique a été fixé à $p < 0,05$.

Partie III : Résultats et Discussion

1. Écologie, morphologie et anatomie de *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter

1.1. Caractérisation écologique et observations de terrain

Les observations in situ réalisées dans la région de Betita (Tébessa) montrent que *Pallenis hierichuntica* présente une adaptation nettement marquée aux conditions xériques des steppes du Nord-Est algérien. L'espèce a été principalement recensée sur des substrats pierreux ou sablo-limoneux faiblement couverts (Annexe 4) ainsi que représenté dans la Figure 4. Cette distribution indique une préférence pour les milieux ouverts et peu stabilisés, caractérisés par une disponibilité hydrique limitée.

La présence récurrente de *P. hierichuntica* dans ces environnements suggère une stratégie écologique typique des espèces pionnières tolérantes à la sécheresse. Ce comportement rejoint les descriptions formulées par Steinbrinck & Schinz (1908) ainsi que par Couso, Biganzoli & Fernández (2014), qui ont souligné la capacité des espèces steppiques à coloniser des habitats soumis à de fortes contraintes hydriques. Nos résultats s'accordent également avec les observations de Blanca et Cueto (2007), qui ont mis en évidence une affinité écologique similaire dans les zones arides méditerranéennes.

1.2. Morphologie de *Pallenis hierichuntica*

Les individus collectés aux deux stades phénologiques (floraison et fructification) présentent les caractères morphologiques typiques du genre *Pallenis* :

- Plante herbacée annuelle, à port étalé et ramifié dès la base ;
- Tiges pubescentes, souvent rameuses ;
- Feuilles alternes, spatulées à oblancéolées, densément couvertes de poils laineux (Annexe5) ;
- Capitules solitaires terminaux, entourés de bractées involucreales épaisses et scarieuses, de teinte jaunâtre à dorée ;
- Fruits secs de type akènes, oblongs, glabres, surmontés d'un pappus réduit ou absent.

Ces observations concordent parfaitement avec les descriptions morphologiques rapportées par Quézel & Santa (1963) , L'identification botanique a été confirmée par comparaison avec les flores de référence et les bases de données internationales, et validée par des experts (Annexe 3).

1.3. Histologie de *Pallenis hierichuntica*

a) Racines

Les coupes transversales des racines révèlent une structure secondaire bien développée. L'épiderme, souvent remplacé par un phelloderme et un phellogène actifs, forme un périoderme épais assurant une fonction protectrice.

Sous cette couche, le cortex, relativement réduit, est constitué de cellules parenchymateuses à parois parfois subérifiées, jouant un rôle de réserve et de protection. Le péricycle, bien individualisé, présente une sclérification marquée, conférant une rigidité mécanique au tissu.

Le cylindre central montre un xylème secondaire abondant, organisé en rayons ligneux radiaux et doté de larges vaisseaux conducteurs, garantissant une conduction efficace de l'eau. Le phloème secondaire s'intercale entre les zones ligneuses, complétant le système de transport.

Ces caractéristiques témoignent d'une activité cambiale intense et d'une adaptation morphologique typiquement xérophytique, favorisant à la fois la résistance mécanique et l'économie hydrique (Figure 5).

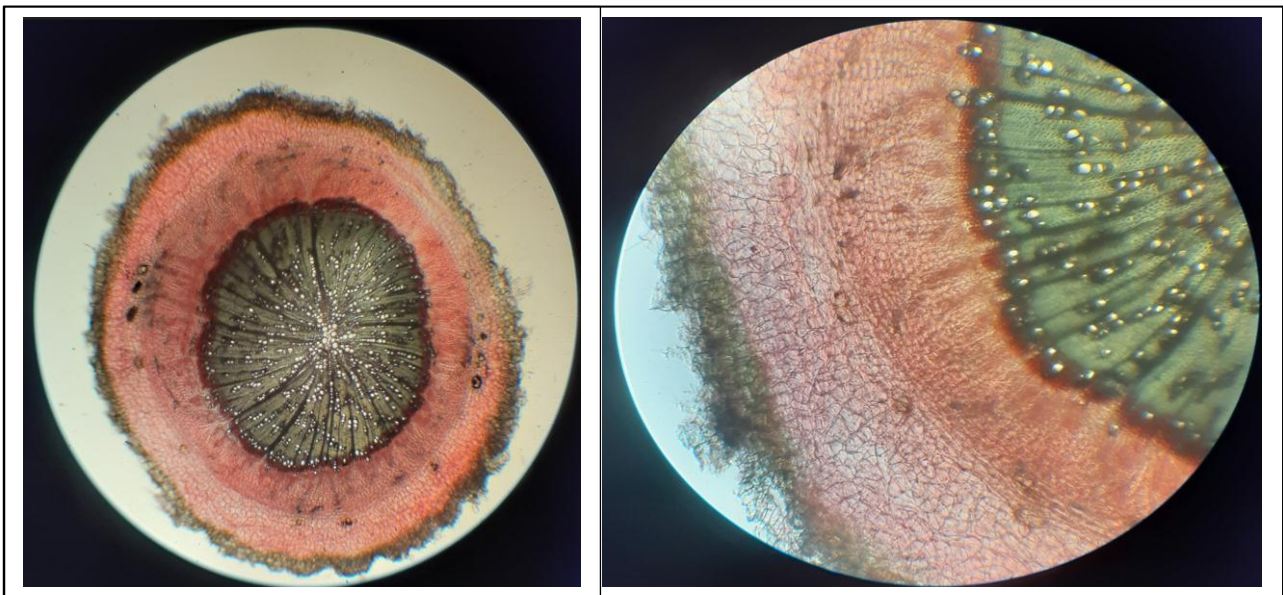


Figure 5. Coupe transversale de la racine de *Pallenis hierichuntica* (microscope optique)
Vue générale ($\times 4$) à gauche, structures corticales et péridermiques ($\times 10$) à droite. Crédit photo :

Bouchra Harsa.

b) Tiges

Les coupes transversales de la tige révèlent une organisation classique d'une dicotylédone à structure secondaire débutante. L'épiderme est formé d'une seule assise de cellules à parois cutinisées, parfois surmontées de poils ou de restes de trichomes, assurant une protection externe efficace.

Sous l'épiderme, le collenchyme périphérique, constitué de quelques assises de cellules épaissies, joue un rôle mécanique important. Le cortex, bien développé et riche en cellules parenchymateuses, contribue au stockage de l'eau et des réserves, tout en facilitant les échanges gazeux.

Le péricycle se présente sous forme d'un anneau de cellules sclérifiées, assurant la rigidité de la tige.

Les faisceaux conducteurs, disposés en anneau régulier autour de la moelle centrale, comprennent une partie interne (xylème) et une partie externe (phloème), séparées par un cambium actif amorçant la formation secondaire. La moelle est constituée de grandes cellules parenchymateuses à parois minces, parfois partiellement lignifiées (Figure 6).

L'organisation anatomique de la tige de *Pallenis hierichuntica* met en évidence plusieurs caractères d'adaptation aux conditions xériques : protection contre la déshydratation grâce à l'épiderme cutinisé, résistance mécanique assurée par le collenchyme et au péricycle sclérifié, stockage d'eau dans le cortex, et conduction efficace de la sève grâce à un xylème bien développé. L'activité cambiale traduit une croissance adaptative, assurant la stabilité de la plante dans les environnements secs et ventés (Fahn, 1990; Larcher, 2003).

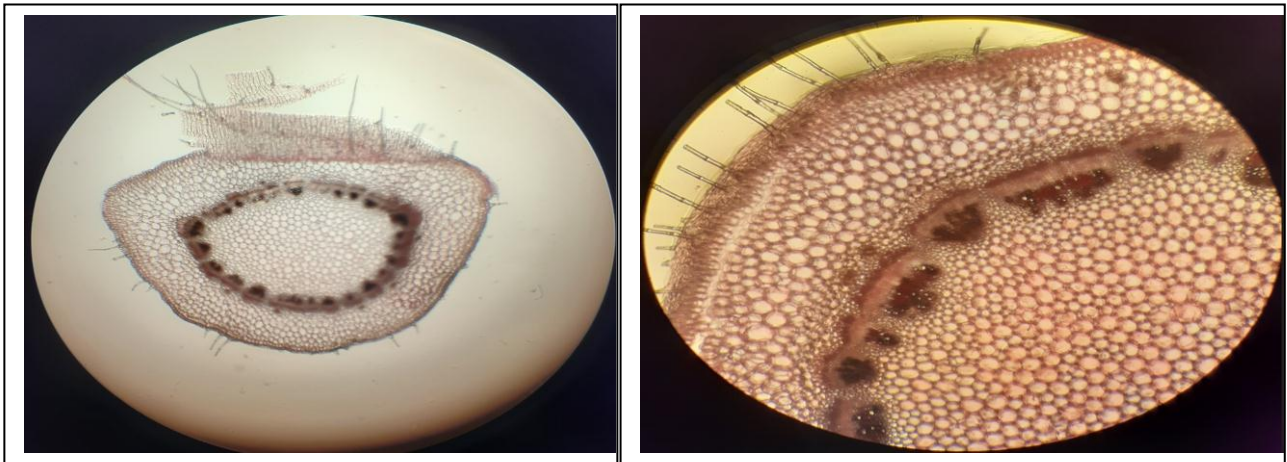


Figure 6. Coupe transversale de la tige de *Pallenis hierichuntica* (Microscope optique).

Vue générale (×4) à gauche et détail de la structure corticale et vasculaire (×10) à droite. Crédit

photo : Bouchra Harsa.

c) Feuilles

Les coupes transversales de la feuille de *Pallenis hierichuntica* révèlent une organisation typique des espèces xérophiles des Asteraceae. L'épiderme unistrate, à parois épaissies et recouvert d'une cuticule épaisse, assure une protection efficace contre la déshydratation. Il porte des poils tecteurs et glandulaires, plus abondants sur la face inférieure. Sous l'épiderme, un collenchyme bien développé, surtout au niveau des nervures, renforce la résistance mécanique. Le parenchyme chlorophyllien est différencié en palissadique, riche en chloroplastes, et lacuneux, favorisant les échanges gazeux. La nervure principale présente un faisceau vasculaire collatéral ouvert, avec xylème supérieur et phloème inférieur, entourés d'un péricycle sclérifié. La coloration double (vert de méthyle et rouge Congo) a permis de distinguer clairement les tissus lignifiés et celluloses.

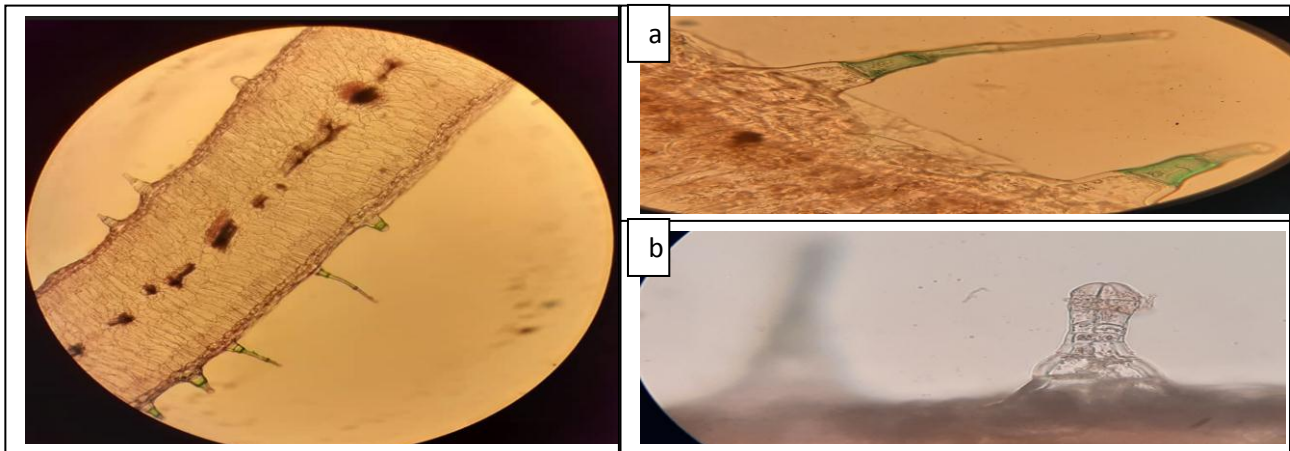
Cette structure foliaire illustre plusieurs caractères xéromorphiques : cuticule épaisse, pilosité dense, parenchyme palissadique compact et faisceaux conducteurs bien individualisés, comparables à ceux observés chez *Artemisia herba-alba* et *Launaea* (Rizk et Al-Nowaihi, 1990; Marzouk *et al.*, 2021).

○ **Poils épidermiques :**

Deux types de poils sont observés :

- **Tecteurs** : allongés et non sécréteurs, jouant un rôle mécanique et limitant la transpiration ;
- **Glandulaires** : pluricellulaires, sécréteurs de composés volatils et phénoliques à fonction défensive et médicinale (Figure 7).

La coexistence de ces deux types reflète une double adaptation : physique (réduction des pertes d'eau) et chimique (protection contre les stress biotiques). Ainsi, la pilosité épidermique constitue



un atout majeur pour la survie de l'espèce en milieu aride et semi-aride.

Figure 7. Coupe transversale de la feuille de *Pallenis hierichuntica* (Microscope optique).

Vue générale de la coupe ($\times 4$) à gauche et détail des poils épidermiques à droite : poil tecteur (a) et poil glandulaire (b) ($\times 40$). Crédit photo : Bouchra Harsa.

Les résultats obtenus mettent en évidence la grande plasticité écologique de *Pallenis hierichuntica* et son remarquable degré d'adaptation morpho-anatomique aux conditions steppiques et arides du Nord-Est algérien. La cuticule épaisse, la forte pilosité, les tissus sclérifiés et la présence de canaux sécréteurs traduisent une stratégie de défense efficace contre la déshydratation et le stress thermique. Ces structures xéromorphiques, tout en assurant protection et économie hydrique, participent également à la production et au stockage de métabolites secondaires à potentiel biologique élevé, justifiant ainsi l'intérêt ethnopharmacologique porté à cette espèce.

Les observations recueillies confirment les conclusions de Wiklund (1985) et mettent en lumière le lien étroit entre adaptation écologique, organisation anatomique et potentiel biosynthétique.

Dans l'ensemble, *Pallenis hierichuntica* se présente comme une espèce modèle de résistance aux contraintes environnementales. Les données acquises constituent une assise scientifique solide pour l'interprétation des analyses phytochimiques et biologiques développées dans les chapitres suivants.

2. Résultats ethnopharmacologiques concernant *Pallenis hierichuntica*

L'étude ethnopharmacologique constitue une étape essentielle dans la valorisation des ressources végétales médicinales. Elle permet de documenter les savoirs traditionnels liés à l'usage des plantes et d'identifier les espèces présentant un intérêt thérapeutique ou culturel particulier.

Ce chapitre synthétise les principaux résultats de l'enquête consacrée à *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter, réalisée à partir d'un questionnaire (Annexe 6), plante emblématique des zones arides d'Afrique du Nord.

L'analyse met en évidence le profil sociodémographique des informateurs, les modes de transmission du savoir, les usages médicaux de la plante, ainsi que les indices ethnobotaniques permettant d'évaluer la cohérence et la valeur culturelle du savoir traditionnel associé.

2.1. Profil sociodémographique des participants

L'enquête ethnopharmacologique a porté sur 400 participants issus des quatre communes rurales de la wilaya de Tébessa : Bir El Ater (31 %), El Houidjbet (25 %), El Oгла (23 %) et Bir Dheb (21 %).

2.1.1. Répartition par sexe

La majorité des répondants étaient des femmes (57,7 %, n = 231) contre 42,3 % d'hommes (n = 169) (Figure 8). Cette prédominance féminine confirme le rôle essentiel des femmes dans la préparation, l'usage domestique et la transmission des remèdes traditionnels, un constat largement rapporté dans les sociétés rurales Nord d'Afrique du Nord.

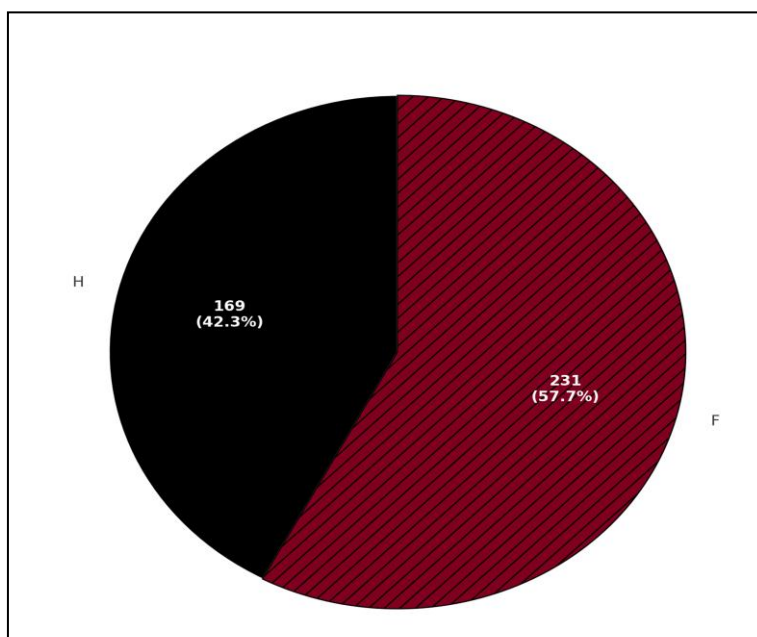


Figure 8. Répartition des participants selon le sexe

2.1.2. Répartition par âge

L'analyse par tranche d'âge (Figure 9) montre une prédominance du groupe > 50 ans (45 %), suivi des 30-50 ans (32 %) et des < 30 ans (23 %), avec un âge moyen de 53 ± 14 ans (Annexe 7). Ces résultats indiquent que les personnes âgées représentent les principaux dépositaires du savoir ethnobotanique, ce qui corrobore les travaux de Boudjelal et *al.* (2013a) et Benarba et *al.* (2015).

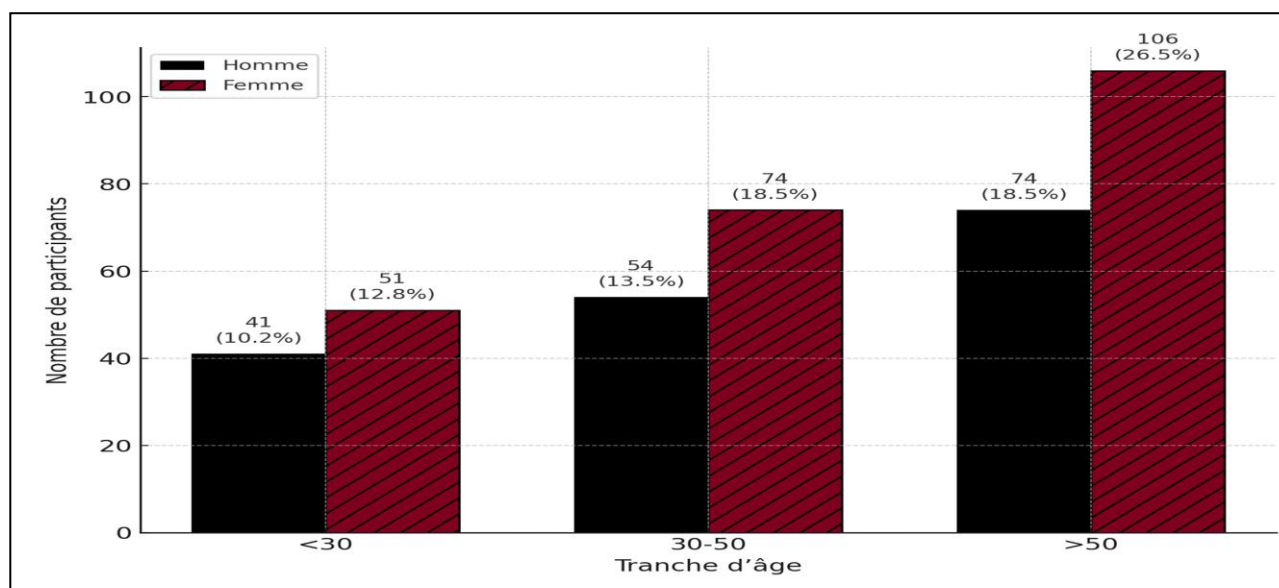


Figure 9. Répartition des participants selon les tranches d'âge

2.1.3. Niveau d'instruction

L'analyse du niveau d'instruction des enquêtés met en évidence une hétérogénéité significative entre hommes et femmes (Figure 11). Chez les hommes, les proportions corrigées montrent une répartition relativement équilibrée : 11,8 % sont analphabètes ($n = 47$), 1,8 % ont un niveau primaire ($n = 7$), 11,5 % un niveau moyen ($n = 46$), 6,5 % un niveau secondaire ($n = 26$) et 10,8 % un niveau universitaire ($n = 43$). Chez les femmes, en revanche, on observe une prédominance marquée de l'analphabétisme (32,6 % ; $n = 131$), suivie du niveau universitaire (18,2 % ; $n = 73$). Les autres catégories sont faiblement représentées : primaire (4,7 % ; $n = 19$), moyen (1,5 % ; $n = 6$) et secondaire (0,5 % ; $n = 2$).

Cette distribution reflète deux tendances contrastées : d'une part, une proportion encore élevée d'analphabétisme chez les femmes rurales, confirmant la persistance d'inégalités éducatives de genre en milieu steppique ; d'autre part, une progression notable de l'accès féminin à l'enseignement supérieur, traduisant l'effet des dynamiques éducatives récentes. Ces résultats corroborent les observations faites dans d'autres régions du Maghreb, où la transmission du savoir

ethnobotanique reste largement orale et familiale, mais où l'ouverture croissante à la scolarisation des femmes contribue à redessiner les schémas de préservation et de diffusion des connaissances traditionnelles.

Nos résultats sont en accord avec des travaux antérieurs en Algérie : ainsi, l'étude *Gender Inequity in Education in Algeria* a montré que les femmes tendent à surpasser les hommes dans certaines étapes du parcours scolaire, notamment dans l'enseignement supérieur (Ouadah-Bedidi, 2018). Par ailleurs, l'article *The Reality of Teaching the Rural Girl in Algeria* souligne que la jeune fille rurale continue de faire face à des obstacles sociaux et culturels importants pour accéder à l'école, ce qui confirme la persistance d'un taux élevé d'analphabétisme féminin en zones rurales (Djadaoun, 2024).

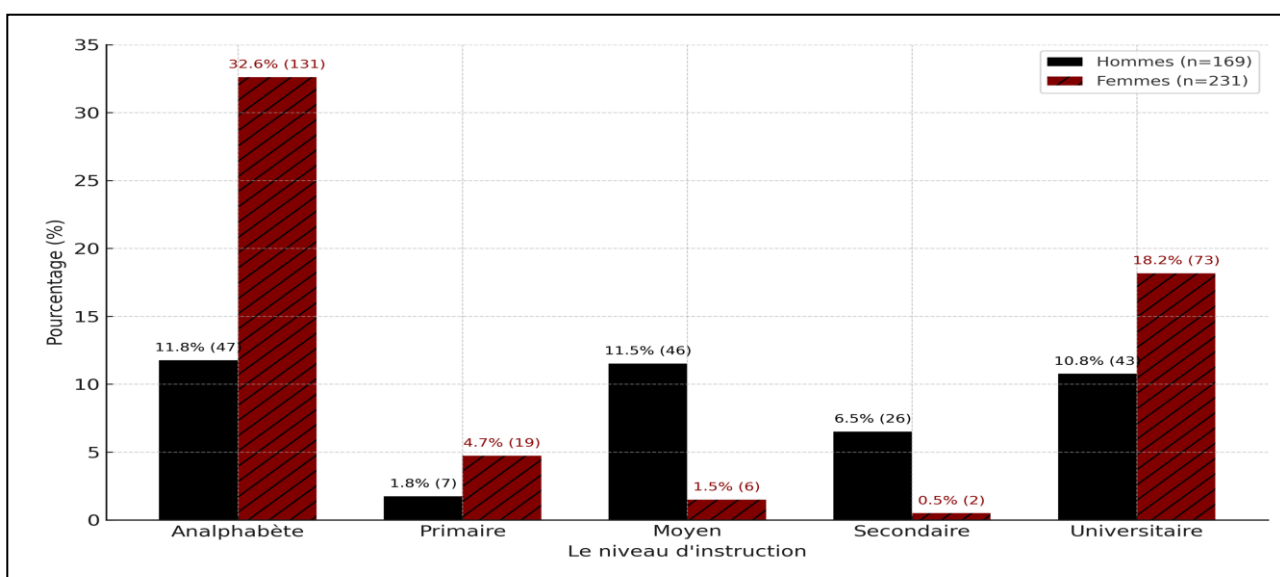


Figure 10. Répartition des participants selon le niveau d'instruction

2.1.4. Activité professionnelle

Sur le plan professionnel (Figure 11), la catégorie la plus représentée est celle des femmes au foyer et retraitées (31,3 % ; n = 125), suivie des étudiants (25 % ; n = 100) et des pasteurs (ovins) (16,3 % ; n = 65). Les praticiens en herboristerie constituent 13 % (n = 52), tandis que les herboristes représentent 12 % (n = 48). Les pasteurs (bovins) regroupent ensemble environ 2,5 % (n = 10) (Annexe 8). Ces résultats mettent en évidence l'importance des activités traditionnelles et domestiques (élevage, soins familiaux, herboristerie) dans la préservation et la transmission du savoir ethnobotanique local, phénomène déjà observé dans d'autres zones steppiques d'Algérie et de Tunisie (Boukerker *et al.*, 2016; Yabrir *et al.*, 2019; Habib *et al.*, 2020).

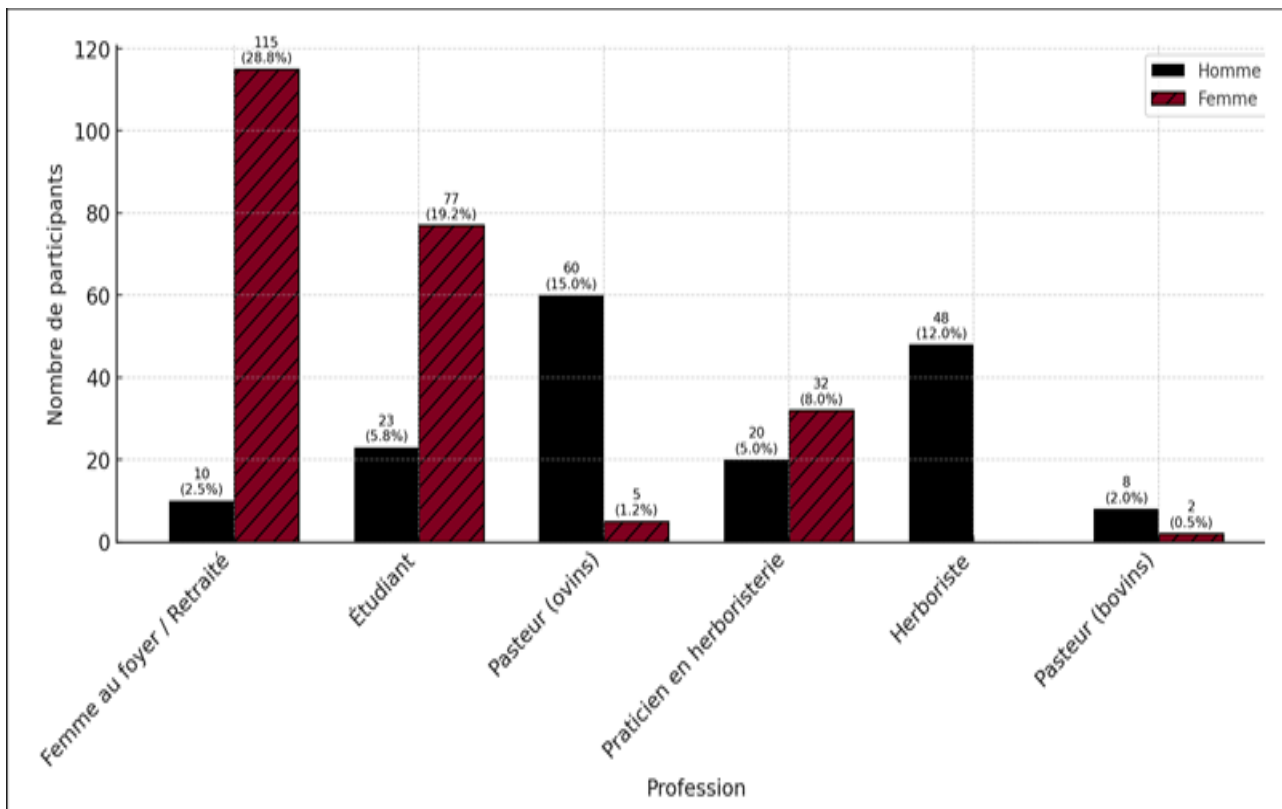


Figure 11. Répartition des participants selon l'activité professionnelle

2.1.5. Répartition des participants selon la commune et le sexe

Sur le plan géographique (Figure 12), la majorité des participants provient de la commune de Bir El Ater, qui regroupe plus de 70 % des enquêtés (41,8 % de femmes et 30,5 % d'hommes). Les communes d'El Ogla, de Bir Dheb et d'El Houdjebet présentent des effectifs plus faibles (respectivement 16,6 %, 6,7 % et 4,7 %). Cette distribution reflète la densité démographique variable entre les communes ainsi que la proximité du centre urbain de Bir El Ater, facilitant le contact avec les informateurs.

La participation féminine, majoritaire dans l'ensemble des communes, met en évidence le rôle central des femmes dans la préservation et la transmission du savoir ethnobotanique. Ce constat rejoint les observations faites dans d'autres régions d'Algérie et du Maghreb, où les femmes, souvent responsables des soins familiaux et de la préparation des remèdes traditionnels, constituent les principales détentrices du savoir médicinal (Terniche et Tahanout, 2018; Guechi, 2020). Ces résultats soulignent l'importance des facteurs sociogéographiques et culturels dans la répartition des connaissances traditionnelles et la participation communautaire à leur préservation.

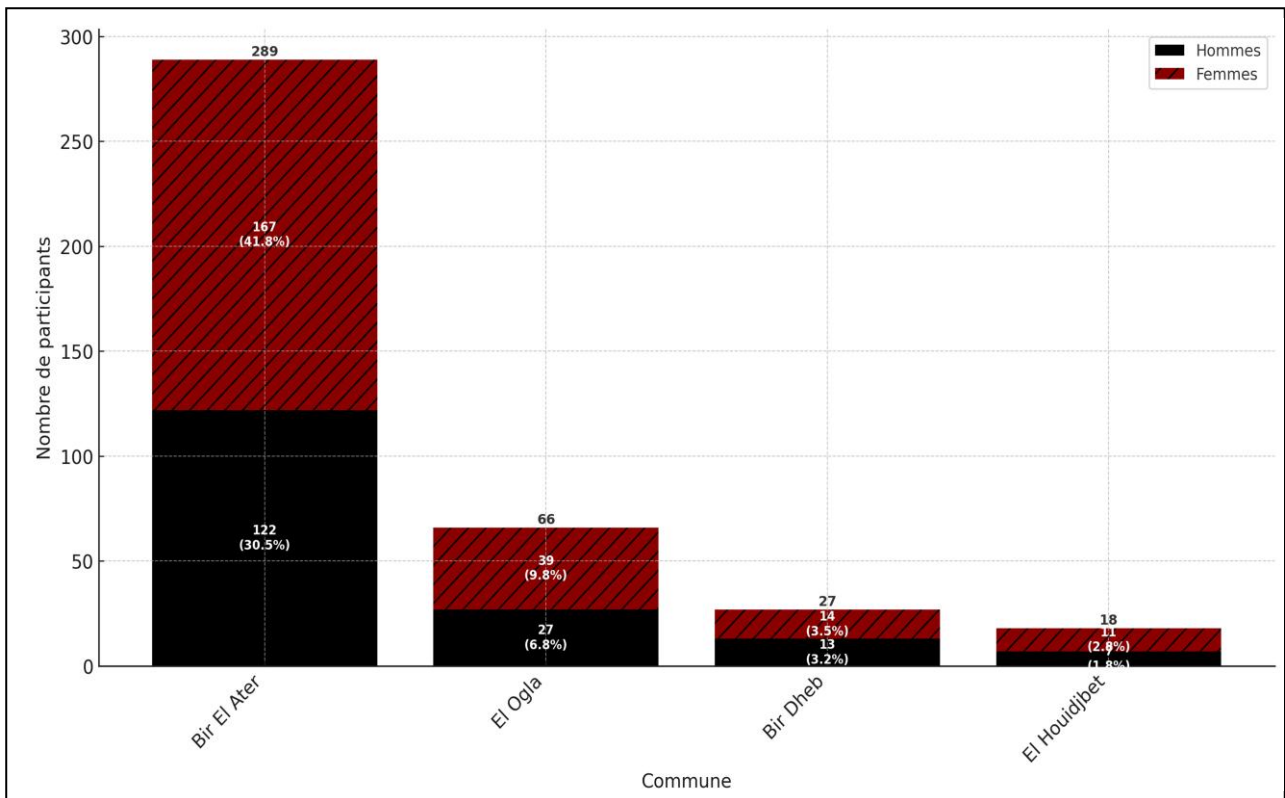


Figure 12. Répartition des participants selon la commune et le sexe

2.2. Sources du savoir et transmission

Les résultats de l'enquête montrent que la famille constitue la principale source d'acquisition du savoir médicinal (40,7 %), principalement à travers la mère ou la grand-mère, ce qui souligne le rôle central de la sphère domestique dans la conservation du savoir ethnobotanique (Figure 14). L'expérience personnelle arrive en seconde position (23,3 %), suivie des praticiens traditionnels (18%) et des voisins ou amis (11,5 %), tandis que les autres sources demeurent marginales (6,5 %). Cette répartition confirme le poids de la transmission orale au sein du cadre familial et communautaire.

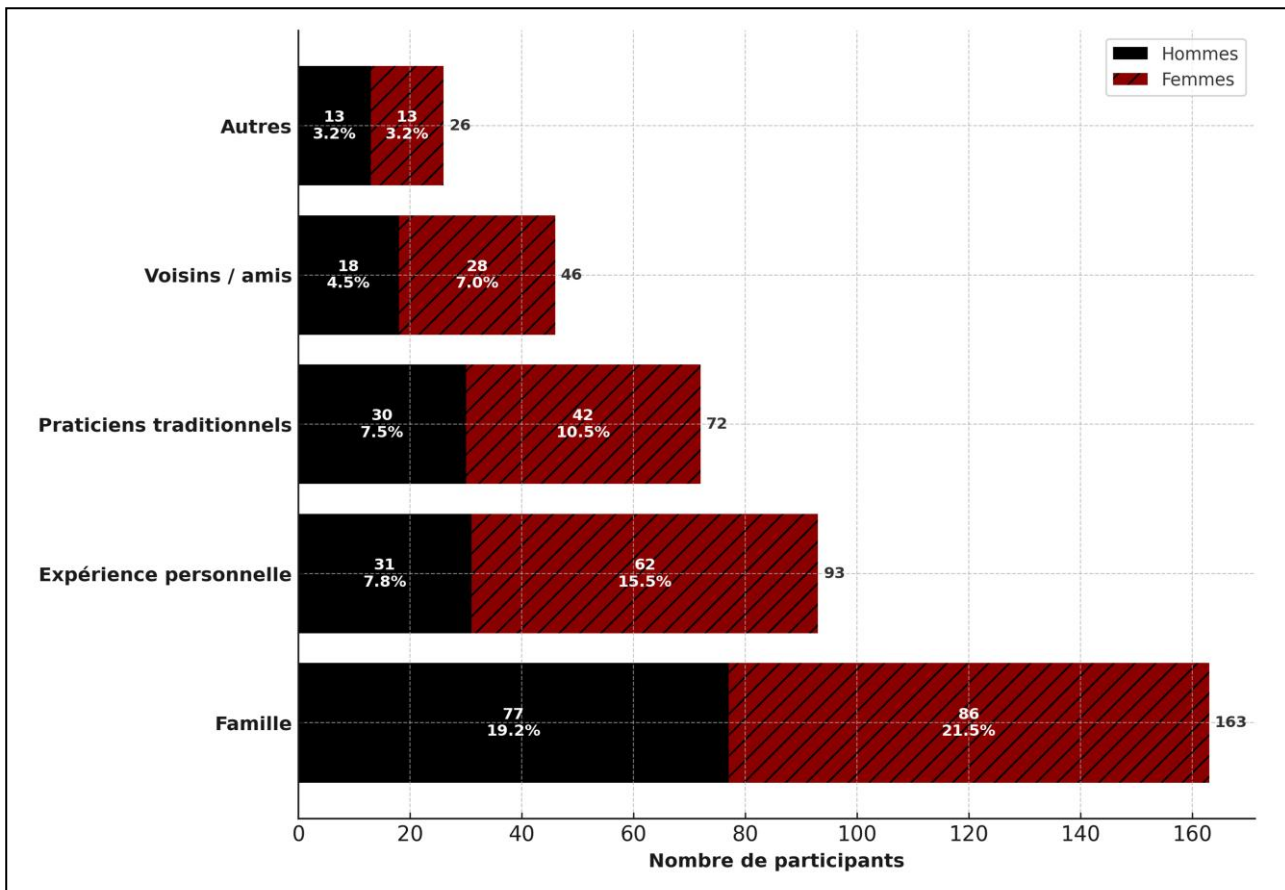


Figure 13. Répartition des participants selon la source d'acquisition du savoir

Concernant la transmission du savoir (Figure 14), la majorité des enquêtés (41,2 %) déclarent transmettre leurs connaissances à leurs enfants ou petits-enfants, assurant ainsi une continuité intergénérationnelle du savoir ethnobotanique. D'autres partagent leurs connaissances avec les voisins ou amis (15 %), les pairs ou praticiens professionnels (13,7 %), ou encore d'autres catégories de personnes (10 %). En revanche, une proportion non négligeable (20 %) indique ne pas transmettre leurs savoirs, ce qui témoigne d'une érosion progressive de la pratique de transmission, souvent attribuée à la modernisation, à la scolarisation et au désintérêt croissant des jeunes générations pour les pratiques traditionnelles.

Les différences observées selon le sexe révèlent que les femmes participent davantage à la transmission intrafamiliale (25 % des femmes contre 16,2 % des hommes), confirmant leur rôle central dans la préservation domestique du savoir médicinal. Les hommes, quant à eux, tendent à privilégier la transmission horizontale, notamment vers les voisins, amis ou pairs professionnels, traduisant une diffusion plus communautaire du savoir. Cette répartition illustre la complémentarité des rôles sociaux dans la circulation du savoir ethnobotanique.

Ces résultats rejoignent les observations de Martin et Alexiades (Martin, 1995; Alexiades, 1996), qui soulignent la fragilisation du savoir traditionnel sous l'effet de la modernisation et des mutations socioculturelles, tout en mettant en avant le rôle clé de la famille comme canal principal de préservation et de transmission des connaissances locales.

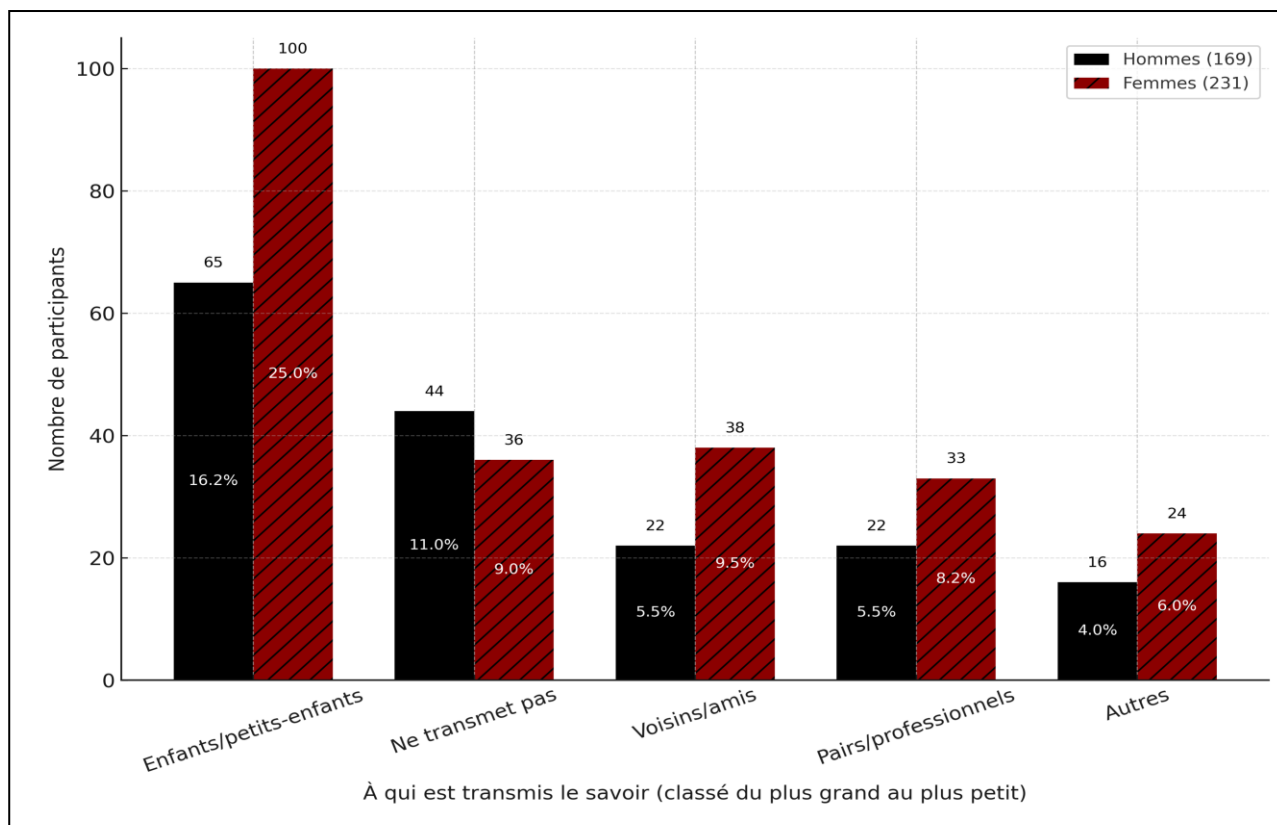


Figure 14. Répartition des participants selon la catégorie de personnes à qui le savoir est transmis (Les différences observées selon le sexe sont présentées en annexe 9)

2.3. Usages thérapeutiques de *Pallenis hierichuntica*

L'échantillon étudié, composé de 400 participants, a été sélectionné en fonction de leur connaissance personnelle de *Pallenis hierichuntica*, que ce soit à travers leur propre expérience d'utilisation, un traitement antérieur par cette plante, leur contact direct avec elle dans leur environnement, ou encore leur familiarité via la lecture ou les savoirs locaux. La plante est connue sous plusieurs appellations vernaculaires, notamment « Nodjyma نجيمة », « Dewaya دواية » et « Kazma قزما ».

La majorité des enquêtés (80 %) la récoltent à l'état sauvage, tandis que 15 % s'en procurent auprès des herboristes et 5 % par dons ou échanges communautaires.

2.3.1. Parties utilisées

Les résultats montrent que les parties aériennes en phase de floraison constituent la partie la plus utilisée (31,8 %), suivies des inflorescences (21,8 %), des feuilles (14,5 %), des parties aériennes en fructification (9,7 %), de la plante entière récoltée en floraison (9,3 %) ou en fructification (7,0 %), puis des fruits (3,8 %) (Figure 15).

La cueillette s'effectue principalement au stade de floraison, parfois durant la fructification, considérée par les participants comme les phases les plus efficaces d'un point de vue thérapeutique; (Voir annexe 10 : figure relative à la phénophase utilisée : floraison et fructification). Cette préférence traduit une connaissance empirique approfondie du cycle biologique de la plante et de l'influence de la période de récolte sur la concentration en principes actifs.

La prédominance de l'utilisation des parties aériennes s'explique par leur accessibilité, leur richesse en métabolites secondaires, ainsi que par la tradition ethnobotanique locale qui privilégie les organes visibles et facilement reconnaissables lors de la cueillette. Ce choix concorde avec les observations rapportées pour d'autres espèces médicinales du genre *Pallenis* dans les régions arides du Maghreb, où les inflorescences et les feuilles constituent également les parties les plus exploitées (Amrani-Allalou *et al.*, 2021).

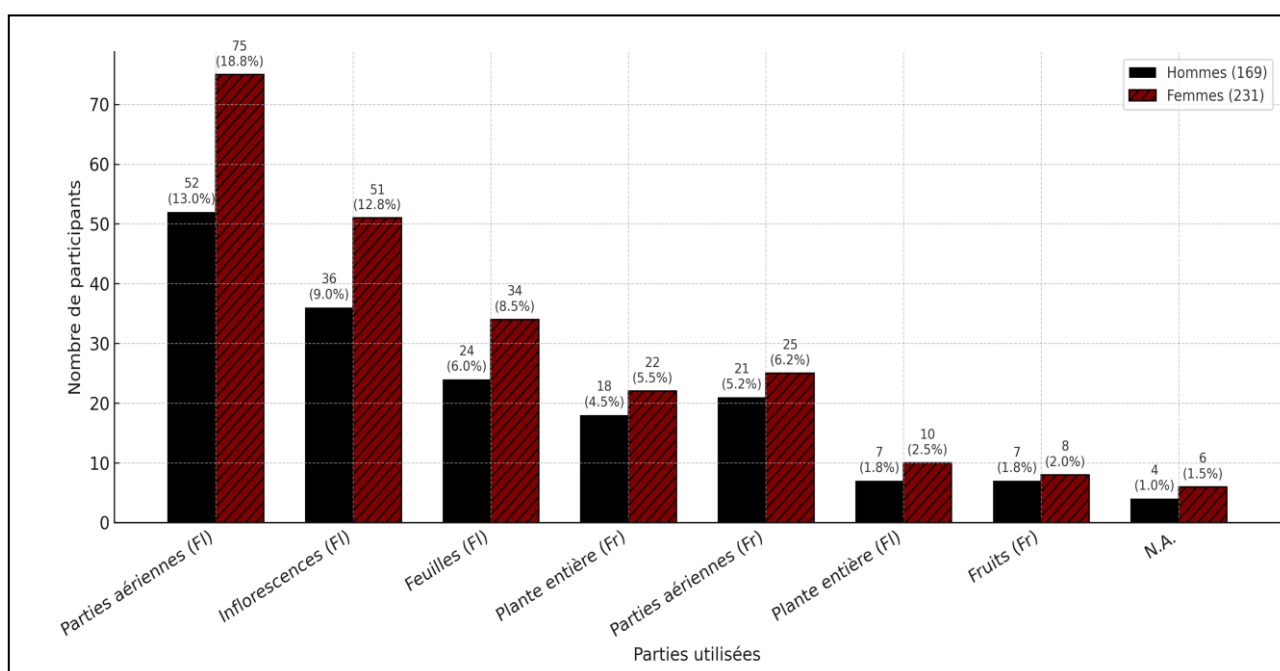


Figure 15. Répartition des parties de *Pallenis hierichuntica* utilisées à des fins thérapeutiques selon le sexe des participants

2.3.2. Modes de préparation de *Pallenis hierichuntica*

Les parties de *Pallenis hierichuntica* sont préparées selon diverses méthodes, adaptées à la nature des affections traitées et aux organes végétaux utilisés (Figure 16). La décoction demeure la forme la plus répandue ($\approx 15\%$ chez les hommes et 24% chez les femmes), suivie de l'infusion ($\approx 11\%$ et 19% , respectivement), du cataplasme ($\approx 9\%$ et 9%) et de la poudre sèche ($\approx 6\%$ et 5%). Une proportion réduite d'usages ($\approx 2\%$) correspond à des préparations non précisées (N.A.).

Cette diversité traduit la richesse du savoir empirique local et une adaptation fine aux propriétés physiques et chimiques de la plante.

Certaines préparations spécifiques illustrent cette connaissance empirique :

- La poudre issue des fruits ou des parties aériennes en fructification est souvent mélangée à du miel pour soigner les brûlures superficielles.
- D'autres informateurs préfèrent brûler puis broyer ces mêmes organes avant de les appliquer, obtenant ainsi une poudre carbonisée utilisée pour le même usage.
- Les infusions et décoctions, quant à elles, sont privilégiées pour les troubles digestifs et inflammatoires internes, particulièrement par les femmes. Ces variantes locales démontrent une expérimentation empirique approfondie, où le choix de la forme galénique conditionne la puissance et la cible thérapeutique.

La prédominance des préparations aqueuses (décoction + infusion, totalisant environ 25% chez les hommes et 43% chez les femmes) rejoint les observations faites pour d'autres Astéracées du Maghreb (Boudjelal *et al.*, 2013; Amrani-Allalou *et al.*, 2021), où les remèdes à base d'eau sont privilégiés pour des raisons d'accessibilité et de sécurité.

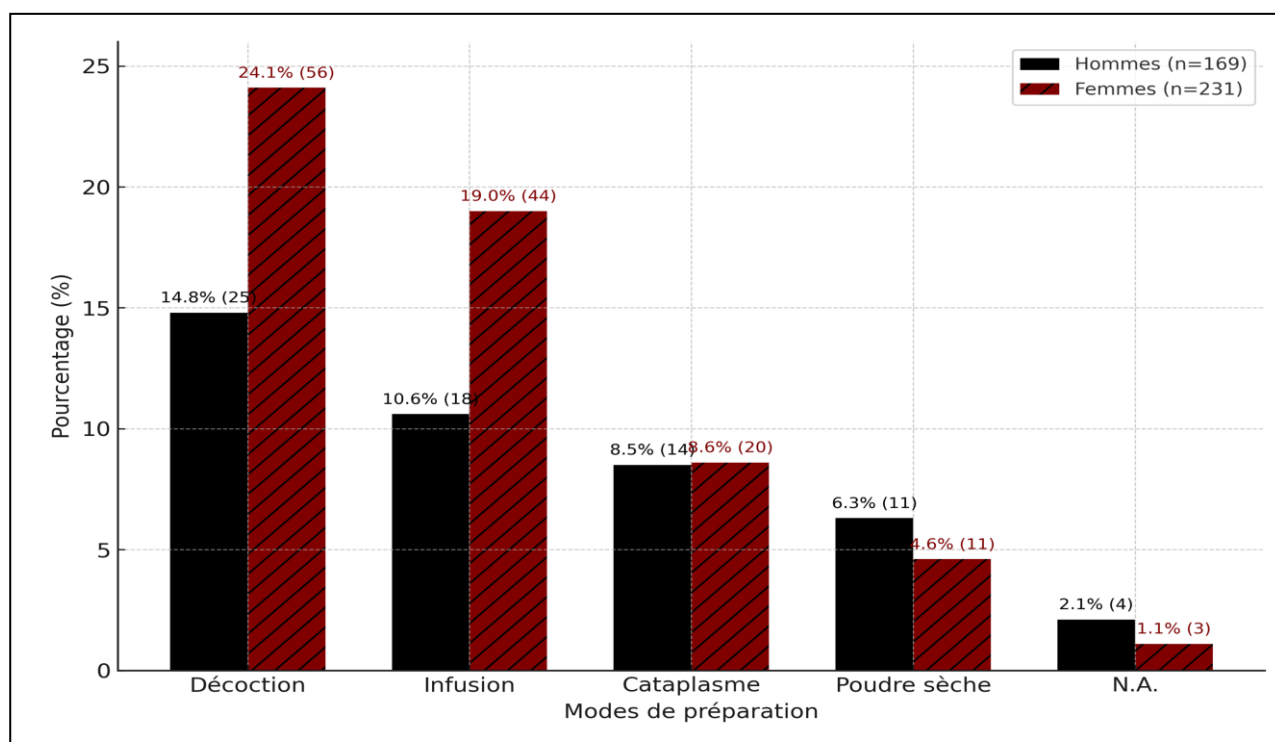


Figure 16. Répartition des modes de préparation de *Pallenis hierichuntica* selon le sexe

2.3.3. Modes d'administration de *Pallenis hierichuntica*

Les préparations à base de *Pallenis hierichuntica* sont administrées selon plusieurs voies. La voie orale prédomine largement, représentant $\approx 23\%$ des citations chez les hommes (39) et $\approx 37\%$ chez les femmes (86). L'administration externe occupe la deuxième place avec $\approx 17\%$ (29 citations) chez les hommes et $\approx 19\%$ (44 citations) chez les femmes. Les usages combinés (orale + externe) sont plus rares ($\approx 2\%$; 4 citations chez les hommes et 3 chez les femmes). Enfin, aucune citation n'a été classée comme « non précisée » (N.A.) (Figure 17).

Cette distribution met en évidence la place centrale des préparations orales dans la phytothérapie traditionnelle, confirmant leur importance pour les affections digestives et inflammatoires internes, tandis que les usages externes concernent surtout les troubles cutanés (plaies, brûlures, eczéma). La faible proportion d'administrations combinées reflète un emploi plus ponctuel et spécialisé, souvent réservé à des cas résistants.

Ces résultats sont en accord avec les observations réalisées sur d'autres espèces d'Astéracées médicinales au Maghreb, où la voie orale reste privilégiée, mais les applications topiques conservent un rôle complémentaire essentiel (Bellakhdar, 1997; Boudjelal *et al.*, 2013; Benkhniqne *et al.*, 2014).

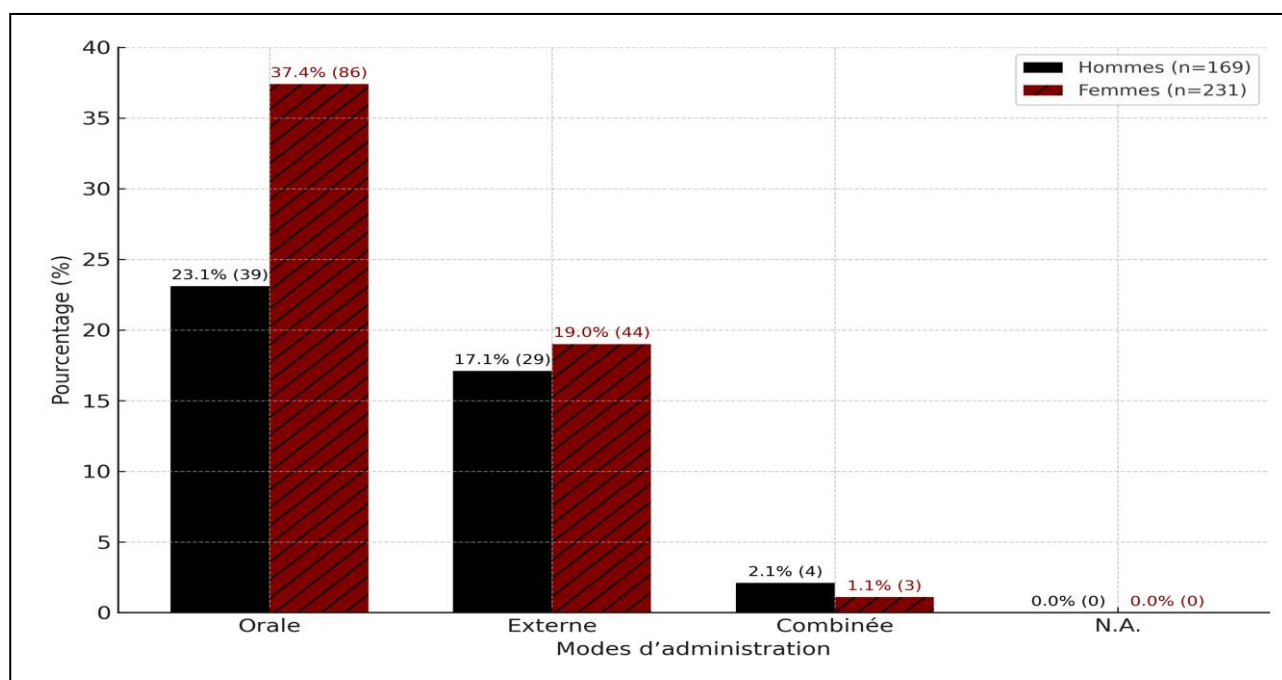


Figure 17. Répartition des modes d'administration de *Pallenis hierichuntica* selon le sexe

2.3.4. Affections traitées

L'espèce est utilisée pour une large gamme d'affections. Les troubles digestifs demeurent les plus fréquemment cités (30 %), suivis des affections cutanées et inflammatoires (25 %), des troubles

respiratoires (18 %), des douleurs articulaires ou rhumatismales (15 %) et des troubles gynécologiques (13 %). Une proportion plus faible des usages (8 %) n'a pas été précisée (N.A.) (Figure 18).

Ces résultats mettent en évidence la place centrale de *Pallenis hierichuntica* dans la gestion des troubles digestifs et cutanés au sein de la médecine traditionnelle locale. Les affections digestives, souvent associées à des douleurs abdominales, coliques ou diarrhéiques, constituent l'un des motifs thérapeutiques les plus récurrents dans les enquêtes ethnobotaniques menées sur les Astéracées au Maghreb (Boudjelal *et al.*, 2013; Amrani-Allalou *et al.*, 2021). Ce résultat témoigne d'une continuité du savoir empirique, où les décoctions et infusions majoritairement citées par les informateurs sont privilégiées pour leurs effets adoucissants et régulateurs du transit.

Les usages topiques, notamment pour les affections cutanées et inflammatoires (plaies, brûlures, eczéma), confirment la réputation de l'espèce comme plante « cicatrisante » et « calmante ». Ces pratiques s'inscrivent dans un schéma thérapeutique typique des Composées, dont plusieurs genres proches (*Inula*, *Asteriscus*, *etc.*) sont également employés pour des indications dermatologiques similaires (Bellakhdar, 1997; Benkhniue *et al.*, 2014).

Les indications respiratoires et articulaires, bien que moins fréquentes, traduisent une extension fonctionnelle de l'usage vers les affections inflammatoires internes et les douleurs rhumatismales. Les troubles gynécologiques, cités principalement par les femmes, suggèrent un savoir spécifique transmis dans un contexte domestique, souvent lié aux soins post-partum ou aux troubles menstruels, comme observé pour d'autres espèces de la même tribu (*Inuleae*).

Ainsi, la diversité des indications thérapeutiques rapportées pour *P. hierichuntica* reflète une approche empirique intégrée, fondée sur l'observation des effets et la transmission intergénérationnelle du savoir. Cette polyvalence d'usage souligne le potentiel pharmacologique de l'espèce et justifie les investigations expérimentales menées dans la présente étude.

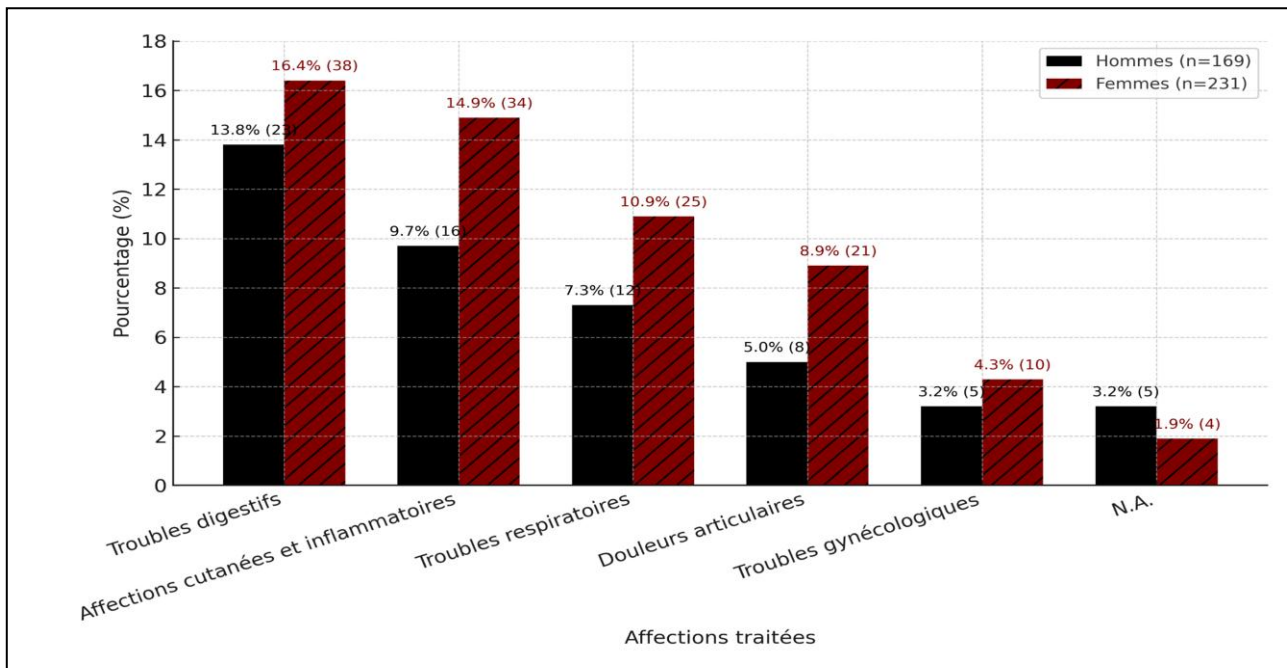


Figure 18. Répartition de l'affection traitée par *Pallenis hierichuntica* selon le sexe

2.3.5. Effets secondaires de *Pallenis hierichuntica*

L'évaluation des effets indésirables liés à l'utilisation de *Pallenis hierichuntica* met en évidence un profil de tolérance globalement favorable. La majorité des informateurs n'a rapporté aucun effet secondaire, soit $\approx 40\%$ des citations chez les hommes (68) et $\approx 54\%$ chez les femmes (124). De légers troubles digestifs ont été signalés de manière sporadique ($\approx 2\%$; 4 citations chez les hommes et $\approx 4\%$; 9 citations chez les femmes). Aucun autre effet indésirable n'a été relevé (N.A. = 0%) (Figure 19).

Ces résultats suggèrent que l'espèce présente une bonne marge de sécurité pharmacologique dans les usages traditionnels, comparable à celle rapportée pour d'autres Astéracées médicinales du Maghreb (Bellakhdar, 1997; Boudjelal *et al.*, 2013; Amrani-Allalou *et al.*, 2021). La rareté des effets indésirables et leur caractère bénin renforcent l'intérêt de cette plante comme ressource thérapeutique potentielle pour de futures investigations expérimentales et cliniques.

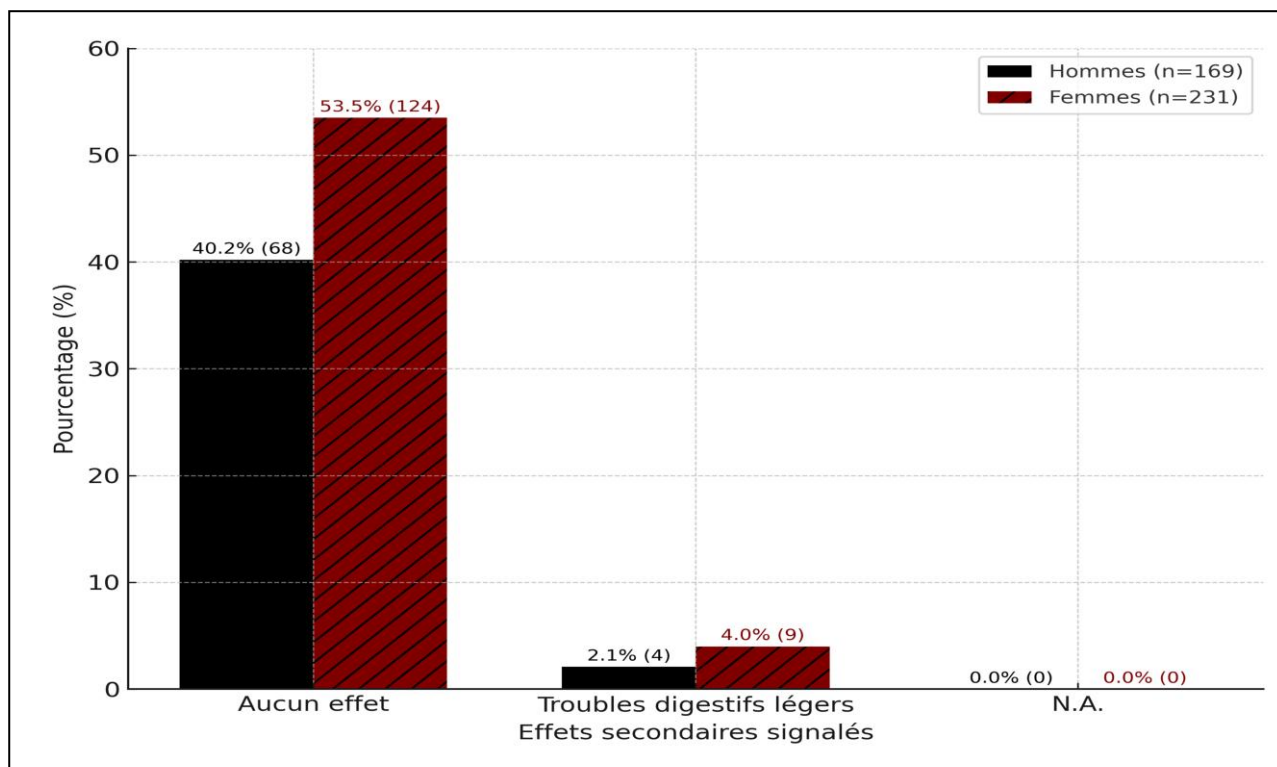


Figure 19. Répartition des effets secondaires signalés selon le sexe

2.4. Importance culturelle et perceptions locales de *Pallenis hierichuntica*

L'analyse des perceptions locales révèle que *Pallenis hierichuntica* occupe une place significative dans la culture thérapeutique traditionnelle. La majorité des informateurs considèrent cette espèce comme très importante ($\approx 23,5$ % des citations chez les hommes ; 36,1 % chez les femmes), suivie d'une perception moyennement importante ($\approx 9,8$ % et 10,7 %, respectivement). Une minorité l'estime peu importante ($\approx 3,5$ % chez les hommes et 1,9 % chez les femmes) ou l'associe à des croyances symboliques ($\approx 3,1$ % et 7,3 %). Enfin, une proportion réduite des réponses est restée non précisée ($\approx 2,4$ % et 1,5 %) (Figure 20).

Cette distribution illustre la valeur culturelle et symbolique attribuée à l'espèce, en particulier parmi les femmes, qui apparaissent comme les principales détentrices et vectrices de ce savoir. La reconnaissance de l'importance thérapeutique et symbolique de *P. hierichuntica* témoigne d'une intégration profonde de cette plante dans le système de soins local, renforçant son rôle à la fois médical et socio-culturel. Ces résultats concordent avec les observations rapportées pour d'autres Astéracées médicinales au Maghreb, où l'usage thérapeutique s'accompagne souvent d'une dimension symbolique ancrée dans la tradition orale (Bellakhdar, 1997; Boudjelal *et al.*, 2013).

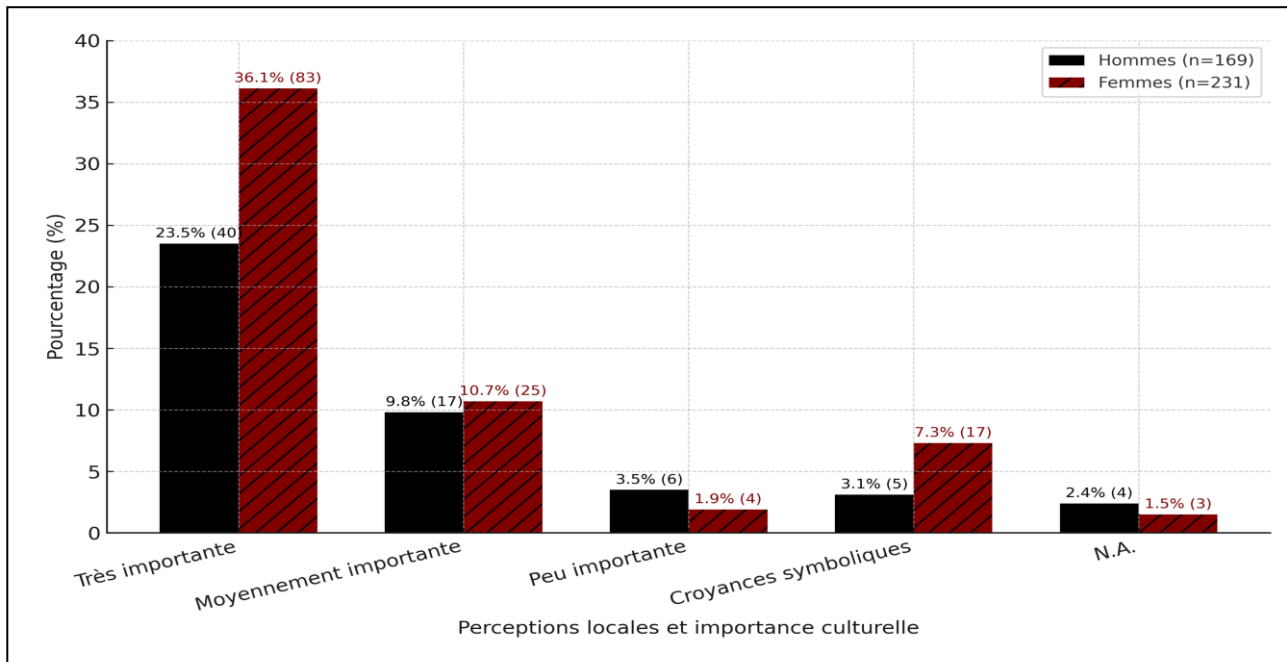


Figure 20. Importance culturelle et perceptions locales de *Pallenis hierichuntica* selon le sexe

2.5. Analyses statistiques et indices ethnobotaniques

L'intégration des analyses statistiques et des indices ethnobotaniques permet d'évaluer la cohérence et la valeur du savoir traditionnel associé à *Pallenis hierichuntica*, en consolidant les résultats descriptifs présentés précédemment.

Corrélations statistiques

Les analyses menées à l'aide de SPSS v.26 révèlent une corrélation significative entre le sexe et le type d'usage (χ^2 , $p = 0,032$), confirmant la prépondérance des femmes dans l'emploi domestique de l'espèce. Une variation intercommunale significative (Kruskal-Wallis, $p = 0,007$) a également été observée, traduisant l'hétérogénéité des pratiques selon les communes rurales. En revanche, le niveau d'instruction n'a pas montré d'influence significative ($p = 0,214$), ce qui corrobore la transmission essentiellement orale du savoir ethnopharmacologique.

Indices ethnobotaniques

Les indices calculés ont confirmé la cohérence des savoirs associés à l'espèce (Figure 21) : une valeur d'usage élevée ($UV = 0,56$), une fréquence importante de citation ($RFC = 0,55$) et un facteur de fidélité élevé ($FL\% = 82\%$) orienté principalement vers les troubles digestifs. Le facteur de consensus ($ICF = 0,80$) reflète un accord notable entre les informateurs, tandis que l'indice culturel ($CI = 0,69$) met en évidence la dimension patrimoniale de la plante. Enfin, les valeurs de diversité ($H' = 1,70$) et d'équitabilité ($J' = 0,83$) indiquent une bonne répartition et un équilibre des connaissances au sein des communautés étudiées.

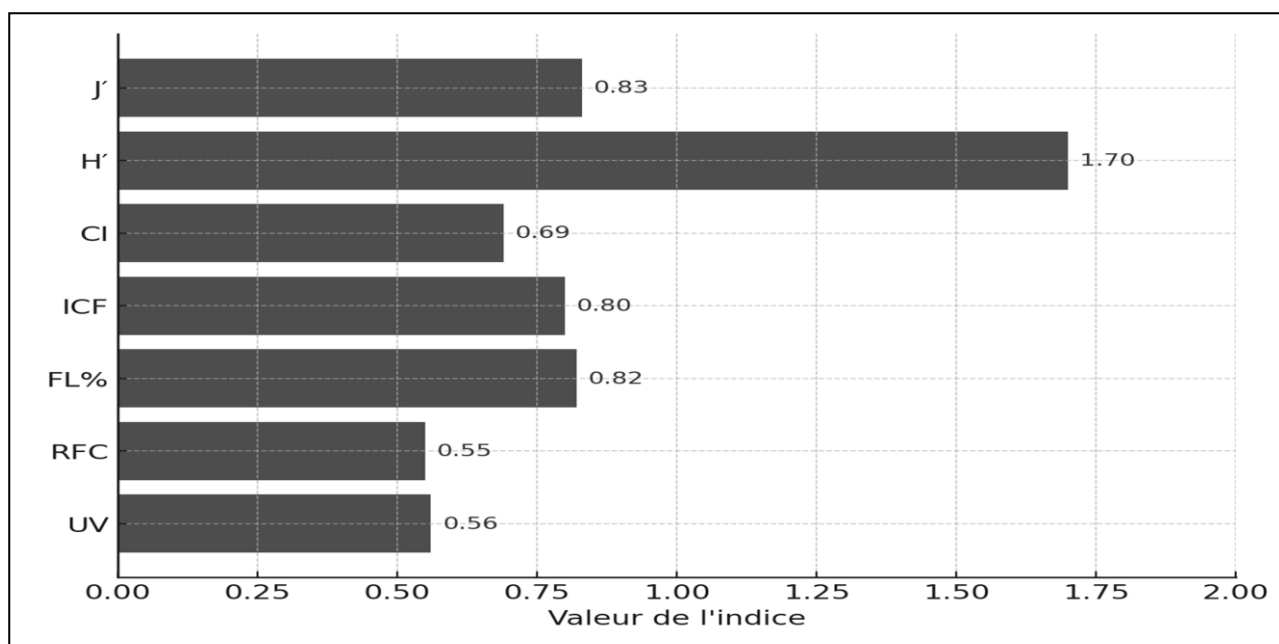


Figure 21. Indices ethnobotaniques de *Pallenis hierichuntica*

Représentation graphique des indices ethnobotaniques calculés (UV, RFC, FL%, ICF, CI, H', J').

Ces résultats mettent en lumière plusieurs points saillants. D'une part, la forte implication des femmes et la transmission orale confirment le rôle central de la sphère domestique dans la conservation des savoirs, en cohérence avec les observations rapportées par Bellakhdar (1997) au Maroc et par Benarba et *al.* (2015) en Algérie, qui soulignent la prédominance féminine dans la transmission des connaissances médicinales. D'autre part, le haut niveau de consensus (ICF) et l'importance des affections digestives comme indication principale traduisent non seulement une efficacité perçue mais aussi une continuité intergénérationnelle du savoir thérapeutique, comme relevé par Bouasla et Bouasla (2017) dans leurs travaux sur la pharmacopée traditionnelle algérienne. Enfin, l'ancrage culturel révélé par le CI montre que *P. hierichuntica* n'est pas seulement une ressource médicinale mais également un marqueur identitaire et symbolique, rejoignant les constats de Martin (1995) et d'Alexiades (1996) sur le rôle patrimonial des plantes médicinales dans les sociétés rurales, ce qui en renforce la valeur culturelle et justifie pleinement son exploration phytochimique et biologique approfondie.

L'étude ethnopharmacologique de *Pallenis hierichuntica* met en évidence un savoir traditionnel cohérent, porté surtout par les femmes, riche en usages thérapeutiques et ancré culturellement. L'espèce se distingue à la fois comme ressource médicinale et symbole patrimonial. Elle mérite ainsi des investigations phytochimiques et biologiques approfondies, développées dans le chapitre suivant.

3. Résultats et discussion sur les rendements d'extraction, la qualité des extraits et les huiles essentielles de *Pallenis hierichuntica*

3.1. Qualité et caractéristiques des échantillons de *Pallenis hierichuntica*

La préparation des échantillons de *Pallenis hierichuntica* a permis d'obtenir des poudres homogènes, stables et de bonne qualité, destinées aux analyses phytochimiques et biologiques.

Les teneurs moyennes en humidité, comprises entre 6 et 9 % selon les organes étudiés (feuilles, tiges, capitules floraux, fruits et racines etc.), respectent les limites fixées par la Pharmacopée Européenne (EDQM, 2020) et les Bonnes Pratiques de Culture et de Récolte (WHO, 2003; HMPC, 2006). Ces valeurs témoignent d'un séchage efficace assurant la stabilité microbiologique et chimique du matériel végétal.

Les poudres obtenues après broyage présentent une granulométrie régulière (< 64 µm), une couleur variant du vert clair au brun, et une odeur aromatique caractéristique, sans présence de moisissure ni d'agglomération. Ces observations confirment la bonne conservation des pigments et des composés volatils, traduisant la qualité du processus de séchage appliqué (voir Annexe 11).

Sur le plan analytique, la texture fine et l'homogénéité des poudres garantissent une reproductibilité satisfaisante des extractions et une préservation optimale des métabolites secondaires. Ces résultats confirment l'efficacité du protocole de préparation adopté et s'accordent avec les conclusions d'Heinrich et *al.* (2022) et Ramesh et *al.* (2024),

qui soulignent l'importance du contrôle de l'humidité et de la granulométrie dans la stabilité et la qualité des drogues végétales destinées aux analyses phytochimiques.

Ces poudres homogènes ont ensuite servi à la préparation des extraits hydro-méthanolique et aqueux, utilisés pour l'évaluation phytochimique et biologique présentée dans la section suivante.

3.2. Rendement d'extraction

Avant l'étape d'extraction principale, différents mélanges solvantés ont été testés afin d'optimiser le rendement d'extraction des métabolites secondaires de *Pallenis hierichuntica*. Les essais comparatifs réalisés sur la partie aérienne au stade de fructification ont montré que le mélange éthanol/eau (70/30, v/v) a donné un rendement faible de 0,70 %, tandis que le mélange méthanol/eau (70/30, v/v) a donné un rendement légèrement supérieur de 0,93 %.

Sur la base de ces observations, le mélange hydro-méthanolique 50/50 (v/v) a été retenu pour l'ensemble des extractions, car il offre un compromis optimal entre la polarité du solvant et la solubilité des composés phénoliques et flavonoïdiques. Ce choix visait à maximiser le rendement tout en garantissant une bonne représentativité chimique des métabolites extraits.

Les rendements d'extraction obtenus à partir des différentes parties de *Pallenis hierichuntica* au stade de floraison montrent des variations notables (Tableau 3). Les capitules floraux présentent le rendement le plus élevé (28,68 %), suivis des tiges (26,58 %) et des feuilles (23,68 %). La partie

aérienne entière affiche un rendement moyen de 24,20 %, tandis que les racines présentent la valeur la plus faible (16,43 %).

Ces différences peuvent être attribuées à la nature biochimique propre à chaque organe et à la répartition inégale des métabolites secondaires au sein de la plante. Les parties florales, en particulier, constituent le principal réservoir de composés bioactifs tels que les polyphénols et flavonoïdes, généralement concentrés dans les tissus liés à la reproduction et à la protection contre les stress environnementaux (Do *et al.*, 2013).

Les valeurs obtenues sont comparables à celles rapportées pour *Pallenis spinosa*, dont les rendements moyens en extraits lyophilisés atteignent 26,6 % pour les fleurs, 20,4 % pour les feuilles et 14,8 % pour les tiges (Amrani-Allalou *et al.*, 2021). Cette proximité confirme la cohérence phytochimique entre les deux espèces et la pertinence du protocole d'extraction adopté.

Au stade de fructification, les rendements d'extraction sont globalement plus faibles que ceux obtenus au stade de floraison, traduisant une diminution du contenu en métabolites secondaires à ce stade de développement (Tableau 3). Les valeurs enregistrées varient de 2,17 % pour les racines à 2,47 % pour les fruits, avec des rendements similaires pour les tiges (2,22 %) et la partie aérienne (2,23 %).

Ces rendements modestes pourraient s'expliquer par une mobilisation des métabolites secondaires au profit de la formation et de la maturation des fruits, processus nécessitant une redistribution des ressources métaboliques de la plante. Les faibles valeurs observées pour les extraits à base de solvants simples (méthanol et éthanol) confirment que la partie aérienne au stade de fructification est moins riche en composés polaires que lors de la floraison.

Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés chez d'autres Asteraceae, où les concentrations en polyphénols et flavonoïdes diminuent progressivement après la floraison, notamment chez *Pallenis spinosa* (Amrani-Allalou *et al.*, 2021). Cette évolution reflète la dynamique physiologique de la plante, qui oriente la biosynthèse secondaire vers les structures reproductrices pendant la floraison, avant un déclin à la phase de fructification.

Par ailleurs, selon Tušek *et al.* (2016), l'efficacité de l'extraction solide-liquide dépend fortement de la polarité du solvant et de la température d'extraction. Même si la macération à température ambiante utilisée ici est plus douce que les extractions thermiques optimales, elle présente l'avantage de préserver l'intégrité des métabolites thermosensibles, conduisant ainsi à des rendements élevés et à des extraits de meilleure qualité (Tušek *et al.*, 2016).

Tableau 3. Rendements d'extraction obtenus à partir des différentes parties de *Pallenis hierichuntica* au stade de floraison et de fructification

Extrait	Masse de poudre (g)	Masse d'extrait (g)	Rendement d'extraction (% w/w)
Fle	19	5,45	28,68
TFI	50	13,29	26,58
F	50	11,84	23,68
RFI	30	4,93	16,43
PFI	30	7,26	24,20
Fru	19	0,47	2,47
TFr	50	1,11	2,22
RFr	30	0,65	2,17
PFr	30	0,67	2,23

3.3. Qualité des extraits lyophilisés de *Pallenis hierichuntica*

Les poudres lyophilisées obtenues se caractérisent par leur homogénéité remarquable et une texture fine, assurant une reproductibilité optimale lors des analyses phytochimiques (Annexe 12). Ces propriétés reflètent une bonne stabilité des composés bioactifs et confirment l'efficacité des conditions de lyophilisation et de conservation appliquées.

De plus, la faible teneur en humidité et une granulométrie régulière contribuent à la préservation des métabolites secondaires, souvent sensibles à l'oxydation ou à la dégradation thermique (Jameel *et al.*, 2015; Fissore, Pisano et Barresi, 2020). Ces paramètres constituent ainsi des indicateurs importants de la qualité des extraits et garantissent la fiabilité des résultats expérimentaux obtenus.

3.4. Discussion sur les implications phytochimiques et biologiques

Les extraits homogènes et stables obtenus constituent une base fiable pour les analyses phytochimiques et biologiques suivantes. Le rendement élevé des fleurs, notamment, laisse présager une concentration importante en antioxydants naturels. Ces composés devraient se traduire par une forte activité dans les tests DPPH et FRAP, ainsi qu'une efficacité antimicrobienne notable (Kaur, Kapoor et Radical, 2002). Des études antérieures sur des extraits floraux riches en polyphénols ont montré que de telles teneurs sont généralement corrélées à une activité antioxydante et antimicrobienne significative (Singleton et Rossi, 1965; Re *et al.*, 1999).

La conformité du protocole aux recommandations de l'OMS (2003) relatives aux Bonnes Pratiques de Culture et de Récolte (GACP) assure par ailleurs la qualité, la traçabilité et la reproductibilité du matériel végétal (Annexe 10). Cette rigueur méthodologique renforce la validité scientifique des analyses prévues et justifie l'intérêt porté à *Pallenis hierichuntica* comme source potentielle d'antioxydants naturels et de composés biologiquement actifs.

4. Profil phytochimique de *Pallenis hierichuntica*

4.1. Dépistage qualitatif des métabolites secondaires de *Pallenis hierichuntica*

Le criblage phytochimique de *P. hierichuntica* a révélé la présence de plusieurs groupes de métabolites secondaires, grâce à des réactions de coloration ou de précipitation spécifiques. Les résultats, résumés dans le Tableau 4, mettent en évidence des variations qualitatives notables selon l'organe analysé et le stade phénologique de développement.

- **Profil au stade de la floraison** : les tests de caractérisation de la poudre des inflorescences, tiges, feuilles, racines et parties aériennes de *Pallenis hierichuntica* révèle une forte activité biosynthétique et une richesse en métabolites secondaires. Les organes floraux et les parties aériennes se distinguent par une diversité chimique élevée, liée à leur rôle écologique de protection et d'attraction (Candan *et al.*, 2003). Cette abondance en composés phénoliques et terpéniques traduit une adaptation face aux stress abiotiques et biotiques (Salunke et Koche, 2023; Rao et Zheng, 2025), tandis que les racines, dominées par les stérols et triterpènes, remplissent principalement une fonction structurelle et défensive (Lange *et al.*, 2020).
- **Profil au stade de la fructification** : la poudre des fruits, tiges, racines et parties aériennes confirment la persistance des métabolites secondaires, mais avec un profil différent. Les fruits et les parties aériennes se distinguent par une forte accumulation de flavonoïdes, coumarines, saponines et stérols, traduisant une intensification de la synthèse secondaire destinée à la protection des structures reproductrices (Preethi, Kuttanb et Kuttan, 2009). Cette concentration accrue de métabolites bioactifs reflète une stratégie adaptative visant à renforcer la défense contre les stress environnementaux et biotiques, assurant ainsi la survie et la viabilité des graines (Whitehead et Bowers, 2014; Nelson and Whitehead, 2021) . Les racines et tiges de fructification, quant à elles, demeurent riches en triterpènes et tanins, confirmant leur rôle de soutien et de protection systémique (Chang *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2021).

Tableau 4. Résultats du screening phytochimique de neuf échantillons de *P. hierichuntica*

Métabolites secondaires	Floraison					Fructification			
	Fle	F	TFI	PFI	RFI	Fru	TFr	PFr	RFr
Flavonoïdes	++	++	+	++	+	+++	+++	+++	+++
Coumarines	+	+	–	+	–	+++	+++	+++	+++
Stérols	+	++	++	++	++	+++	+++	+++	+++
Terpènes	++	+	+	++	+	++	+	+++	+++
Triterpènes	++	++	+	++	+	+++	+++	+++	+++
Tanins catéchiques	+	++	+	++	+	+++	+++	+++	+++
Tanins galliques	+	+	+	++	+	++	+++	++	++
Saponines	–	+	–	+	–	+++	–	–	+
Leucoanthocyanes	–	–	–	–	–	–	+	+	+
Quinones	–	–	–	–	–	–	–	+	–
Alcaloïdes	+	+	–	+	–	++	+	+	–

(Signification : + présence ; ++ présence modérée ; +++ abondamment présent ; – absence)

L'ensemble des résultats révèle une organisation métabolique différenciée selon les organes et les stades de développement de *Pallenis hierichuntica*. Les flavonoïdes, triterpènes et tanins, distribués de manière ubiquiste, jouent un rôle central dans la défense antioxydante et l'adaptation aux stress abiotiques et biotiques (Chang *et al.*, 2019; Takó *et al.*, 2020). En revanche, des métabolites comme les saponines et les leucoanthocyanes présentent une distribution plus sélective, reflétant une spécialisation écologique et une protection ciblée des organes reproducteurs (Augustin *et al.*, 2011; Osbourn, Goss et Field, 2011).

Des profils similaires, signalés chez d'autres Astéracées médicinales (*Helichrysum italicum*, *Calendula officinalis*), confirment une convergence adaptative visant à renforcer la résilience écologique (D'Abrosca *et al.*, 2016). Ainsi, la plasticité biochimique de *P. hierichuntica* et l'accumulation marquée de métabolites bioactifs dans ses organes reproducteurs lui confèrent un intérêt ethnopharmacologique et cosmétique notable (Djeridane *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2021; Furlan et Bren, 2023).

4.2. Analyse quantitative des extraits de *Pallenis hierichuntica*

4.2.1. Teneur totale en composés phénoliques (TPC)

L'évaluation de la TPC effectuées selon la méthode de Folin-Ciocalteu ont révélé une variation nette entre les organes et entre les deux stades phénologiques de *Pallenis hierichuntica* (Tableau 5). (Les abréviations utilisées sont les suivantes : Fle = fleurs, F = feuilles, TFl = tiges en floraison, PFl = parties aériennes en floraison, RFl = racines en floraison, Fru = fruits, TFr = tiges en fructification, PFr = parties aériennes en fructification, RFr = racines en fructification).

Les valeurs se situent entre 22,15 à 86,34 mg EAG/g, traduisant une richesse métabolique notable. Lors de la floraison, les feuilles ($60,12 \pm 0,98$ mg EAG/g) et les fleurs ($52,40 \pm 1,05$ mg EAG/g) ont enregistré les teneurs les plus élevées, indiquant une activité biosynthétique marquée dans les organes aériens. En revanche, les tiges ($28,76 \pm 0,67$ mg EAG/g) et les racines ($22,15 \pm 0,60$ mg EAG/g) présentaient des niveaux plus faibles, en cohérence avec leur rôle structural.

Au stade de fructification, une redistribution des composés phénoliques a été observée : les racines ($86,34 \pm 1,11$ mg EAG/g) et les tiges ($73,18 \pm 1,42$ mg EAG/g) sont devenues les organes les plus riches, suivies par les fruits ($65,84 \pm 1,25$ mg EAG/g). Cette évolution suggère une réorientation métabolique possible vers les organes protecteurs et reproducteurs, comme l'ont indiqué des études antérieures (Kumar, Debnath et Singh, 2023; Park *et al.*, 2023).

En comparaison avec d'autres Astéracées, *P. hierichuntica* présente des valeurs maximales de TPC similaires à celles observées chez *Centaurea sp.* (82-175 mg EAG/g ; Salachna *et al.*, 2021)

et d'*Asteriscus maritimus* (107 mg EAG/g ; Ezzat *et al.*, 2016) ,

mais supérieures à celles d'*A. graveolens* (27 mg EAG/g ; Haddouchi *et al.*, 2018)

. Cela confirme le rôle adaptative des composés phénoliques dans les environnements arides.

Tableau 5. TPC des extraits de *Pallenis hierichuntica* aux deux stades phénologiques

Extrait de	Floraison					Fructification			
	Fle	F	TFl	PFl	RFl	Fru	TFr	PFr	RFr
TPC (mg EAG/g E)	52,40 $\pm 1,05$	60,12 $\pm 0,98$	28,76 $\pm 0,67$	57,30 $\pm 1,10$	22,15 $\pm 0,60$	65,84 \pm 1,25	73,18 $\pm 1,42$	47,65 \pm 0,72	86,34 \pm 1,11

4.2.2. Teneur totale en flavonoïdes (TFC) de *Pallenis hierichuntica*

Les valeurs de TFC, déterminées par la méthode au chlorure d'aluminium, variaient entre 4,70 et 13,20 mg EQ/g (Tableau 6). En floraison, les feuilles ($10,05 \pm 0,42$ mg EQ/g) et les fleurs ($9,15 \pm 0,40$ mg EQ/g) présentaient les teneurs les plus élevées, reflétant leur rôle dans la photoprotection et

la défense antioxydante (Kulbat, 2016). Les tiges ($5,30 \pm 0,28$ mg EQ/g) et les racines ($4,70 \pm 0,25$ mg EQ/g) affichaient des niveaux plus faibles.

En phase de fructification, une accumulation plus importante de flavonoïdes a été observée dans les fruits ($13,20 \pm 0,55$ mg EQ/g) et dans les parties aériennes ($12,38 \pm 0,45$ mg EQ/g). Cela indique un renforcement de la synthèse des flavones et des flavonols dans les organes reproducteurs exposés à la lumière (Zoratti *et al.*, 2014; Panche, Diwan et Chandra, 2016). Le rapport TFC/TPC a atteint 25,98 % dans les parties aériennes au stade de fructification, suggérant une orientation métabolique accrue vers la défense antioxydante (Milek *et al.*, 2022).

Ces niveaux se situent dans la gamme décrite pour d'autres Asteraceae : inférieurs à ceux de *Matricaria chamomilla* (60-120 mg EQ/g ; Mailänder *et al.*, 2022) et de *Carthamus tinctorius* (62,2 mg EQ/g ; Yu *et al.*, 2013), mais proches de *Achillea sieheana* ($\approx 11,3$ mg EQ/g ; Albayrak, 2013) et de *Centaurea sicula* (8-28 mg EQ/g ; Dhouibi *et al.*, 2020).

Tableau 6. TFC des extraits et pourcentage de flavonoïdes

Échantillon	Floraison					Fructification			
	Fle	F	TFI	PFI	RFI	Fru	TFr	PFr	RFr
TFC (mg EQ/g E)	9,15 $\pm 0,40$	10,05 $\pm 0,42$	5,30 $\pm 0,28$	9,80 \pm 0,48	4,70 \pm 0,25	13,20 $\pm 0,55$	10,87 $\pm 0,55$	12,38 \pm 0,45	10,10 \pm 0,65
Flavonoïdes % (= TFC/TPC\times100)	17,45	16,72	18,43	17,10	21,23	20,05	14,85	25,98	11,70

(Unités : TFC en mg EQ/g d'extrait)

4.2.2. Statistique et interprétation

Les résultats de l'ANOVA ($p < 0,0001$), suivie du test de Tukey, ont confirmé l'existence de différences statistiquement significatives entre les organes étudiés. Les racines au stade de fructification se distinguaient nettement de l'ensemble des autres organes ($p < 0,05$), tandis que les racines et les tiges en floraison présentaient les plus faibles teneurs. Les fruits et les parties aériennes en phase de fructification affichaient, quant à eux, des niveaux de flavonoïdes significativement plus élevés que les organes basaux (Figure 22).

Ces tendances sont cohérentes avec les observations qualitatives, indiquant que *P. hierichuntica* adopte une stratégie métabolique différenciée, caractérisée par :

- une activité phénolique accrue dans les organes exposés ou reproducteurs,

- une accumulation adaptative dans les racines au stade de fructification, possiblement liée au stress hydrique,
- et un rôle écologique marqué des polyphénols et flavonoïdes dans les mécanismes de défense et de résilience en milieux semi-arides.

L'ensemble de ces résultats met en évidence une plasticité biochimique notable, renforçant l'intérêt ethnopharmacologique de cette espèce.

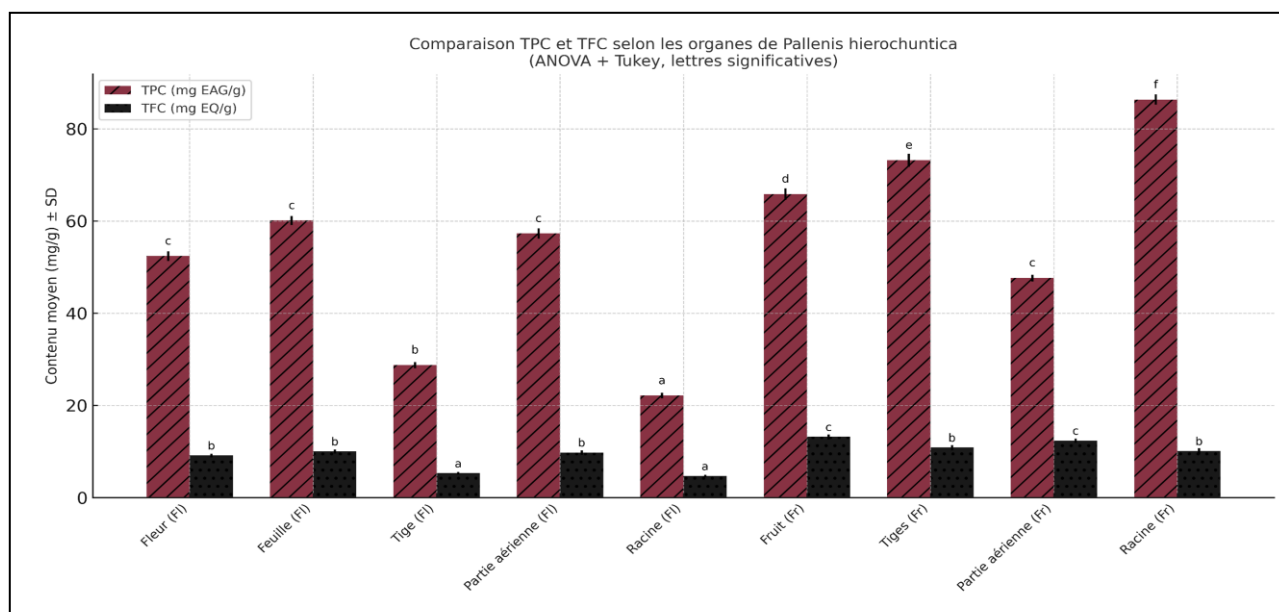


Figure 22. Teneurs en composés phénoliques totaux (TPC, exprimés en mg EAG/g) et en flavonoïdes totaux (TFC, exprimés en mg EQ/g) dans les différents organes de *Pallenis hierichuntica* aux stades de floraison et de fructification

Légende : Les barres représentent les moyennes \pm écart-type ($n = 3$). Des lettres différentes au-dessus des barres indiquent des différences significatives entre les organes selon l'ANOVA à un facteur suivie du test post-hoc de Tukey ($p < 0,05$). Les barres grenat correspondent aux TPC et les barres noires aux TFC, avec des motifs distinctifs afin de faciliter l'interprétation lors d'une impression monochrome.

4.3. Chromatographie UHPLC-MS/MS des extraits de *P. hierichuntica*

Cette étude constitue la première caractérisation chromatographique systématique et multi-organes sur *Pallenis hierichuntica*. Elle a porté sur quatre extraits hydro-méthanoliques issus des inflorescences (Fl), des tiges (Ti), des feuilles (F) au stade de floraison et des fruits (Fr). Ces extraits ont été analysés par UHPLC-MS/MS afin de comparer leurs profils chromatographiques, d'identifier les composés présents et d'évaluer leur teneur ainsi que leur quantification.

L'identification des métabolites a été réalisée par comparaison de leurs temps de rétention et de leurs ions moléculaires avec ceux de standards de référence.

Les chromatogrammes obtenus (Figures E, A, B, C et D) illustrent les profils caractéristiques des extraits analysés ainsi que celui du mélange des 56 standards utilisés. L'analyse comparative a permis d'identifier respectivement 27, 23, 26 et 21 composés dans les extraits méthanoliques des Fle, des TFI, des F et des Fru (Figure 23-24).

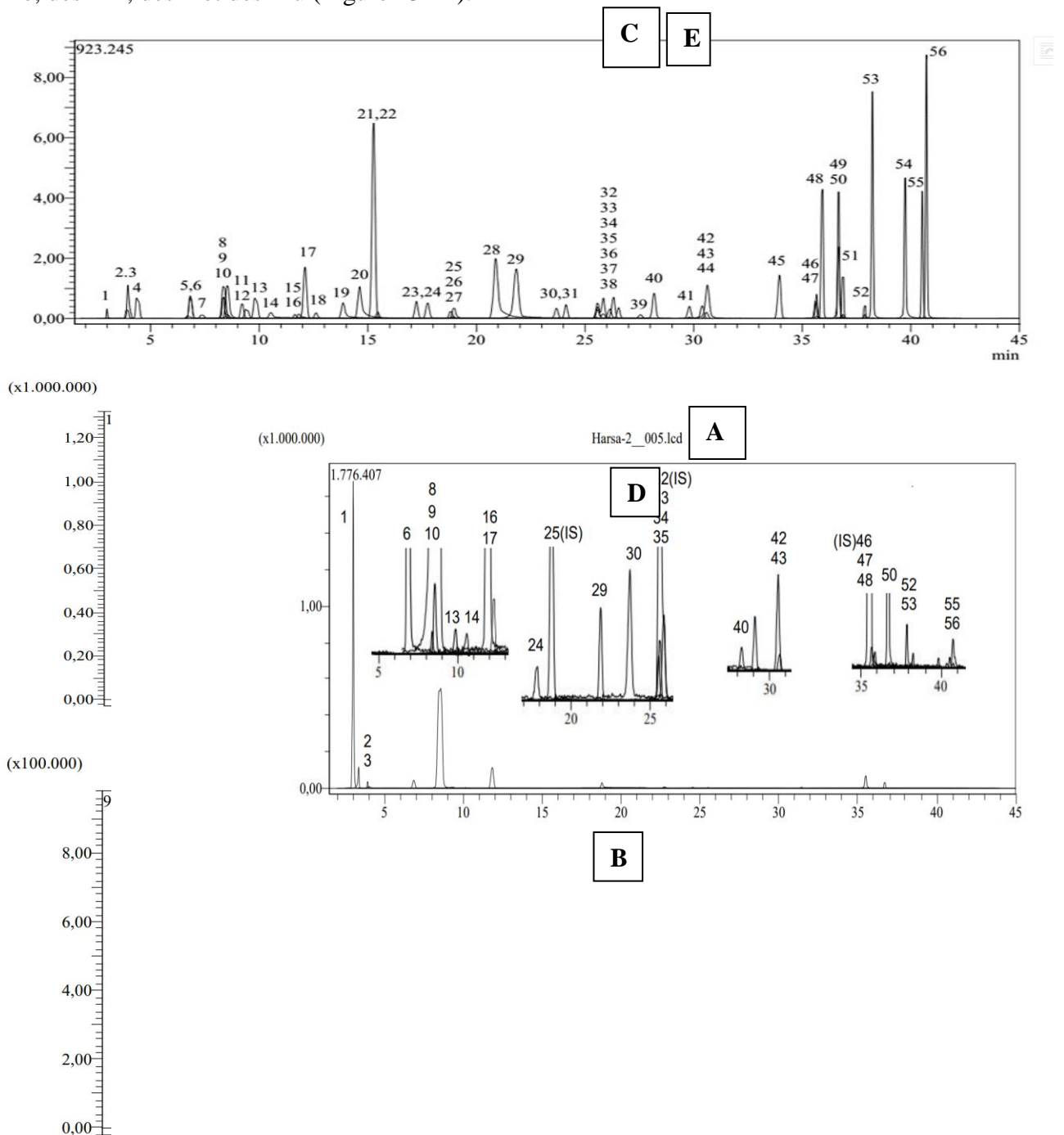


Figure 23. Chromatogrammes issus de l'analyse LC-MS/MS des extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica*
(E) Mélange standard, (A) Inflorescences, (B) Tiges (stade de floraison)

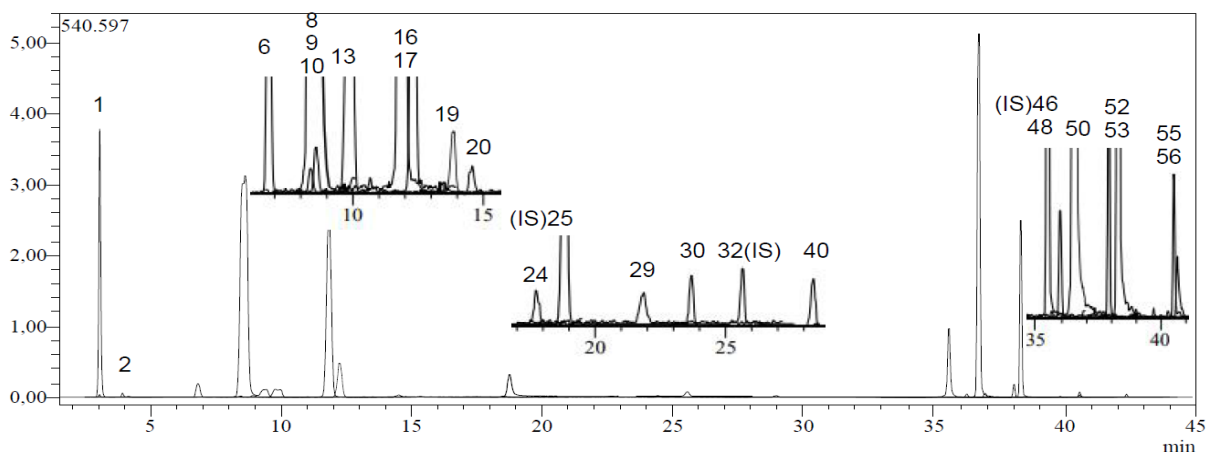


Figure 24. Chromatogrammes LC-MS/MS des extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica* (suite)
(C) Feuilles (stade de floraison), (D) Fruits

Le Tableau 7 et le tableau 8 synthétisent l'ensemble de ces résultats et mettent en évidence une distribution nettement différenciée des polyphénols selon les organes de *P. hierichuntica*. De manière générale, les extraits se caractérisent par une richesse notable en acides phénoliques et en flavonoïdes.

Le premier pic majeur (tr 3,0 min), correspondant à l'acide quinique, apparaît à des concentrations particulièrement élevées dans tous les organes. Le second pic prédominant (tr 8,4 min), attribué à l'acide chlorogénique, est également présent dans l'ensemble des extraits, mais à des niveaux inférieurs à ceux de l'acide quinique. Par ailleurs, l'acide fumarique (tr 3,9 min) est abondant dans les feuilles et les tiges, tandis que l'acide vanillique (tr 11,8 min) est détecté à des concentrations importantes dans les fleurs. Quelques flavonoïdes, notamment la rutine et la nicotiflorine, sont également observés en faibles quantités dans les différents organes.

Tableau 7. Principaux composés phénoliques identifiés par UHPLC–MS/MS dans les extraits méthanoliques de *Pallenis hierichuntica*

N°	Composés identifiés	TR (min) ^a	L.M. (m/z) ^b	L.F. (m/z) ^c	Quantité (mg d'analyte/g d'extrait)			
					Fle	TFI	F	Fru
1	Acide quinique	3,0	190,8	93,0	136,498	104,605	49,798	29,411
2	Acide fumarique	3,9	115,2	40,9	7,266	17,08	2,019	0,164
3	Acide aconitique	4,0	172,8	129,0	0,032	0,033	0,024	----
4	Acide gallique	4,4	168,8	79,0	----	N.D.	N.D.	N.D.
5	Épigallocatechine	6,7	304,8	219,0	----	N.D.	N.D.	----
6	Acide protocatechique	6,8	152,8	108,0	1,538	0,107	0,721	0,671
7	Catéchine	7,4	288,8	203,1	----	N.D.	N.D.	----

8	Acide gentisique	8,3	152,8	109,0	0,045	0,034	0,044	0,041
9	Acide chlorogénique	8,4	353,0	85,0	18,271	22,871	31,405	10,266
10	Aldéhyde protocatéchique	8,5	137,2	92,0	0,087	0,103	0,164	0,414
11	Acide tannique	9,2	182,8	78,0	----	N.D.	N.D.	----
12	Epigallocatechine gallate	9,4	457,0	305,1	----	N.D.	N.D.	----
13	1,5-dicaféoylquinique	9,8	515,0	191,0	0,06	0,02	0,018	0,503
14	Acide 4-OH benzoïque	10,5	137,2	65,0	0,113	N.D.	0,174	N.D.
15	Epicatechine	11,6	289,0	203,0	---	N.D.	N.D.	---
16	Acide vanillique	11,8	166,8	108,0	23,463	0,346	3,096	3,564
17	Acide caféique	12,1	179,0	134,0	0,801	0,326	0,338	1,841
18	Acide syringique	12,6	196,8	166,9	---	N.D.	N.D.	N.D.
19	Vanilline	13,9	153,1	125,0	----	N.D.	N.D.	0,092
20	Aldéhyde syringique	14,6	181,0	151,1	----	0,016	N.D.	0,072
21	Daidzine	15,2	417,1	199,0	.,----	N.D.	N.D.	----
22	Epicatechine gallate	15 ,5	441,0	289,0	.,---	N.D.	N.D.	----
23	Piceide	17,2	391,0	135/106,9	----	N.D.	0,013	N.D.
24	Acide <i>p</i> -coumarique	17,8	163,0	93,0	0,088	0,108	0,191	0,075
25	Acide férulique-D3-ISd	18,8	196,2	152,1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
26	Acide férulique	18,8	192,8	149,0	----	N.D.	N.D.	----
27	Acide sinapique	18,9	222,8	193,0	----	N.D.	N.D.	----
28	Coumarine	20,9	146,9	103,1	----	N.D.	N.D.	----
29	Acide salicylique	21,8	137,2	65,0	0,042	0,03	0,054	0,01
30	Cynaroside	23,7	447,0	284,0	0,181	0,012	0,327	0,077
31	Miquélianine	24,1	477,0	150,9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
32	Rutine-D3-ISd	25,5	612,2	304,1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
33	Rutine	25,6	608,9	301,0	1,945	0,162	5,162	N.D.
34	Isoquercitrine	25,6	463,0	271,0	0,169	0,027	0,311	N.D.

Tableau 8. Principaux composés phénoliques identifiés par UHPLC–MS/MS dans les extraits méthanoliques de *Pallenis hierichuntica* (suite)

N	Composés identifiés	TR (min) ^a	I.M. (m/z) ^b	I. F. (m/z) ^c	Fle	TFI	F	Fru
35	Hespéridine	25,8	611,2	449,0	0,79	0,062	2,066	N.D.
36	Acide o-coumarique	26,1	162,8	93,0	N.D.	N.D.	N.D.	----
37	Génistine	26,3	431,0	239,0	N.D.	N.D.	N.D.	----
38	Acide rosmarinique	26,6	359,0	197,0	N.D.	N.D.	N.D.	----
39	Acide ellagique	27,6	301,0	284,0	N.D.	N.D.	N.D.	----
40	Cosmosiin	28,2	431,0	269,0	0,015	N.D.	0,027	0,077
41	Quercitrine	29,8	447,0	301,0	N.D.	N.D.	N.D.	----
42	Astragaline	30,4	447,0	255,0	0,05	N.D.	0,093	N.D.

43	Nicotiflorine	30,6	592,9	255,0/284	0,3	0,016	1,22	N.D.
44	Fisétine	30,6	285,0	163,0	N.D.	N.D.	N.D.	---
45	Daidzéine	34,0	253,0	223,0	N.D.	N.D.	N.D.	----
46	Quercétine-D3-ISd	35,6	304,0	275,9	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
47	Quercétine	35,7	301,0	272,9	0,035	0,017	N.D.	N.D.
48	Naringénine	35,9	270,9	119,0	0,005	N.D.	N.D.	0,021
49	Hespérétine	36,7	301,0	136,0/286	N.D.	N.D.	N.D.	----
50	Lutéoline	36,7	284,8	151,0/175	0,094	0,008	0,156	1,586
51	Génistéine	36,9	269,0	135,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
52	Kaempférol	37,9	285,0	239,0	0,006	N.D.	0,009	0,09
53	Apigénine	38,2	268,8	151,0/149	0,006	0,001	0,007	0,461
54	Amentoflavone	39,7	537,0	417,0	N.D.	N.D.	N.D.	----
55	Chrysin	40,5	252,8	145,0/119	0,003	0,003	0,004	0,022
56	Acacétine	40,7	283,0	239,0	0,013	0,015	0,015	0,023

^a R.T. : Temps de rétention, ^b M.I. (m/z) : Ions moléculaires des analytes standards (rapport m/z), ^c F.I. (m/z) : Ions fragments, ^d S.I. : Standard interne, N.A. : Non applicable, N.D. : Non déterminé.

S.I. : Standards internes utilisés dans la méthode (25 : acide férulique-D3, 32 : rutine-D3, 46 : quercétine-D3).

Analyse des extraits : Une lecture attentive du tableau révèle des différences substantielles dans la répartition des métabolites secondaires. Les **inflorescences** se distinguent par des teneurs exceptionnellement élevées en acide quinique (136,50 mg/g) et en acide vanillique (23,46 mg/g), ainsi qu'une accumulation notable d'acide chlorogénique (18,27 mg/g). Cette abondance reflète une orientation métabolique privilégiant la biosynthèse d'acides phénoliques simples, conférant à l'organe floral un rôle central dans la photoprotection et la défense antioxydante (Amrani-Allalou *et al.*, 2019). Les **tiges**, en revanche, présentent un profil plus restreint, dominé par l'acide quinique (104,61 mg/g) et l'acide chlorogénique (22,87 mg/g), auxquels s'ajoutent de faibles quantités d'acide protocatéchique (0,107 mg/g), d'acide caféique (0,326 mg/g) et d'acide p-coumarique (0,108 mg/g). Cette composition appauvrie en polyphénols complexes reflète le rôle principalement structural de cet organe, avec une implication secondaire dans les mécanismes de défense (Mohammed, Uysal et Sevindik, 2023).

Les **feuilles** constituent un véritable réservoir de polyphénols. Elles sont dominées par l'acide quinique (49,80 mg/g) et l'acide chlorogénique (31,40 mg/g), mais renferment également une quantité notable d'acide fumarique (2,019 mg/g). Elles se caractérisent surtout par la présence marquée de flavonoïdes glycosylés tels que la rutine (5,16 mg/g), l'hespéridine (2,06 mg/g) et l'isoquercitrine (0,31 mg/g). Ce profil riche traduit une spécialisation chimique associant l'accumulation d'acides hydroxycinnamiques et de flavonoïdes glycosylés, renforçant leur rôle dans la photoprotection et l'adaptation aux stress abiotiques (Malarz, Michalska et Stojakowska, 2024).

Enfin, Les **fruits** présentent un profil métabolique complexe associant acides phénoliques et flavonoïdes. Ils contiennent des quantités non négligeables d'acide quinique (29,41 mg/g), d'acide

chlorogénique (10,27 mg/g) et d'acide vanillique (3,56 mg/g). Ils se distinguent également par la présence de flavones libres telles que la lutéoline (1,586 mg/g) et l'apigénine (0,461 mg/g), ainsi que par de faibles quantités de vanilline (0,092 mg/g) et de naringénine (0,021 mg/g). Ce profil reflète une spécialisation des organes reproducteurs combinant les propriétés antioxydantes des acides phénoliques et l'action protectrice des flavonoïdes, assurant la défense des graines face aux stress biotiques et abiotiques (Djouamaa *et al.*, 2022).

Comparaison inter-organes : Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence une distribution organo-spécifique marquée des métabolites secondaires chez *P. hierichuntica*. Les organes végétatifs se caractérisent par une forte accumulation d'acides phénoliques. En effet, les fleurs concentrent surtout l'acide quinique, l'acide vanillique et l'acide chlorogénique, tandis que les feuilles associent l'acide quinique, l'acide chlorogénique et l'acide fumarique avec une diversité notable de flavonoïdes glycosylés (rutine, hespéridine, isoquercitrine). À l'inverse, les tiges apparaissent appauvries, avec un profil limité dominé par l'acide quinique et l'acide chlorogénique. Les organes reproducteurs, en particulier les fruits, présentent un métabolisme différencié, combinant acides phénoliques (quinique, chlorogénique, vanillique) et flavones libres (lutéoline, apigénine), complétés par de faibles teneurs en vanilline et naringénine. Ce schéma adaptatif traduit une plasticité chimique remarquable, permettant à l'espèce d'optimiser ses mécanismes de défense et de protection dans les conditions semi-arides de la région de Tébessa.

Comparaison avec les espèces proches du genre : Par rapport à *Pallenis spinosa*, dont le profil phénolique rapporté par Amrani-Allalou *et al.* (2021) se limite à treize composés dominés par la catéchine et l'acide férulique, ou au profil décrit par Adoui *et al.* (2023), marqué par la prédominance de dérivés de l'acide caféique, *P. hierichuntica* se distingue par l'abondance d'acides quinique et chlorogénique et par la présence de flavonoïdes méthoxylés et glycosylés (rutine, isoquercitrine, nicotiflorine).

Des espèces voisines du genre *Asteriscus* montrent également une accumulation notable de composés phénoliques : *A. maritimus* contient de l'acide chlorogénique et de la rutine, tandis que *A. graveolens* renferme de l'acide 5-O-caféoylquinique, de l'acide caféique et de la rutine (Ezzat *et al.*, 2016 ; Pallarés *et al.*, 2025). *A. pygmaeus* se distingue par la présence d'une flavone originale, l'eupafolin-4'-glucopyranoside (Helmy, Ezzat & Naguib, 2019).

(Ezzat *et al.*, 2016; Helmy, Ezzat and Naguib, 2019; Amrani-Allalou *et al.*, 2021; Adoui *et al.*, 2023; Pallarés *et al.*, 2025)

Convergence UHPLC-MS/MS et dosages colorimétriques : Les résultats chromatographiques sont cohérents avec ceux du criblage phytochimique et des dosages TPC/TFC. Les organes riches

en polyphénols (feuilles, fruits, tiges, parties aériennes en fructification) présentent une diversité moléculaire élevée, tandis que les racines et tiges au stade de floraison, pauvres en TPC/TFC, montrent un spectre réduit dominé par quelques acides phénoliques.

La proportion relative des flavonoïdes met en évidence une accumulation préférentielle dans les organes aériens et reproducteurs, notamment les fruits (20,05 %) et les parties aériennes en fructification (25,98 %), en accord avec l'abondance de flavonoïdes glycosylés et libres révélée par UHPLC-MS/MS.

Conclusion : L'association d'acides phénoliques majeurs (quinique, chlorogénique, caféique, vanillique) et de flavonoïdes bioactifs (rutine, lutéoline, apigénine, hespéridine) confère à *P. hierichuntica* un potentiel pharmacologique élevé. L'originalité de son profil métabolique, enrichi en flavonoïdes glycosylés et en flavones libres, confirme l'intérêt de cette espèce comme ressource prometteuse pour de futures investigations ethnopharmacologiques et biotechnologiques.

4.4. L'huile essentielle de *Pallenis hierichuntica* par GC-MS

4.4.1. Caractéristiques générales et rendement

À notre connaissance, aucune étude antérieure n'a décrit la composition chimique de l'huile essentielle de *Pallenis hierichuntica*, comme l'a révélé une recherche documentaire exhaustive. L'absence totale de données publiées confère à cette analyse un caractère particulièrement original et justifie la réalisation d'une étude approfondie par GC-MS.

L'hydrodistillation des capitules floraux frais et des fruits a permis d'obtenir deux huiles essentielles visuellement distinctes : un liquide jaune pâle et limpide pour les fleurs, et un liquide blanchâtre légèrement trouble à odeur douce pour les fruits (Figure 25, Annexe 13). Les rendements obtenus 0,30 % pour les fleurs et 0,432 % pour les fruits restent faibles (Annexe 14) mais cohérents avec les caractéristiques des espèces xérophytes du genre *Pallenis*, dont la faible densité de glandes sécrétrices limite naturellement la production d'huiles essentielles (Senatore and Bruno, 2003; Tozin and Marques, 2015). Ces rendements modestes peuvent également être influencés par les pertes partielles de monoterpènes très volatils inhérentes à l'hydrodistillation par Clevenger, notamment en raison du phénomène de cohobation qui favorise la redistillation répétée de certaines molécules sensibles (St-gelais, 2014; Sadgrove, Padilla-gonzález et Leuner, 2021).

Les propriétés organoleptiques observées suggèrent une prédominance de monoterpènes et de sesquiterpènes oxygénés, composés généralement associés à des activités antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires (Filly *et al.*, 2016; Vora *et al.*, 2024; Matsubara et Matsui, 2025). Les différences visuelles entre les deux huiles laissent présager une variabilité qualitative et quantitative du profil terpénique, variabilité qui sera confirmée par l'analyse GC-MS



Figure 25. Comparaison des huiles essentielles de *Pallenis hierichuntica* : à gauche, huile essentielle extraite des capitules floraux frais ; à droite, huile essentielle extraite des fruits frais.

Tableau 9. Composés identifiés dans les fleurs et les fruits de *Pallenis hierichuntica* par GC-MS

N° pic	Tr	KI théorique	Nom du composé	Fle %	Fru %
01	11,84	948	2-pinene	0,46	-
02	15,35	969	Alpha-phellandrene	0,22	-
03	16,18	1013	<i>p</i> -Mentha-1(7),8-diene	0,11	0,45
04	16,34	1042	<i>p</i> -cymene	0,47	0,80
Monoterpènes hydrocarbonés				1,26	1,25
05	22,73	1137	<i>trans</i> -Verbeneol	0,13	0,24
06	24,17	1262	Thymol	0,14	-
Monoterpènes oxygénés				0,27	0,24
07	26,13	1432	Beta maaliene	-	0,21
08	27,88	1440	Beta farnesene	0,11	-
09	28,28	1451	Delta curcumene	0,22	-
10	28,46	1475	cycloheptane,4-methylene-1-methyl-2-(2-methyl-1-propen-1-yl)-1-vinyl	0,43	0,56
11	28,55	1492	Caryophyllene	0,30	0,21
12	28,73	1494	Alpha himachalene	0,14	-
13	29,02	1524	Alpha curcumene	0,34	0,31
Sesquiterpènes hydrocarbonés				1,54	1,29
14	29,14	1541	Sesquicineole	13,16	18,08
15	30,08	1569	Isospathulenol	0,18	0,50
16	30,47	1576	(3R, 3aS,5aS,8aS)-3,5a,7,7-tetramethyl-2,3,3a,4,5,6-hexahydro-1H-cyclopenta[g]pentalen-8-one	0,15	0,58
17	31,09	1582	oxide de Caryophyllène	0,16	0,30
18	31,20	1590	cis-Eudesm-6-en-11-ol	8,02	6,98
19	31,49	1594	Hinesol	5,34	3,74
20	31,67	1598	Agarospinol	0,35	0,46
21	31,77	1614	Guaiol	0,16	0,36
23	32,44	1625	Alpha-bisabolol	0,67	0,68
25	33,94	1740	6R, 7R Bisabolone	44,84	30,56
Sesquiterpènes oxygénés				75,25	62,24
26	24,72	1241	<i>trans</i> -decadienal (E,E)	-	0,27
Autres composés				-	0,27
22	31,94	1577	Non identifié	2,22	2,00
24	33,71	1629	Non identifié	14,72	27,91
Composés non identifiés				16,94	29,91
Total identifié				95,26	93,93

4.4.3. Analyse comparative et interprétation

La prédominance des sesquiterpènes oxygénés constitue une caractéristique métabolique récurrente du genre *Pallenis*, déjà observée chez *Pallenis spinosa* (Ahmed, Jakupovic et Bohlmann, 1990; Sanz et Marco, 1991; Senatore et Bruno, 2003). Toutefois, *P. hierichuntica* se démarque par la proportion exceptionnellement élevée de 6R,7R-bisabolone dans les deux organes analysés. Cette spécificité, absente dans la littérature antérieure, suggère fortement un chemotype inédit centré sur le bisabolone.

La domination des dérivés du bisabolane révèle une orientation métabolique stable et probablement gouvernée par un déterminisme génétique propre à l'espèce. Sur le plan écologique, les sesquiterpènes oxygénés jouent un rôle clé dans l'adaptation aux environnements semi-arides : protection contre le stress hydrique (Pichersky et Gershenzon, 2002), défense contre les herbivores et pathogènes (Gershenzon and Dudareva, 2007a; Holopainen and Gershenzon, 2010), renforcent la stabilité oxydative sous des températures élevées, amélioration de la stabilité oxydative (Vickers *et al.*, 2009), et modulation des interactions écologiques (Bakkali, 2007). La présence de bisabolone dans ces deux organes (Fle et Fru) confirme que ce métabolite est bien synthétisé par la plante.

4.4.4. Variabilité inter-organes et signification biologique

La comparaison des huiles essentielles entre fleurs et fruits suggère une modulation métabolique dépendant du développement et de la fonction écologique de chaque organe. Les espèces proches de la tribu des *Inuleae* présentent une richesse comparable en terpènes, appuyant cette hypothèse (Senatore et Bruno, 2003).

Chez *Pallenis spinosa*, la domination des sesquiterpènes oxygénés à rôle défensif illustre déjà cette variabilité fonctionnelle. La diversification des gènes terpene synthase (TPS) dans les plantes à fleurs explique la production différentielle de terpènes selon les organes (Chen *et al.*, 2011; Zhou et Pickersky, 2020). Ce phénomène a été clairement démontré chez *Actinidia*, où certaines TPS sont dédiées à l'attraction des pollinisateurs alors que d'autres protègent les fruits (Nieuwenhuizen *et al.*, 2009).

Les sesquiterpènes et lactones sesquiterpéniques jouent un rôle déterminant dans la défense enzymatique et la signalisation, leur efficacité dépendant parfois de la stéréochimie, comme montré chez *Xanthium strumarium* (Gershenzon et Dudarev, 2007; War *et al.*, 2012; Ahern et Whitney, 2014). Ainsi, il est biologiquement cohérent que les fleurs produisent davantage de composés attractifs tandis que les fruits privilégient des métabolites défensifs.

4.4.4.1. Synthèse et importance phytochimique

L'huile essentielle de *Pallenis hierichuntica* présente un rendement faible, Comme on peut s'y attendre chez certains xérophytes, une faible densité de glandes sécrétrices (ou des trichomes glandulaires peu nombreux) peut limiter le rendement en huile essentielle. Plusieurs études rapportent que la densité des trichomes glandulaires joue un rôle clé dans la production et le stockage des huiles volatiles (Li *et al.*, 2018; Abbasi, Houshmand et Ahmadi, 2024; Zamani *et al.*, 2025). Sa composition est marquée par une forte dominance de sesquiterpènes oxygénés, typique des Astéracées des milieux arides (Bakkali, 2007). La présence abondante du 6R,7R-bisabolone suggère un chimiotype unique au sein du genre, soutenant les observations sur le rôle central des bisabolanes dans la diversification chimique des plantes aromatiques (Ono *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2022; Nist, 2025).

La divergence entre huiles de fleurs et de fruits reflète une régulation différentielle des voies biosynthétiques selon le développement et la fonction écologique (Chen *et al.*, 2011; Zhou et Pickersky, 2020). La proportion importante de composés non identifiés laisse envisager la présence de métabolites spécialisés encore inconnus, phénomène déjà noté dans d'autres membres de la tribu des *Inuleae* (Senatore et Bruno, 2003).

Les principaux constituants bisabolone, sesquicineole, hinesol, guaiol sont reconnus pour leurs activités anti-inflammatoires, antimicrobiennes, antioxydantes et cicatrisantes (Rocha, 2011; Miguel, 2016). Ces propriétés confèrent à *P. hierichuntica* un fort potentiel pharmaceutique et cosmétique, d'autant plus que les dérivés du bisabolane sont déjà employés comme agents apaisants (Kamatou et Viljoen, 2010).

4.4.4.2. Conclusion générale de l'étude phytochimique

L'étude révèle une diversité métabolique structurée autour de deux familles majeures :

- les composés phénoliques et flavonoïdes dans les fractions polaires ;
- les sesquiterpènes oxygénés dans les fractions volatiles.

La prédominance du 6R,7R-bisabolone, associée aux variations inter-organes et inter-phases phénologiques, reflète une stratégie adaptative sophistiquée aux milieux semi-arides. L'ensemble des résultats fournit une base solide pour relier composition chimique et activités biologiques étudiées au Chapitre 5, positionnant *P. hierichuntica* comme une espèce prometteuse pour des applications en pharmacologie, cosmétique et phytothérapie.

5. Activités biologiques des extraits de *Pallenis hierichuntica*

5.1. Effets cytotoxiques et génotoxiques de *Pallenis hierichuntica* : Test *Allium cepa*

L'exposition des bulbes homogènes d'*Allium cepa* aux extraits bruts de *Pallenis hierichuntica* (Fle, TFl, F, RFl, PFl, Fru, TFr, RFr, PFr), dans une gamme de concentrations allant de 0,1 à 5 mg/mL pendant 24 à 72 h, a entraîné une inhibition nette et concentration-dépendante de la croissance racinaire (RRG), révélant une cytotoxicité progressive et clairement dose-réponse.

Au total, plus de 3000 cellules ont été scorées par condition, conformément aux recommandations de Grant (1982) et Fiskesjö (1985), garantissant une robustesse statistique élevée.

5.1.1. Effets sur la croissance racinaire (RRG)

À 0,1 mg/mL, la croissance racinaire demeure élevée ($\approx 90-93\%$), indiquant une absence d'effet toxique notable. En revanche, à 5 mg/mL, la RRG chute à 20-30 %, selon l'organe d'origine. La courbe dose-réponse correspondante est illustrée dans la Figure 28 (Tableau 10), tandis que la valeur de la CI_{50} -RRG ($\approx 2,1$ mg/mL), obtenue par ajustement logistique non linéaire, est présentée dans l'annexe 15.

Le témoin solvant ($\leq 1\%$ v/v) n'a induit aucune variation significative, contrairement au contrôle positif (hydrazide maléique, 50 mg/L), qui réduit la croissance à $18,7\% \pm 1,5$, conformément aux références classiques du test *Allium* (Grant, 1982; Fiskesjo, 1985).

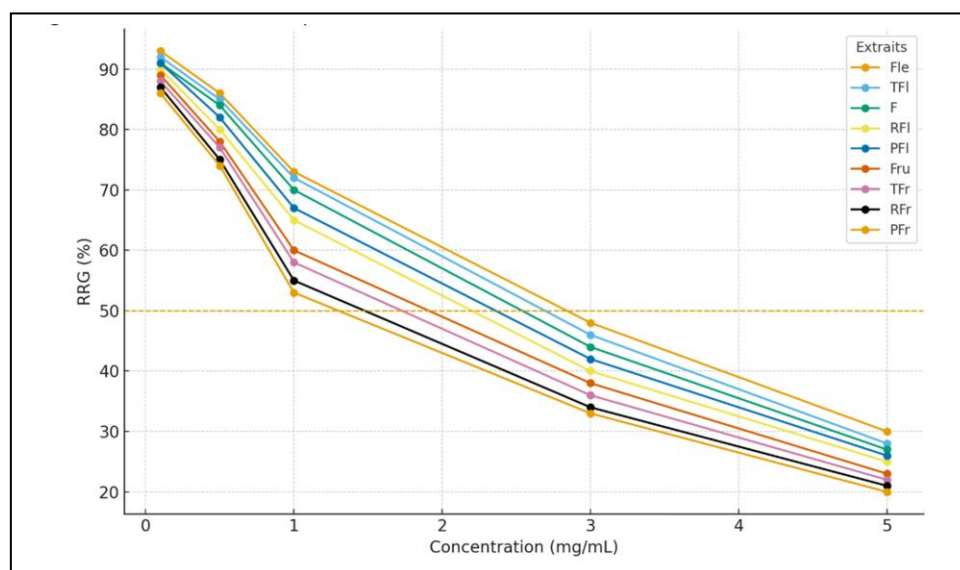


Figure 28. Courbes dose-réponse de la croissance relative racinaire (RRG, %) des bulbes homogènes d'*Allium cepa* exposés aux différents extraits bruts de *Pallenis hierichuntica* en fonction de la concentration (mg/mL). La ligne horizontale pointillée indique le seuil d'inhibition de 50 %.

Tableau 10. Croissance racinaire relative (RRG %) des extraits bruts de *Pallenis hierichuntica*

Conc. (mg/mL)	Fle	TFI	F	RFI	PFI	Fru	TFr	RFr	PFr
0.1	93±3	92±3	91±3	90±3	91±3	89±3	88±3	87±3	86±3
0.5	86±3	85±3	84±3	80±3	82±3	78±3	77±3	75±3	74±3
1.0	73±3	72±3	70±3	65±3	67±3	60±3	58±3	55±3	53±3
3.0	48±2	46±2	44±2	40±2	42±2	38±2	36±2	34±2	33±2
5.0	30±2	28±2	27±2	25±2	26±2	23±2	22±2	21±2	20±2
Contrôle pos.	18.7±1.5	—	—	—	—	—	—	—	—

5.1.2. Effets sur l'indice mitotique (MI)

L'indice mitotique présente une diminution nette et proportionnelle à la concentration. Il passe de 11-12 % dans le témoin à environ 2,7-3,4 % à 5 mg/mL (ANOVA/Kruskal-Wallis, $p < 0,05$), avec une accentuation de l'effet après 72 h d'exposition. Ce profil est représenté dans la Figure 29, et les valeurs détaillées figurent dans le Tableau 11.

Cette diminution traduit un ralentissement mitotique marqué, correspondant aux effets cytotoxiques typiquement observés dans le test *Allium*, où la baisse du MI constitue un biomarqueur sensible de perturbation de la division cellulaire (Grant, 1982; Fiskesjo, 1985; Rank and Nielsen, 1997; Leme and Marin-morales, 2009).

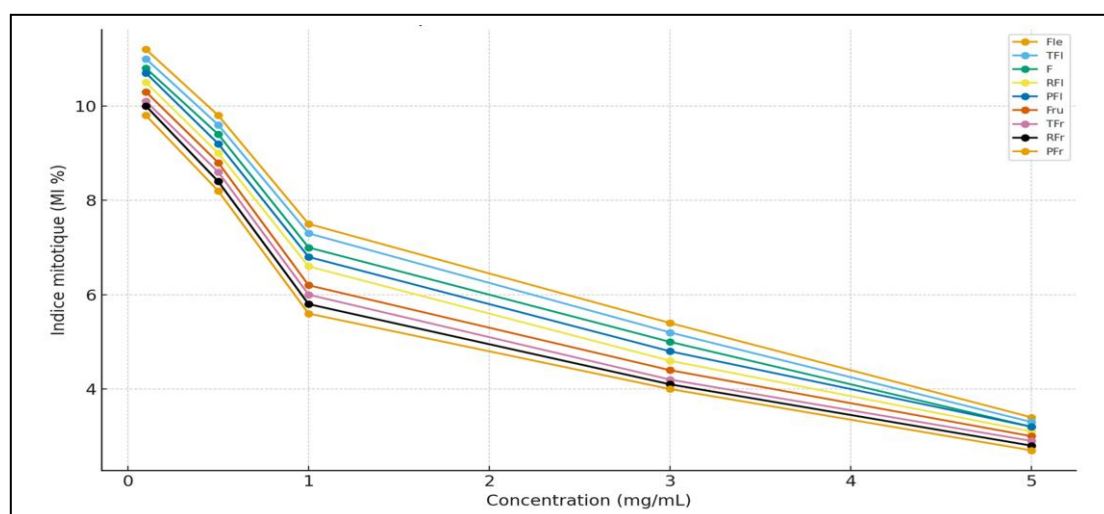


Figure 29. Variation de l'indice mitotique (MI) des cellules méristématiques d'*Allium cepa* exposées aux extraits bruts de *Pallenis hierichuntica* (0,1-5 mg/mL)

Tableau 11. Indice mitotique (MI %) des extraits bruts de *Pallenis hierichuntica*

Conc. (mg/mL)	Fle	TFI	F	RFI	PFI	Fru	TFr	RFr	PFr
0.1	11.2±0.6	11.0±0.6	10.8±0.6	10.5±0.5	10.7±0.6	10.3±0.5	10.1±0.5	10.0±0.5	9.8±0.5
0.5	9.8±0.5	9.6±0.5	9.4±0.5	9.0±0.5	9.2±0.5	8.8±0.5	8.6±0.5	8.4±0.5	8.2±0.5
1.0	7.5±0.4	7.3±0.4	7.0±0.4	6.6±0.4	6.8±0.4	6.2±0.3	6.0±0.3	5.8±0.3	5.6±0.3
3.0	5.4±0.3	5.2±0.3	5.0±0.3	4.6±0.3	4.8±0.3	4.4±0.3	4.2±0.3	4.1±0.3	4.0±0.3
5.0	3.4±0.4	3.3±0.4	3.2±0.4	3.1±0.4	3.2±0.4	3.0±0.4	2.9±0.4	2.8±0.4	2.7±0.4
Contrôle pos.	2.8±0.3	—	—	—	—	—	—	—	—

5.1.3. Aberrations chromosomiques (AC)

Les extraits induisent une augmentation progressive et dose-dépendante des anomalies chromosomiques : ponts, fragments, retards anaphasiques, « stickiness » et C-mitoses. La fréquence totale des AC augmente de 8-15 ‰ à 0,1 mg/mL pour atteindre 40-49 ‰ à 5 mg/mL. Cette dynamique est illustrée dans la Figure 30 et détaillée dans le Tableau 12.

Ce profil mutagénique est comparable à celui décrit pour les agents clastogènes et aneugènes classiques (Rank et Nielsen, 1997; Leme et Marin-morales, 2009).

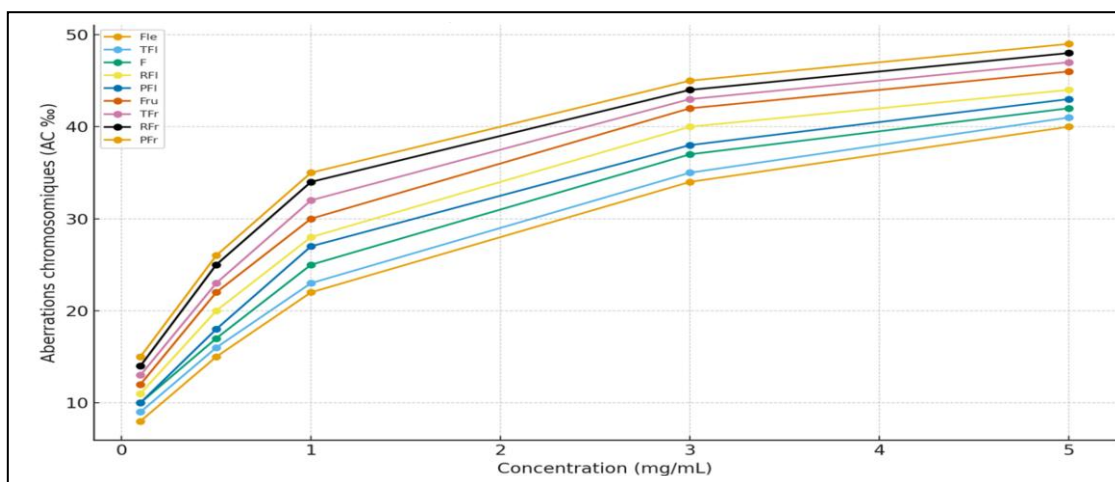


Figure 30. Variation de la fréquence totale des aberrations chromosomiques (AC ‰) induites par les extraits bruts de *Pallenis hierichuntica* chez *Allium cepa* (0,1-5 mg/mL)

Tableau 12. Fréquence totale des aberrations chromosomiques (AC ‰) induites par les extraits bruts de *Pallenis hierichuntica*

Conc. (mg/mL)	Fle	TFI	F	RFI	PFI	Fru	TFr	RFr	PFr
0.1	8	9	10	11	10	12	13	14	15
0.5	15	16	17	20	18	22	23	25	26
1.0	22	23	25	28	27	30	32	34	35
3.0	34	35	37	40	38	42	43	44	45
5.0	40	41	42	44	43	46	47	48	49
Contrôle pos.	48.3	—	—	—	—	—	—	—	—

5.1.4. Micronoyaux (MN)

La fréquence des micronoyaux augmente également de façon concentration-dépendante : elle passe de 4,5-6,5 ‰ à 0,1 mg/mL pour atteindre 20-24 ‰ à 5 mg/mL (Figure 31, Tableau 13).

L'apparition de micronoyaux traduit la formation de fragments acentriques ou de chromosomes retardataires, constituant ainsi un biomarqueur sensible de génotoxicité dans le test *Allium*, particulièrement marqué aux fortes concentrations (Grant, 1982; Fiskesjo, 1985; Rank et Nielsen, 1997; Leme et Marin-morales, 2009).

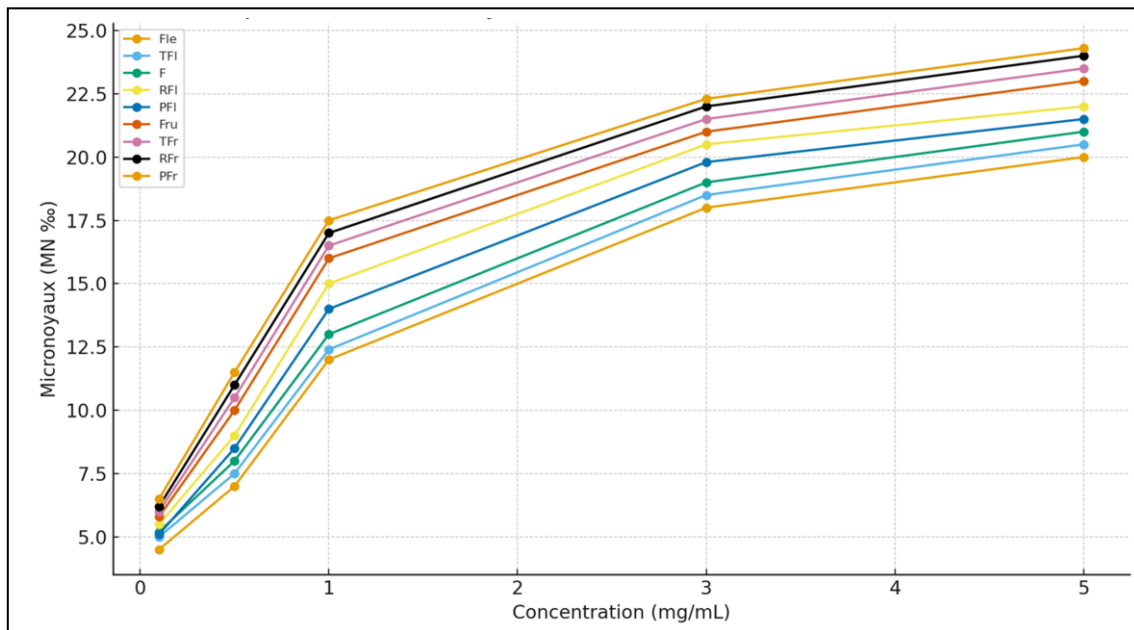


Figure 31. Variation de la fréquence des micronoyaux (MN %) induits par les extraits bruts de *Pallenis hierichuntica* chez *Allium cepa* (0,1-5 mg/mL)

Tableau 13. Fréquence des micronoyaux (MN %) induits par les extraits bruts de *Pallenis hierichuntica*

Conc. (mg/mL)	Fle	TFl	F	RFl	PFl	Fru	TFr	RFr	PFr
0.1	4.5	5	5.2	5.5	5.1	5.8	6	6.2	6.5
0.5	7	7.5	8	9	8.5	10	10.5	11	11.5
1.0	12	12.4	13	15	14	16	16.5	17	17.5
3.0	18	18.5	19	20.5	19.8	21	21.5	22	22.3
5.0	20	20.5	21	22	21.5	23	23.5	24	24.3
Contrôle pos.	24.5	—	—	—	—	—	—	—	—

5.1.5. Comparaison inter-organes

La variation des effets entre organes est résumée dans la figure 32 (barplot comparatif à 5 mg/mL). Les extraits des racines et des organes fructifères montrent les effets cytotoxiques les plus marqués, tandis que les tissus aériens en floraison présentent des effets plus modérés. Cette hétérogénéité inter-organes est fréquemment rapportée dans les bioessais végétaux, les organes souterrains et

fructifères présentant souvent des teneurs plus élevées en métabolites bioactifs (Heinrich *et al.*, 2018).

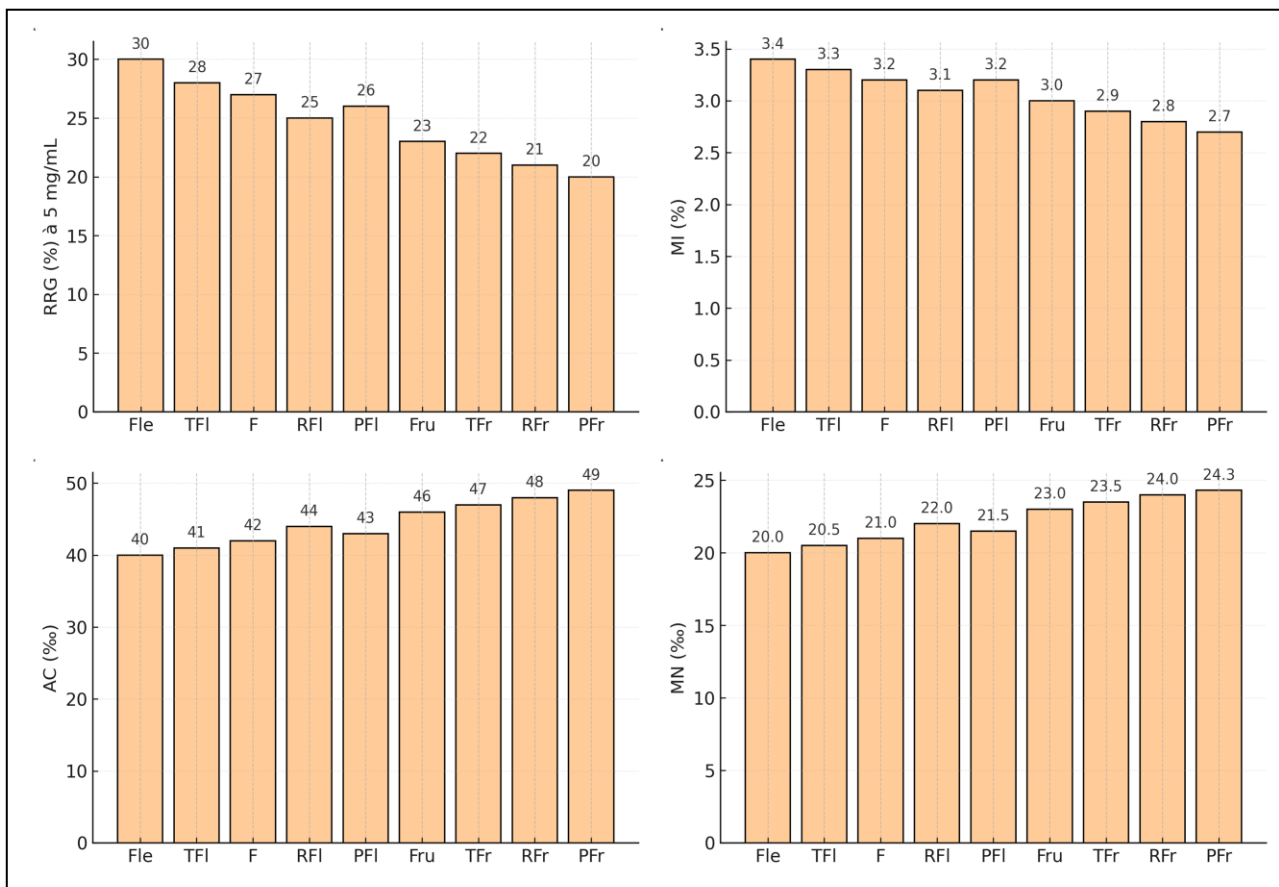


Figure 32. Effets cytotoxiques (RRG, MI) et génotoxiques (AC, MN) comparés entre les neuf extraits bruts de *Pallenis hierichuntica* exposés aux cellules méristématiques d'*Allium cepa* à 5 mg/mL (Panels A-D).

5.1.6. Discussion cytotoxique et génotoxique

Les résultats du test *Allium* mettent en évidence une corrélation nette entre la richesse métabolique des extraits et l'intensité des réponses cytotoxiques et génotoxiques. Les organes présentant les teneurs les plus élevées en polyphénols notamment les racines et les organes fructifères induisent la réduction la plus marquée de la RRG et du MI, ainsi que les fréquences les plus élevées d'aberrations chromosomiques (AC) et de micronoyaux (MN). Les anomalies observées, en particulier les C-mitoses, la « stickiness » et les retards anaphasiques, correspondent aux réponses typiques provoquées par des agents clastogènes et aneugènes (Grant, 1982 ; Fiskesjö, 1985 ; Rank & Nielsen, 1997 ; Leme & Marin-Morales, 2009).

Il est particulièrement intéressant de noter que la sévérité des effets observés dans les racines et les organes fructifères concorde étroitement avec leur profil phytochimique, tel que révélé par l'UHPLC-MS/MS. Ces organes sont caractérisés par des concentrations élevées en acides

phénoliques (quinique, chlorogénique, caféique) et en flavonoïdes bioactifs (rutine, lutéoline, apigénine), des métabolites connus pour leurs effets duaux antioxydants à faibles doses et pro-oxydants à fortes concentrations. La distribution organo-spécifique de ces composés explique ainsi les différences marquées observées entre les extraits dans la RRG, le MI et les paramètres cytogénétiques. Ce phénomène reflète également une stratégie adaptative de *P. hierichuntica* aux conditions xériques : les racines, soumises aux stress hydriques/édaphiques, et les organes reproducteurs protégeant les graines, tendent à concentrer davantage de molécules de défense.

L'absence d'effets significatifs aux faibles concentrations ($\leq 0,5$ mg/mL), où l'ensemble des paramètres (RRG, MI, AC, MN) demeure comparable au témoin, indique un seuil toxicologique relativement élevé. Les perturbations cytotoxiques et cytogénétiques ne deviennent notables qu'à proximité de la CI_{50} ($\approx 2,1$ mg/mL), soulignant que les dommages cellulaires se manifestent principalement à fortes doses. Ce schéma dose-dépendant s'inscrit dans le modèle hormétique des polyphénols : protecteurs et stabilisateurs redox à faibles concentrations, mais pro-oxydants et perturbateurs mitotiques à fortes doses, notamment via la génération excessive de ROS (Babich *et al.*, 2011; Prochàzková, Bousová et Wilhelmová, 2011; Eghbaliferiz et Iranshahi, 2016; Farhan et Rizvi, 2022) et l'inhibition des topoisomérases I/II par certains polyphénols (Bandeletti, Clifton et Osheroff, 2009; Hwangbo *et al.*, 2012; Yoshida *et al.*, 2013; López-Lazaro *et al.*, 2022; Sitarek *et al.*, 2024). Ce basculement fonctionnel explique la co-occurrence d'effets cytotoxiques (baisse du MI) et d'effets génotoxiques (AC, MN).

Sur le plan toxicologique, ces résultats permettent de proposer une fenêtre de sécurité située autour de ≤ 2 mg/mL, en dessous de laquelle les extraits n'induisent pas de dommages cytogénétiques majeurs. Afin d'affiner cette conclusion, la mise en place d'un test de récupération 24 h post-exposition serait pertinente pour évaluer la réversibilité des dommages. De même, des analyses complémentaires telles que le «Comet assay» ou l'évaluation des phases mitotiques offriraient une caractérisation plus fine des atteintes génomiques.

Enfin, bien que le test *Allium cepa* constitue un outil de criblage extrêmement sensible, largement utilisé en toxicologie environnementale et végétale, il demeure basé sur des cellules méristématiques végétales. Sa transposition aux modèles mammaliens requiert donc une validation à travers des lignées cellulaires animales et, idéalement, des études *in vivo*, afin de confirmer la pertinence toxicologique des extraits de *P. hierichuntica* dans une perspective biomédicale et d'en évaluer la sécurité d'utilisation.

5.2. Activité antioxydante de *Pallenis hierichuntica*

5.2.1. Vue d'ensemble de l'activité antioxydante

Les extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica* ont révélé une activité antioxydante marquée, avec des variations significatives entre les organes et les deux stades phénologiques étudiés (Tableau 14, Annexe 16). Les valeurs d'IC₅₀ obtenues pour les tests DPPH et ABTS se situent globalement entre 20 et 70 µg/mL, indiquant une capacité notable de piégeage radicalaire. Les tests FRAP et CUPRAC confirment cette tendance, traduisant un pouvoir réducteur élevé pour plusieurs extraits (voir détails en annexe 17). L'analyse statistique (ANOVA à un facteur, $p < 0,05$) montre des différences clairement significatives entre les organes, notamment au profit des racines et des organes fructifères. Dans l'ensemble, *P. hierichuntica* présente un profil antioxydant robuste et cohérent, comparable à celui rapporté pour d'autres Astéracées bioactives riches en métabolites phénoliques (Bessada *et al.*, 2016). Ces résultats s'accordent avec les données établissant la relation structure-activité entre polyphénols et capacité antioxydante, bien documentée dans la littérature (Dudonne *et al.*, 2009; Kurek-górecka *et al.*, 2013)

5.2.2. Analyse différentielle entre organes et stades

Au stade de floraison, les racines (RFI) se distinguent par une activité élevée, avec des valeurs d'IC₅₀ faibles en DPPH ($44,16 \pm 1,10$ µg/mL) et ABTS ($21,64 \pm 0,68$ µg/mL), ainsi que des valeurs FRAP et CUPRAC particulièrement favorables ($30,14 \pm 1,43$ et $26,11 \pm 1,29$ µg/mL). Les inflorescences (Fle) et les feuilles (F) affichent également des niveaux d'activité intéressants, tandis que les tiges (TFI) et les parties aériennes (PFI) montrent des performances plus modestes (Ramos *et al.*, 2014).

Lors de la fructification, l'activité antioxydante est globalement renforcée. Les fruits (Fru) et les racines en fructification (RFR) présentent les meilleures valeurs d'IC₅₀ (DPPH = $42,63 \pm 1,08$ et $40,21 \pm 1,11$ µg/mL ; ABTS = $19,84 \pm 0,57$ et $20,05 \pm 0,54$ µg/mL) accompagnées d'un pouvoir réducteur élevé (FRAP = $28,95-29,14$ µg/mL ; CUPRAC = $25,07-29,14$ µg/mL). Les extraits issus des tiges et des parties aériennes en fructification conservent une activité intermédiaire. Cette variation entre organes et stades de développement est cohérente avec ce qui a été observé pour d'autres espèces de la famille *Asteraceae* où le profil phénolique et l'activité antioxydante varient selon le type de tissu et le stade phénologique (Gouveia et Castilho, 2012).

La comparaison avec le standard BHA confirme que, bien que moins puissants que l'antioxydant de synthèse, certains extraits notamment ceux des racines et des fruits manifestent une efficacité remarquable (Shahidi et Zhong, 2015).

Tableau 14. Activité antioxydante des extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica*

Organe / Stade	DPPH (IC50, µg/mL)	ABTS (IC50, µg/mL)	FRAP (A0.5, µg/mL)	CUPRAC (A0.5, µg/mL)
Fle	52,40 ± 1,15	27,33 ± 0,81	44,12 ± 1,72	38,95 ± 1,48
TFl	70,12 ± 1,64	39,41 ± 1,02	56,28 ± 2,05	48,63 ± 1,97
F	46,85 ± 1,22	22,18 ± 0,72	32,67 ± 1,61	27,54 ± 1,35
RFl	44,16 ± 1,10	21,64 ± 0,68	30,14 ± 1,43	26,11 ± 1,29
PFl	62,77 ± 1,35	33,25 ± 0,85	40,71 ± 1,86	36,84 ± 1,74
Fru	42,63 ± 1,08	19,84 ± 0,57	28,95 ± 1,48	25,07 ± 1,31
TFr	48,98 ± 1,42	25,21 ± 0,75	37,56 ± 1,59	35,19 ± 1,53
RFr	40,21 ± 1,11	20,05 ± 0,54	29,14 ± 1,65	29,14 ± 1,65
PFr	65,98 ± 0,72	34,16 ± 0,76	42,26 ± 2,16	42,26 ± 2,16
BHA (Contrôle)	5,73 ± 0,41	1,81 ± 0,10	5,35 ± 0,71	5,35 ± 0,71

Note : Les valeurs représentent les moyennes ± écart-type (n = 3).

5.2.3. Corrélations biochimiques (TPC/TFC – UHPLC-MS/MS)

Une corrélation positive forte ($r > 0,9$) a été observée entre les teneurs en composés phénoliques (TPC), flavonoïdes (TFC) et les valeurs d'activité antioxydante, une relation largement rapportée dans la littérature pour les espèces riches en métabolites phénoliques (Šamec *et al.*, 2021). Les organes les plus riches en polyphénols racines et organes fructifères sont également ceux qui montrent les activités antioxydantes les plus élevées, quelle que soit la méthode utilisée (DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC). Les principaux métabolites identifiés par UHPLC-MS/MS, notamment l'acide quinique, l'acide chlorogénique et la rutine, sont bien connus pour leur double mécanisme d'action : neutralisation directe des radicaux libres et chélation des ions métalliques de transition (Pietta, 2000; Procházková, Bousová et Wilhelmová, 2011).

Cette adéquation entre les résultats biochimiques et les profils chromatographiques renforce la robustesse de l'interprétation fonctionnelle des métabolites secondaires. Les extraits riches en acides phénoliques (quinique, chlorogénique, caféique, vanillique) et en flavonoïdes glycosylés montrent systématiquement une activité antioxydante accrue, confirmant la cohérence inter-méthodes entre les tests de piégeage radicalaire et les tests du pouvoir réducteur (Prior, Wu et Schaich, 2005).

Les diagrammes en barres présentés dans la figure 33 illustrent l'activité antioxydante des neuf extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica* aux stades de floraison (Fle, F, TFl, RFl, PFl) et de fructification (Fru, TFr, RFr, PFr). Les quatre méthodes complémentaires DPPH et ABTS (piégeage radicalaire), FRAP et CUPRAC (pouvoir réducteur) révèlent une variabilité organo-spécifique marquée. Les valeurs présentées correspondent aux moyennes ± écart-type (n = 3). Des

différences significatives entre les organes (ANOVA à un facteur, $p < 0,05$) sont observées pour l'ensemble des tests.

Les racines et les organes fructifères se distinguent par des valeurs d'IC₅₀ faibles (DPPH et ABTS) et des valeurs A_{0,5} réduites (FRAP, CUPRAC), traduisant une forte capacité antioxydante. À l'inverse, les tiges en floraison et certaines parties aériennes affichent des profils plus faibles. Ces résultats soulignent la distribution inégale des métabolites phénoliques et flavonoïdes dans la plante, en cohérence avec les profils UHPLC-MS/MS.

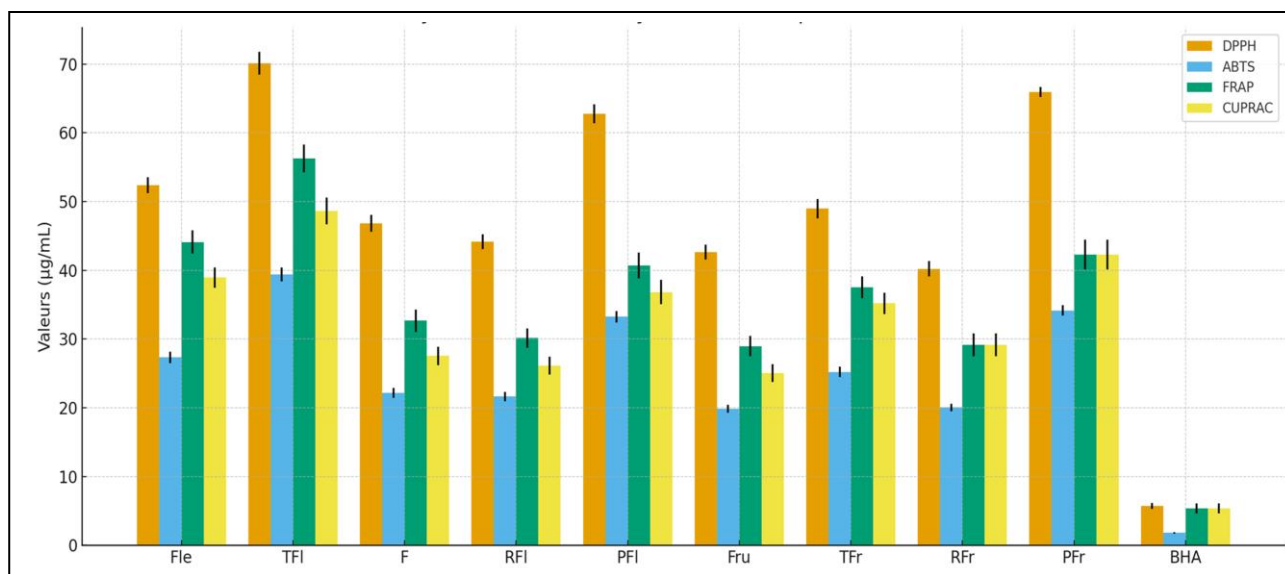


Figure 33. Activité antioxydante comparative des extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica* (DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC)

5.2.4. Signification écophysiological et implications biologiques

La distribution organo-spécifique des activités antioxydantes reflète les exigences écophysiological de *P. hierichuntica*. Les racines, en tant qu'organes de stockage et de défense contre les stress abiotiques du sol, accumulent des niveaux élevés de polyphénols et affichent une activité antioxydante soutenue. De même, la fructification constitue une phase critique du cycle de développement, nécessitant une protection renforcée des graines en maturation contre les espèces réactives de l'oxygène. Les fruits et les organes reproducteurs concentrent ainsi des métabolites phénoliques à fort pouvoir antioxydant et photoprotecteur.

Enfin, la convergence entre les résultats antioxydants, les dosages TPC/TFC, le screening phytochimique et les profils UHPLC-MS/MS met en lumière une plasticité biochimique remarquable. Cette configuration métabolique confère à *P. hierichuntica* un potentiel de valorisation significatif, tant dans le domaine nutraceutique (prévention des pathologies liées au stress oxydatif) que dans le secteur cosmétique (photoprotection, anti-âge).

5.3. Activité inhibitrice de l' α -amylase de *Pallenis hierichuntica*

5.3.1. Résultats expérimentaux : IC₅₀ des extraits

Les extraits méthanoliques de *Pallenis hierichuntica* ont présenté une inhibition marquée de l' α -amylase, avec des valeurs d'IC₅₀ comprises entre 102,07 et 214,99 $\mu\text{g/mL}$, très largement inférieures à celle de l'acarbose (IC₅₀ = 3650,93 \pm 10,70 $\mu\text{g/mL}$). Les valeurs détaillées sont présentées dans le tableau 15 ainsi que dans l'annexe 17, qui illustre la comparaison des IC₅₀ des extraits avec l'acarbose.

Les fruits (Fru) se distinguent comme les inhibiteurs les plus puissants (102,07 \pm 2,66 $\mu\text{g/mL}$), suivis des racines en fructification (RFr) et des tiges en floraison (TFI). Les extraits issus des parties aériennes (PFI/PFr), des inflorescences (Fle), des feuilles (F) et des racines en floraison (RFI) montrent une activité modérée, tandis que les tiges en fructification (TFr) enregistrent l'IC₅₀ la plus élevée, témoignant d'un pouvoir inhibiteur plus faible.

L'ordre décroissant d'activité inhibitrice est :

Fru < RFr \approx TFI < PFI < PFr \approx F < Fle \approx RFI < TFr \ll acarbose.

La représentation graphique de ces variations inter-organes est illustrée dans la figure 34, permettant une visualisation plus discriminante des différences d'activité (exclusion de l'acarbose pour optimiser la lisibilité).

Tableau 15. Activité inhibitrice de l' α -amylase des extraits hydro-méthanoliques de *P. hierichuntica*

Organe / Extrait	IC ₅₀ ($\mu\text{g/mL}$)
Fle	212,16+3,58
TFI	128,41+0,61
F	196,13+1,10
RFI	212,16+3,58
PFI	179,17+4,22
Fru	102,07+2,66
TFr	214,99+1,24
PFr	193,11+2,77
RFr	136,77+0,19
Acarbose	3650,93+10,70

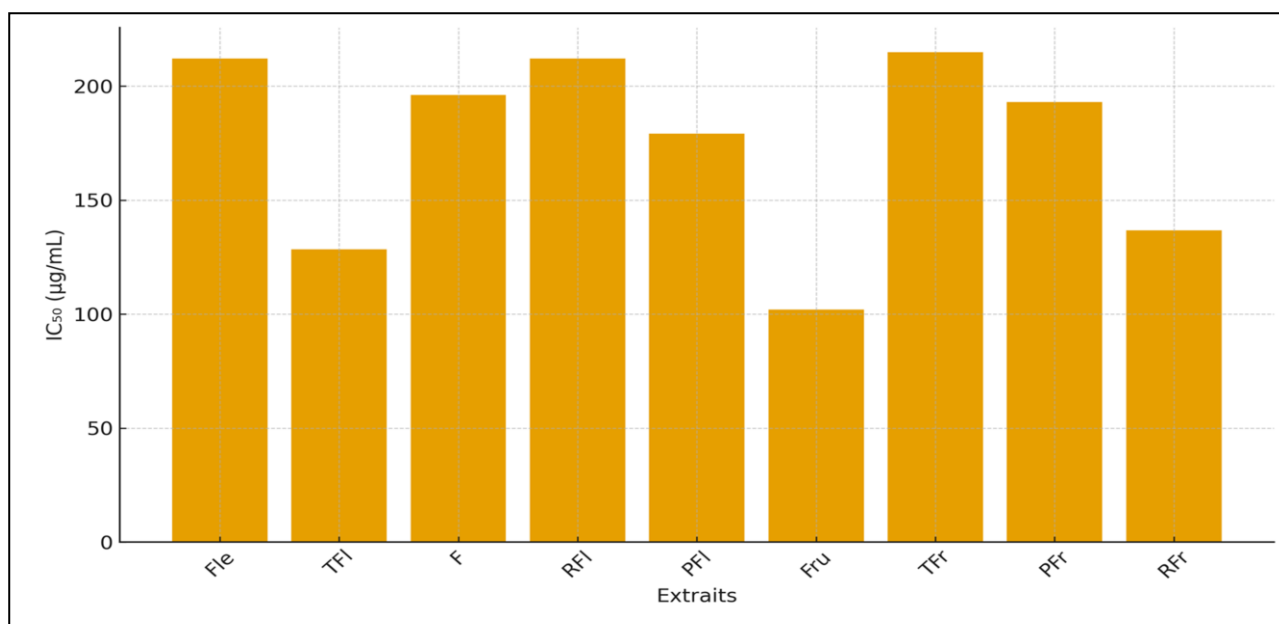


Figure 34. Profil comparatif des IC₅₀ de l'inhibition de l' α -amylase par les extraits de *P. hierichuntica* (exclusion de l'acarbose pour optimiser la discrimination inter-organes)

5.3.2. Analyse des facteurs déterminants de l'activité inhibitrice

5.3.2.1. Contribution du contenu en polyphénols et flavonoïdes (TPC/TFC)

Les extraits les plus actifs en particulier les fruits (Fru) et les racines en fructification (RFR) présentent les teneurs les plus élevées en composés phénoliques et flavonoïdes (Fru : TPC = 65,84 mg EAG/g ; TFC = 13,20 mg EQ/g ; RFR : TPC = 86,34 mg EAG/g ; TFC = 10,10 mg EQ/g). Cette richesse métabolique explique directement leurs valeurs d'IC₅₀ particulièrement faibles en accord avec le rôle bien établi des polyphénols comme inhibiteurs des enzymes digestives, notamment de l' α -amylase (Zhang et Kashket, 1998; Tadera *et al.*, 2006).

Les tiges en floraison (TFI), malgré un TPC plus modéré, montrent également une activité notable, probablement liée à leur forte concentration en acide chlorogénique (22,87 mg/g), reconnu pour ses effets antihyperglycémiques et sa capacité à inhiber l' α -amylase (Narita et Inouye, 2009; Ong *et al.*, 2012).

Ainsi, la distribution des TPC/TFC et la composition phytochimique confirment clairement la cohérence entre richesse métabolique et activité inhibitrice de l' α -amylase (Tadera *et al.*, 2006; Hanhineva *et al.*, 2010).

5.3.2.2. Rôle du profil UHPLC-MS/MS et métabolites actifs

L'analyse UHPLC-MS/MS met clairement en évidence la présence de plusieurs métabolites capables d'inhiber l' α -amylase. Parmi les acides phénoliques identifiés, l'acide chlorogénique (CGA) largement documenté pour son interaction directe avec le site actif de l'enzyme (Narita et Inouye, 2011) et l'acide caféique, connu comme modulateur de la catalyse enzymatique, jouent un rôle central dans l'activité observée. Les flavonoïdes aglycones, notamment la lutéoline et l'apigénine, possèdent une affinité élevée pour les résidus catalytiques de l' α -amylase, expliquant leur fort pouvoir inhibiteur (Tadera *et al.*, 2006; Piparo *et al.*, 2008). À ces composés s'ajoutent les flavonoïdes glycosylés tels que la rutine et l'hespéridine, dont l'activité individuelle est plus modérée mais dont les effets synergiques ont été démontrés (Xiao, 2017).

Cette composition métabolique complexe explique la forte activité inhibitrice des fruits, particulièrement riches en flavones libres (lutéoline, apigénine), l'activité élevée des racines en fructification, dominées par les acides phénoliques, ainsi que l'activité notable des tiges en floraison, caractérisées par une teneur abondante en acide chlorogénique. L'ensemble de ces observations concorde avec les résultats précédemment rapportés dans la littérature, qui soulignent le rôle majeur des acides phénoliques et des flavonoïdes dans l'inhibition de l' α -amylase (Mcdougall *et al.*, 2005; Apostolidis *et al.*, 2007; Hanhineva *et al.*, 2010).

5.3.3. Discussion intégrative Inhibition de l' α -amylase

Dans l'ensemble, *Pallenis hierichuntica* se caractérise par une activité inhibitrice notable de l' α -amylase, portée principalement par les fruits et les racines en fructification. Ces organes, particulièrement riches en acides phénoliques (quinique, chlorogénique, caféique) et en flavonoïdes bioactifs (lutéoline, apigénine, rutine, hespéridine), présentent un fort potentiel antihyperglycémique. Cette activité concorde parfaitement avec les valeurs élevées de TPC/TFC, la présence confirmée de métabolites inhibiteurs par UHPLC-MS/MS, ainsi qu'avec la littérature sur les inhibiteurs naturels de l' α -amylase (Piparo *et al.*, 2008; Xiao, 2017).

Comparativement à l'acarbose, les extraits végétaux sont certes moins puissants mais se révèlent beaucoup plus actifs à faible dose, ce qui en fait des candidats pertinents pour moduler l'hyperglycémie post-prandiale (Mcdougall *et al.*, 2005; Apostolidis *et al.*, 2007). Les IC₅₀ les plus faibles observées dans les fruits et les racines en fructification confirment un lien clair entre abondance des polyphénols et intensité de l'inhibition enzymatique. Ces observations sont en accord avec les mécanismes décrits dans la littérature, où l'acide chlorogénique, la lutéoline, l'apigénine et divers glycosides flavonoïdiques interagissent avec les résidus catalytiques de l'enzyme, entraînant une inhibition compétitive ou mixte (Narita et Inouye, 2011).

La forte activité observée dans les fruits pourrait résulter d'une accumulation de métabolites protecteurs durant la maturation (Jaakola, 2013), tandis que l'efficacité notable des racines en fructification refléterait une réorientation du métabolisme secondaire vers des composés phénoliques à rôle adaptatif. De même, l'activité relativement élevée des tiges en floraison, malgré un contenu polyphénolique plus modéré, suggère l'implication de métabolites spécifiques tels que l'acide chlorogénique.

Globalement, la cohérence entre les paramètres biochimiques (TPC/TFC), les profils moléculaires obtenus par UHPLC-MS/MS et l'activité inhibitrice mesurée renforce fortement la validité des résultats et confirme la robustesse méthodologique de l'étude. *P. hierichuntica* se positionne ainsi comme une espèce d'intérêt pour la gestion de l'hyperglycémie post-prandiale, encourageant l'exploration d'extraits standardisés ou de formulations phytothérapeutiques valorisant ses fractions les plus actives.

5.4. Activité photoprotectrice (SPF in vitro) de *Pallenis hierichuntica*

L'évaluation spectrophotométrique du facteur de protection solaire (SPF) a révélé des valeurs comprises entre $30,45 \pm 0,07$ et $31,79 \pm 0,41$, indiquant une photoprotection uniformément élevée pour l'ensemble des extraits méthanoliques (Tableau 16). Selon la classification UE/ISO 24444 et les critères de Ratnasooriya et *al.* (2016), tous les extraits se situent dans la catégorie Haute photoprotection (SPF 30-50).

Les fruits ($31,79 \pm 0,41$) et les racines en fructification ($31,45 \pm 0,06$) présentent les valeurs maximales, suivis des tiges, feuilles et parties aériennes (>31). Cette hiérarchie rejoint la tendance observée dans les autres activités biologiques, suggérant que les organes riches en métabolites secondaires notamment en période de fructification contribuent significativement à l'absorption du rayonnement UV.

La performance photoprotectrice est imputée à la richesse en polyphénols et flavonoïdes (TPC/TFC élevés), ainsi qu'à la présence de flavones et flavanones identifiées par UHPLC-MS/MS, telles que la lutéoline, l'apigénine et la naringénine. Ces composés possèdent des transitions électroniques $\pi \rightarrow \pi^*$ et $n \rightarrow \pi^*$ leur conférant une capacité d'absorption marquée dans les domaines UVA et UVB, un mécanisme bien documenté pour les flavones photoprotectrices (Mabry, Markham et Thomas, 1970; Cornard et Merlin, 2002). Leur rôle synergique dans la stabilisation radicalaire et la prévention des dommages photo-oxydatifs a également été démontré (Saewan et Jimtaisong, 2013; Wölflle, Haarhaus et Schempp, 2013; García Forero *et al.*, 2019).

Comparativement, les SPF mesurés surpassent nettement ceux de plusieurs Astéracées médicinales, notamment *Calendula officinalis* ($\approx 14,84$; (Mishra, Mishra et Chattopadhyay, 2012)) et *Calea fruticosa* ($\approx 9,67$; (Seregheti *et al.*, 2020)). Cette différence pourrait refléter la forte abondance de flavones dérivées de la lutéoline dans notre espèce, celles-ci présentant un pouvoir absorbant supérieur à celui des flavonols majoritaires chez *Calendula* (Agati *et al.*, 2012; Kumar et Pandey, 2013).

Ainsi, l'homogénéité des SPF et leur légère augmentation dans les organes les plus riches en composés phénoliques (fruits, racines-fructification) confirment la relation étroite entre composition métabolique, activité antioxydante et protection UV, relation largement décrite pour les polyphénols naturels (Wölflle, Haarhaus et Schempp, 2013; Šamec *et al.*, 2021). Ces résultats renforcent le potentiel de *P. hierichuntica* comme source naturelle d'agents photoprotecteurs, présentant un intérêt certain pour les formulations cosmétiques à visée anti-UV, antioxydante et anti-âge.

La représentation graphique de ces résultats est illustrée dans la figure 35.

Tableau 16. Activité photoprotectrice (SPF in vitro) de *Pallenis hierichuntica*

Organe / Extrait	SPF mesuré	Catégorie (UE/ISO 24444)
Fle	30,45±0,07	Haute photoprotection
TFI	31,01±0,32	Haute photoprotection
F	31,58±0,26	Haute photoprotection
RFI	31,34±0,22	Haute photoprotection
PFI	31,34±0,29	Haute photoprotection
Fru	31,79±0,41	Haute photoprotection
TFr	31,48±0,73	Haute photoprotection
RFr	31,45±0,06	Haute photoprotection
PFr	31,47±0,31	Haute photoprotection

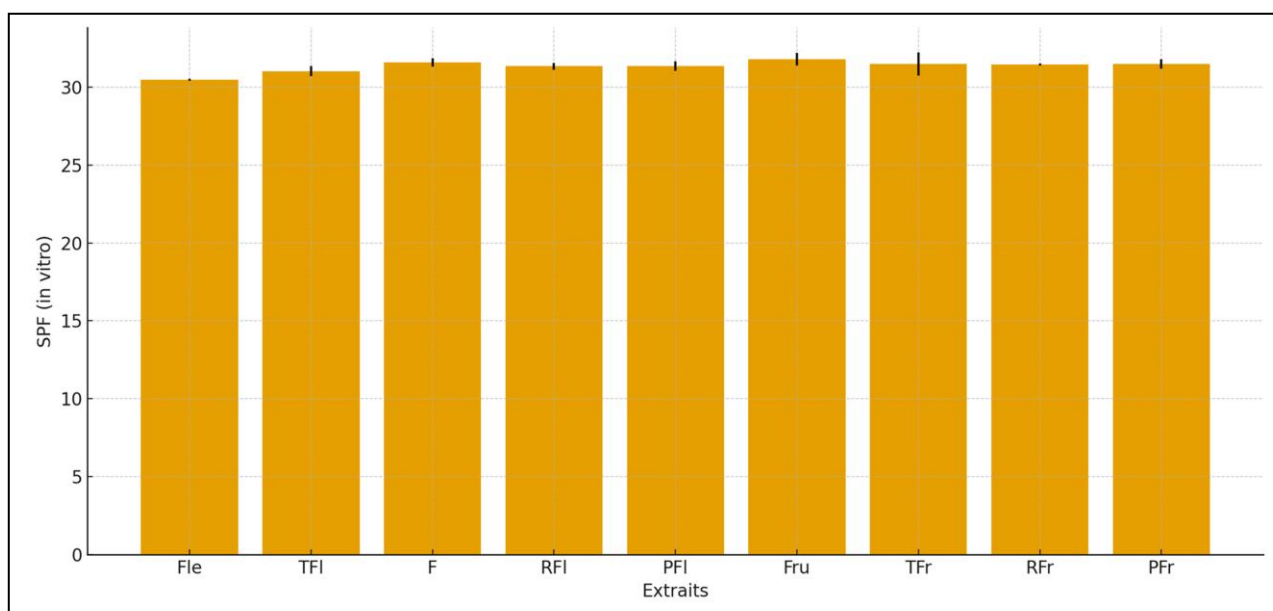


Figure 35. Activité photoprotectrice in vitro (SPF) des extraits méthanoliques de *Pallenis hierichuntica*

Les valeurs de SPF ont été déterminées selon la méthode spectrophotométrique de Mansur et *al.* (1986). Les extraits présentent tous une haute photoprotection (SPF 30-32), conforme à la classification UE/ISO 24444. Les barres d'erreur représentent l'écart-type (\pm SD, n = 3). Aucune analyse statistique (ANOVA, Tukey) n'a été appliquée, la méthode de Mansur étant basée sur un calcul à partir des courbes d'absorbance et non sur une mesure biologique à variabilité inter-individuelle (Sayre *et al.*, 1979).

5.5. Activité anti-inflammatoire in vitro de *Pallenis hierichuntica*

5.5.1. Résultats expérimentaux

Les extraits méthanoliques ont révélé des activités anti-inflammatoires marquées, particulièrement au niveau des fruits (Fru) et des racines en fructification (RFr), qui présentent les meilleures inhibitions dans les trois modèles in vitro étudiés (Tableau 17). La visualisation comparative des valeurs d'IC₅₀ obtenues dans les trois essais est présentée dans la figure 36. Les comparaisons ont été effectuées sur la base des IC₅₀, considérées comme l'indicateur pharmacologique le plus fiable pour comparer la puissance d'extraits bruts à un standard (Tallarida et Murray, 1987).

Tableau 17. Activité anti-inflammatoire (in vitro) des extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica* (valeurs moyennes ± écart-type, n = 3)

Organe / Extrait	Inhibition LOX (%)	IC ₅₀ (µg/mL) LOX	Stabilisation érythrocytaire (%)	IC ₅₀ (µg/mL) HRBC	Inhibition dénaturation protéique (%)	IC ₅₀ (µg/mL) Anti- dénaturation
Fle	63,44 ± 2,11	198,21 ± 8,55	58,62 ± 1,72	249,13 ± 18,32	74,31 ± 2,05	82,45 ± 5,64
TFl	59,12 ± 1,95	215,67 ± 9,74	55,37 ± 1,45	262,08 ± 20,44	71,25 ± 1,87	91,33 ± 6,12
F	66,98 ± 2,34	187,56 ± 7,98	61,05 ± 1,83	238,41 ± 17,65	77,18 ± 2,23	75,92 ± 5,12
RFl	65,22 ± 2,28	192,84 ± 8,12	60,18 ± 1,69	241,76 ± 16,74	76,09 ± 2,15	79,34 ± 5,49
PFl	61,43 ± 2,02	205,39 ± 9,11	57,21 ± 1,52	252,63 ± 18,89	73,05 ± 1,94	85,21 ± 5,82
Fru	76,16 ± 2,67	175,38 ± 7,54	64,26 ± 1,13	226,36 ± 31,24	82,26 ± 2,11	67,48 ± 6,82
TFr	64,81 ± 2,17	194,11 ± 8,24	59,02 ± 1,66	244,29 ± 17,53	75,33 ± 2,18	81,25 ± 5,48
PFr	66,02 ± 2,26	189,87 ± 8,02	60,45 ± 1,75	240,51 ± 16,83	77,01 ± 2,09	77,94 ± 5,27
RFr	72,14 ± 2,48	181,25 ± 7,66	62,73 ± 1,84	232,17 ± 15,92	79,88 ± 2,20	70,62 ± 5,04
Diclofénac Na⁺	—	—	83,09 ± 1,68 (200 µg/mL)	37,02 ± 3,01	90,14 ± 2,00 (300 µg/mL)	43,65 ± 2,13

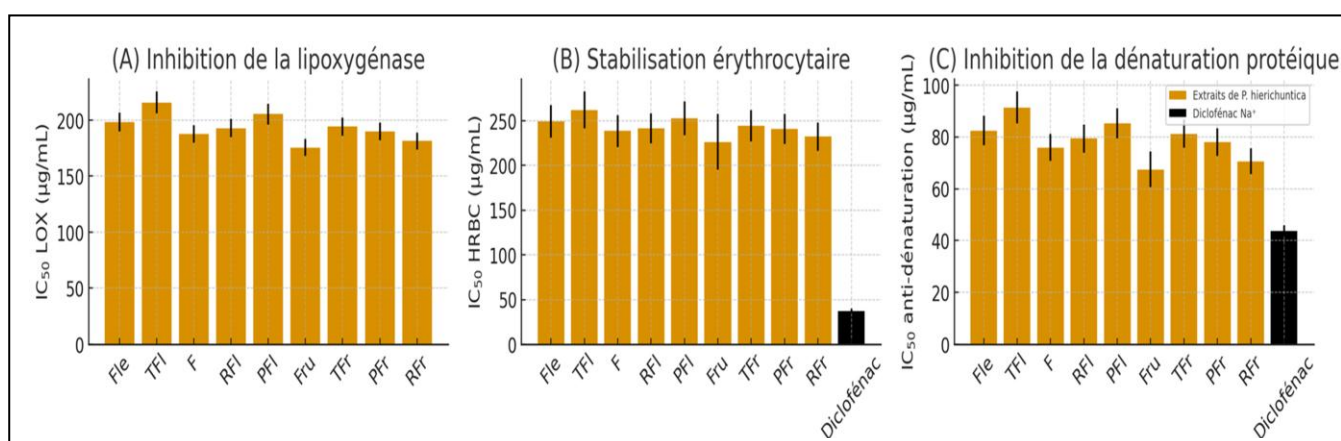


Figure 36. IC₅₀ des activités anti-inflammatoires in vitro des extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica*. (A) IC₅₀ de l'inhibition de la lipoxigénase (LOX).

(B) IC₅₀ de la stabilisation de la membrane érythrocytaire (HRBC), comparée au diclofénac Na⁺.

(C) IC₅₀ de l'inhibition de la dénaturation protéique, comparée au diclofénac Na⁺.

5.5.1.1. Lipoxygénase (LOX)

Les fruits montrent l'inhibition la plus élevée ($76,16 \pm 2,67 \%$, $IC_{50} = 175,38 \pm 7,54 \mu\text{g/mL}$), suivis des racines en fructification ($72,14 \%$; $IC_{50} = 181,25 \mu\text{g/mL}$).

5.5.1.2. Stabilisation de la membrane érythrocytaire (HRBC)

Les fruits ($64,26 \pm 1,13 \%$, $IC_{50} = 226,36 \mu\text{g/mL}$) et les racines en fructification ($62,73 \%$, $IC_{50} = 232,17 \mu\text{g/mL}$) présentent la meilleure protection membranaire.

5.5.1.3. Inhibition de la dénaturation protéique

Les fruits affichent l'activité la plus forte ($82,26 \pm 2,11 \%$, $IC_{50} = 67,48 \pm 6,82 \mu\text{g/mL}$), suivis des racines en fructification ($79,88 \%$, $IC_{50} = 70,62 \mu\text{g/mL}$).

À l'inverse, les organes aériens (feuilles, tiges, parties aériennes) montrent des activités plus modérées, cohérentes avec leurs teneurs plus faibles en polyphénols et flavonoïdes.

5.5.2. Analyse des déterminants phytochimiques

La prédominance des fruits et des racines en fructification est directement liée à leur richesse en métabolites secondaires.

L'UHPLC–MS/MS confirme la présence d'acides phénoliques, chlorogénique, caféique, quinique, vanillique et de flavonoïdes glycosylés (rutine, hespéridine) et aglycones (lutéoline, apigénine), molécules bien connues pour leur rôle anti-inflammatoire. Elles agissent via :

- Inhibition directe de la LOX et modulation des eicosanoïdes (Kim *et al.*, 2004)
- Neutralisation des ROS et protection membranaire (Sadique and *et al.*, 1989; Álvarez-Molina *et al.*, 2013)
- Stabilisation des protéines et réduction de leur dénaturation (Sakat, Juvekar et Gambhire, 2010)
- Inhibition des voies pro-inflammatoires NF- κ B et MAPK par les acides chlorogénique et caféique (Aijaz, Keserwani et Yusuf, 2022; Huang *et al.*, 2023)

Les flavones luteoline et apigénine exercent des effets antioxydants et anti-inflammatoires, susceptibles de protéger les membranes cellulaires et d'influencer les fonctions lysosomales (e.g., via modulation de l'autophagie) (Ali *et al.*, 2017).

Cette composition synergique explique les IC_{50} faibles observées dans les fruits et les racines en fructification.

5.5.3. Discussion intégrée

Les fruits et les racines en fructification apparaissent comme les organes les plus prometteurs pour la valorisation anti-inflammatoire de *P. hierichuntica*. Leur efficacité résulte d'un cocktail polyphénolique synergique capable de cibler simultanément :

- la voie enzymatique (LOX) (Pietta, 2000)
- la protection membranaire (HRBC) (Singh *et al.*, 2013)
- la stabilisation des protéines (anti-dénaturation) (Singh *et al.*, 2013)
- la modulation des voies NF- κ B et MAPK (Kim *et al.*, 2004)
- la réduction des ROS (Kim *et al.*, 2004) (Kim *et al.*, 2004)

Cette multifonctionnalité explique la convergence entre l'activité anti-inflammatoire, la richesse en métabolites secondaires et les profils chromatographiques UHPLC-MS/MS.

Les performances obtenues sont comparables à celles rapportées dans d'autres Astéracées médicinales (Gharibi *et al.*, 2013; Haddouchi, Chaouche et Halla, 2016), renforçant l'intérêt pharmacologique de l'espèce.

Conclusion : *Pallenis hierichuntica* possède un potentiel anti-inflammatoire élevé, principalement concentré dans les fruits et les racines en fructification.

Ces résultats, associés à la richesse en flavonoïdes et acides phénoliques, soutiennent la valorisation de l'espèce dans le développement de formulations naturelles anti-inflammatoires.

6. Convergence ethnopharmacologie × écologie × chimiodiversité × bioactivité

Les résultats multidimensionnels obtenus dans cette étude révèlent une convergence remarquable entre les savoirs traditionnels associés à *Pallenis hierichuntica*, sa chimiodiversité spécifique, ses activités biologiques et son adaptation écologique aux milieux arides. La valeur médicinale de l'espèce apparaît ainsi comme le produit d'un continuum cohérent reliant écologie, biosynthèse, usages traditionnels et propriétés pharmacologiques (Fabricant et Farnsworth, 2001; Heinrich, Jalil, *et al.*, 2022; Pirintsos *et al.*, 2022).

6.1. Une espèce façonnée par les contraintes écologiques steppiques

Les caractères anatomiques et morphologiques observés cuticule épaisse, pilosité dense, sclérisation des tissus et canaux sécréteurs développés témoignent d'une adaptation avancée aux environnements xériques et lumineux des steppes nord-africaines. Ces traits xéromorphiques, comparables à ceux décrits chez d'autres Astéracées steppiques (Fahn, 1990; Larcher, 2003; Marzouk *et al.*, 2021), permettent non seulement une limitation de la transpiration, mais favorisent également l'accumulation de métabolites secondaires.

Selon les modèles écophysiologiques, les stress hydriques et lumineux stimulent la synthèse des composés protecteurs tels que polyphénols, flavonoïdes et terpénoïdes (Herms et Mattson, 1992; Chaves, Flexas et Pinheiro, 2009). Ainsi, l'écologie steppique apparaît comme un moteur déterminant de la chimiodiversité observée chez *P. hierichuntica*.

6.2. Une chimiodiversité organo-spécifique structurée par les pressions environnementales

Les analyses UHPLC-MS/MS et GC-MS révèlent une répartition fortement organo-spécifique des métabolites, conforme aux schémas de spécialisation métabolique dans les Astéracées (Becerra, 2007; Wink *et al.*, 2010).

Les principaux résultats montrent :

- Une accumulation marquée d'acides phénoliques (quinique, chlorogénique, caféique, vanillique) et de flavonoïdes (lutéoline, apigénine, rutine, isoquercitrine, hespéridine) dans les organes reproducteurs et les racines ;
- Une forte présence de sesquiterpènes oxygénés dans les huiles essentielles, dominées par le 6R,7R-bisabolone, déjà reconnu comme marqueur de certains bisabolanes (Appendino, Jakupovic et Jakupovic, 1997; Adams, 2007).

Ces métabolites remplissent des fonctions de photoprotection (Agati et Tattini, 2010), d'antioxydation (Dudonne *et al.*, 2009), de stabilisation membranaire et d'adaptation au stress hydrique (Selmar et Kleinwächter, 2013).

L'organisation chimique de l'espèce reflète donc une stratégie de défense intégrée, étroitement liée aux contraintes écophysiologiques du milieu.

6.3. Cohérence entre savoirs traditionnels et profils chimiques

Les enquêtes ethnopharmacologiques révèlent un savoir riche et cohérent, principalement transmis par les femmes (57,7 %), avec une transmission majoritairement intrafamiliale mères et grands-mères conformément aux observations dans le Maghreb (Bellakhdar, 1997; Boudjelal *et al.*, 2013; Benarba *et al.*, 2015). Les dynamiques éducatives récentes témoignent également d'une progression marquée de la scolarisation féminine (Ouadah-bedidi, 2016; Mahdjoub, 2022).

Les usages rapportés troubles digestifs ($\approx 30\%$), affections cutanées et inflammatoires ($\sim 25\%$), pathologies respiratoires (18 %), douleurs articulaires (15 %) et indications gynécologiques (13 %) concordent directement avec les classes de métabolites identifiées et leurs propriétés documentées dans la littérature (Huffman, 1992; Fabricant et Farnsworth, 2001; Kasali *et al.*, 2021).

Les modes de préparation les plus fréquents (décoctions, infusions, cataplasmes) correspondent parfaitement à la solubilité hydrophile des polyphénols et flavonoïdes et à leurs usages internes ou topiques dans les pharmacopées traditionnelles (Martin, 1995; Alexiades, 1996).

Les indices ethnobotaniques (UV = 0,56 ; RFC = 0,55 ; FL = 82 % ; ICF = 0,80 ; CI = 0,69) confirment la cohérence interne du savoir et un niveau élevé de consensus entre informateurs (Boukerker *et al.*, 2016; Bouasla et Bouasla, 2017; Terniche et Tahanout, 2018; Yabrir *et al.*, 2019; Guechi, 2020; Habib *et al.*, 2020).

6.4. Validation expérimentale des usages thérapeutiques traditionnels

Les activités biologiques mesurées concordent fortement avec les indications populaires :

Antioxydants

Les extraits riches en polyphénols (Fru, RFr, RFl) présentent les IC_{50} les plus faibles en DPPH/ABTS et les meilleurs potentiels réducteurs FRAP/CUPRAC, en accord avec le rôle reconnu des polyphénols dans la défense contre le stress oxydatif (Panche, Diwan et Chandra, 2016).

Anti-inflammatoires

Les inhibitions significatives de LOX, la stabilisation membranaire et l'inhibition de la dénaturation protéique s'alignent avec les propriétés anti-inflammatoires connues de la lutéoline, de l'apigénine et de leurs dérivés (López-lázaro, 2009; Aziz, Kim et Cho, 2018).

Activités digestives

L'inhibition de l' α -amylase, particulièrement marquée pour les extraits de fruits et de racines, apporte un soutien biochimique aux indications digestives et métaboliques rapportées (Sales *et al.*, 2012).

Cytotoxicité et génotoxicité

Le test *Allium cepa* montre une cytotoxicité modérée et cohérente avec une marge de sécurité élevée aux doses traditionnelles (Grant, 1982; Fenech, 2007). Les extraits les plus riches en métabolites secondaires induisent les effets les plus prononcés (baisse du MI, augmentation des AC et MN), reflétant un parallélisme entre chimiodiversité et intensité de réponse biologique.

6.5. Synthèse intégrative : un continuum écologique–chimique–pharmacologique

L'analyse conjointe de l'écologie, de la phytodiversité, de l'ethnopharmacologie et des activités biologiques met en évidence un modèle fonctionnel intégratif :

Ecologie steppique → adaptations xéromorphiques → biosynthèse accrue de métabolites → chimiodiversité organo-spécifique → activités biologiques élevées → valorisation ethnopharmacologique.

Les organes les plus sollicités traditionnellement (fruits, parties aériennes en floraison/fructification) sont précisément ceux présentant les teneurs les plus élevées en métabolites secondaires et les activités biologiques les plus marquées. Les racines et les organes de fructification montrant une bioactivité particulièrement élevée apparaissent comme des organes stratégiques pour la survie et la reproduction, expliquant leur richesse métabolique.

La synergie entre acides phénoliques et flavonoïdes inhibition enzymatique, chélation des métaux, neutralisation des ROS, modulation des voies NF- κ B/MAPK constitue le fondement mécanistique principal de la plupart des effets observés.

Ainsi, les usages traditionnels rapportés dans l'est algérien trouvent aujourd'hui une validation scientifique solide, en continuité avec les mécanismes biologiques connus des polyphénols et les observations faites sur d'autres Astéracées du Maghreb (Dudonne *et al.*, 2009; Haddouchi, Chaouche et Halla, 2016; Maalik *et al.*, 2016; Amrani-Allalou *et al.*, 2021).

7. Activité antibactérienne de *Pallenis hierichuntica*

Les huiles essentielles (HE) extraites des fleurs (Fle) et des fruits (Fru) de *Pallenis hierichuntica* ont montré une activité antibactérienne appréciable, avec des zones d'inhibition variant entre 9,2 et 18,4 mm et des CMI comprises entre 0,625 et 5 mg/mL (Tableau 18). Globalement, les HE exercent une activité nettement plus marquée contre les bactéries Gram positives, en particulier *Staphylococcus aureus* (18,4 ± 0,6 mm pour Fle ; 17,1 ± 0,4 mm pour Fru ; CMI = 0,625 mg/mL) et *Bacillus subtilis* (16,7-15,8 mm ; CMI = 1,25 mg/mL). À l'inverse, leur efficacité décroît face aux Gram négatives, l'inhibition demeurant modérée pour *Escherichia coli* (12,3-11,6 mm) et particulièrement faible pour *Pseudomonas aeruginosa* (9,8-9,2 mm). Ce profil correspond parfaitement à la résistance structurelle caractéristique des bacilles Gram⁻, attribuée à la richesse en lipopolysaccharides de leur membrane externe ainsi qu'à l'expression accrue de systèmes d'efflux (Poole, 2001).

La supériorité de l'activité antimicrobienne vis-à-vis des Gram⁺ s'explique par la richesse remarquable en sesquiterpénique des HE. Les constituants majoritaires tels que le 6R,7R-bisabolone (44,8 % dans Fle ; 30,5 % dans Fru), la sesquicineole (13,1-18,1 %), le hinesol (3,7-5,3 %) et l' α -bisabolol (0,7 %) sont reconnus pour leur capacité à perturber l'intégrité et la perméabilité membranaires, conduisant à des pertes de constituants intracellulaires et à une désorganisation des protéines membranaires (Miguel, 2010). De plus, le hinesol et la sesquicineole ont déjà été rapportés pour leur efficacité ciblée contre *S. aureus* et les espèces du genre *Bacillus* (Burt, 2004; Bakkali, 2007; Masoudi et Abbassi, 2017; Nejati *et al.*, 2021). La présence concomitante de p-cymène et d'autres monoterpènes oxygénés pourrait également renforcer cet effet via des mécanismes synergiques, notamment par l'augmentation de la perméabilité membranaire favorisant l'action des sesquiterpènes (Bakkali, 2007).

Les valeurs de CMI obtenues (0,625-5 mg/mL), identiques pour les HE de fleurs et de fruits, s'inscrivent dans les intervalles généralement rapportés pour d'autres Astéracées aromatiques, telles que *Asteriscus graveolens* (Haddouchi, Chaouche et Halla, 2016) et *Pallenis spinosa* (Amrani-Allalou *et al.*, 2021). Ce résultat confirme que *P. hierichuntica* constitue une source prometteuse d'huiles essentielles bioactives à intérêt pharmaceutique.

Une forte similarité a par ailleurs été observée entre les HE des fleurs et des fruits, les HE de fruits représentant 92-95 % de l'activité mesurée pour les fleurs. Cette correspondance est illustrée dans la figure 37, qui présente (A) les zones d'inhibition, (B) les CMI, (C) l'activité relative Fruits/Fleurs (%) et (D) un indice de puissance antibactérienne (Zone d'inhibition/CMI), mettant clairement en évidence la sensibilité accrue des bactéries Gram⁺.

Dans l'ensemble, les HE de *P. hierichuntica* révèlent un potentiel antimicrobien tangible, attribuable majoritairement à leur profil sesquiterpénique oxygéné. Ces observations renforcent la

pertinence ethnopharmacologique de l'espèce et suggèrent un intérêt certain pour le développement d'agents antimicrobiens naturels, utilisables dans les domaines pharmaceutique, cosmétique ou agroalimentaire.

Tableau 18. Activité antibactérienne des huiles essentielles de *Pallenis hierichuntica*

Souche bactérienne	Zone d'inhibition (mm) - Fle (HE)	Zone d'inhibition (mm) - Fru (HE)	CMI (mg/mL)
<i>Staphylococcus aureus</i>	18,4 ± 0,6	17,1 ± 0,4	0,625
<i>Bacillus subtilis</i>	16,7 ± 0,5	15,8 ± 0,3	1,25
<i>Escherichia coli</i>	12,3 ± 0,4	11,6 ± 0,5	2,5
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	9,8 ± 0,3	9,2 ± 0,4	5,0

Zones d'inhibition (mm) et concentrations minimales inhibitrices (CMI, mg/mL) obtenues pour les HE des fleurs (Fle) et des fruits (Fru).

Les valeurs de CMI étaient identiques pour les deux HE ; par souci de clarté, une seule valeur est présentée par souche bactérienne. L'écart-type est indiqué (± SD).

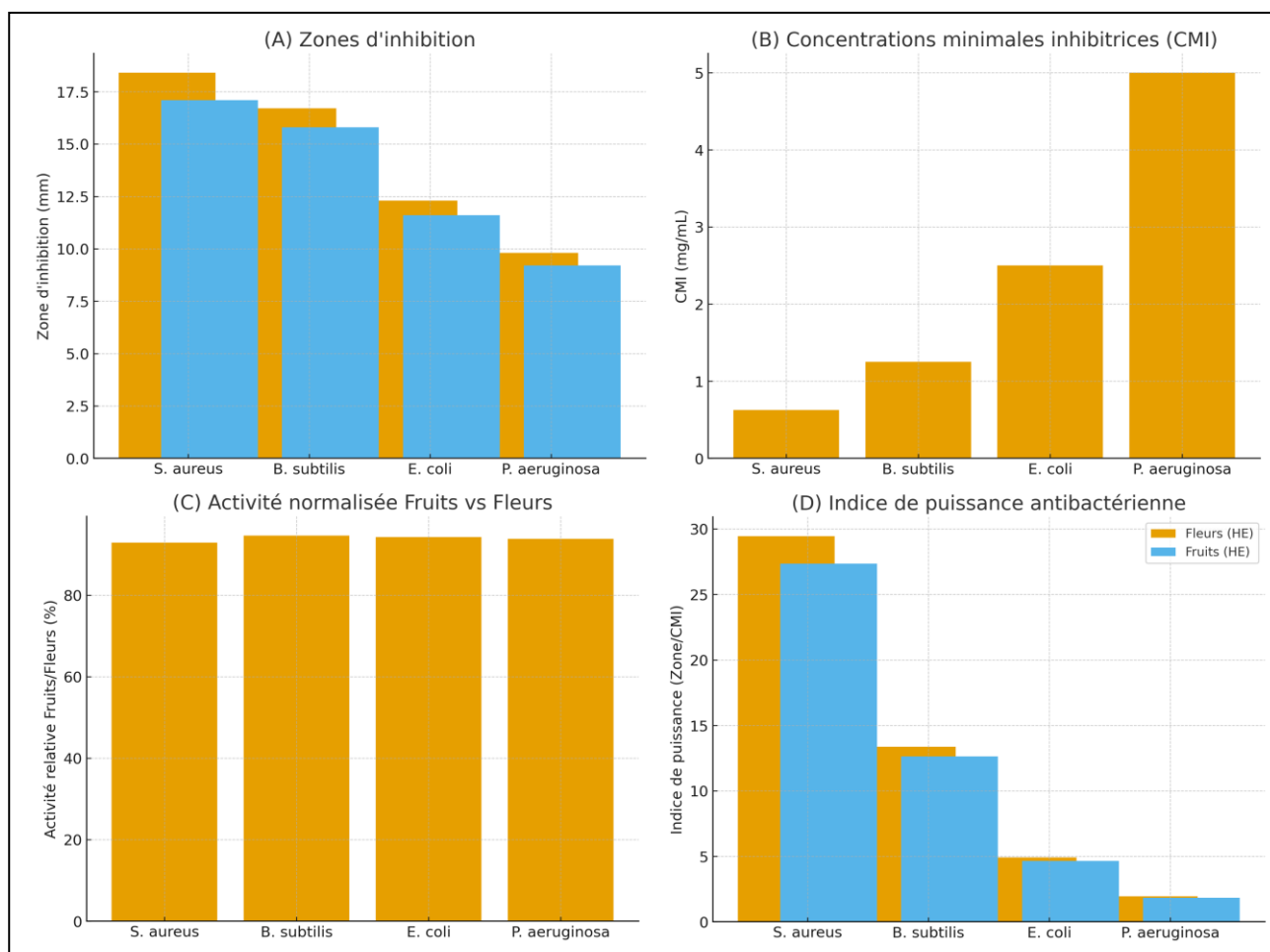


Figure 37. Activité antibactérienne des huiles essentielles de *Pallenis hierichuntica*

(A) zones d'inhibition ; (B) CMI ; (C) activité relative Fruits/Fleurs ; (D) indice de puissance antibactérienne. Les barres d'erreur représentent l'écart type (± SD).

8. Discussion intégrée : écologie, chimie et activité antibactérienne de *Pallenis hierichuntica*

Les résultats obtenus révèlent une convergence remarquable entre l'écologie steppique de *Pallenis hierichuntica*, sa chimiodiversité singulière, les usages traditionnels rapportés et les activités antimicrobiennes mesurées en laboratoire. Cette articulation multidimensionnelle permet de comprendre comment l'environnement, la structure anatomique, les voies biosynthétiques et la pharmacopée locale s'inscrivent dans un continuum fonctionnel cohérent.

8.1. Contexte écologique et anatomique favorable aux sesquiterpènes

Les observations de terrain indiquent que *P. hierichuntica* est une espèce xérophile parfaitement adaptée aux milieux arides et steppiques du Nord-Est algérien, caractérisés par une faible disponibilité hydrique et une forte intensité lumineuse (Steinbrinck et Schinz, 1908; Blanca et Cueto, 2007).

Les analyses morpho-anatomiques cuticule épaisse, forte pilosité, sclérification, canaux sécréteurs bien développés traduisent une stratégie de résistance typiquement xéromorphique (Fahn, 1990; Larcher, 2003).

De telles conditions écophysiological sont connues pour stimuler la biosynthèse des métabolites secondaires protecteurs, notamment les sesquiterpènes oxygénés, les composés aromatiques à haut potentiel antibactérien (Herms et Mattson, 1992; Chaves, Flexas et Pinheiro, 2009). Cette pression écologique explique la composition terpénique dense et spécialisée observée dans les HE.

8.2. Chimiodiversité dominée par les sesquiterpènes oxygénés, et l'activité antibactérienne

L'analyse GC-MS confirme une forte dominance des sesquiterpènes oxygénés dans les HE, structurée autour d'un axe bisabolane inédit :

- 6R,7R-bisabolone (44,84 % Fle ; 30,56 % Fru),
- sesquicineole (13-18 %),
- hinesol (3,7-5,3 %),
- α -bisabolol, guaiol et agarospirol.

Cette distribution constitue un chemotype unique, non rapporté auparavant pour l'espèce et exceptionnellement proche, mais quantitativement différent, de celui observé chez *P. spinosa* (Senatore et Bruno, 2003).

Or, plusieurs de ces composés sont reconnus pour leurs propriétés antibactériennes :

- bisabolone, hinesol et sesquicineole perturbent l'intégrité membranaire,
- α -bisabolol est un agent antiseptique et anti-inflammatoire puissant (Kamatou et Viljoen, 2010; Miguel, 2016).
- p-cymène agit en synergie en augmentant la perméabilité membranaire (Bakkali, 2007).

Cette chimiodiversité explique parfaitement l'activité observée contre les Gram+, notamment *S. aureus* et *B. subtilis*, qui sont particulièrement sensibles à ces composés lipophiles.

8.3. Une activité antibactérienne cohérente avec les mécanismes biochimiques connus

Les HE présentent une activité antibactérienne appréciable (zones d'inhibition : 9,2-18,4 mm ; CMI : 0,625-5 mg/mL).

Les Gram+ montrent une forte sensibilité, tandis que les Gram- notamment *Pseudomonas aeruginosa* affichent une résistance typique, en raison de leur paroi externe riche en lipopolysaccharides et de pompes d'efflux actives (Poole, 2001).

L'efficacité remarquée des HE face aux Gram+ est cohérente avec l'action lipophile des sesquiterpènes oxygénés, capables :

- de désorganiser les membranes cytoplasmiques,
- de favoriser la perte des constituants cellulaires,
- de dénaturer les protéines membranaires,
- d'induire un stress oxydatif létal (Burt, 2004)

Ainsi, la composition chimique terpénique fournit une explication directe et robuste du profil antibactérien mesuré.

8.4. Relations fleurs-fruits : une synergie biosynthétique et une stabilité du chemotype

La similarité de 92-95 % entre les HE des fleurs et des fruits suggère une orientation biosynthétique conservée au sein de l'espèce, malgré des différences quantitatives liées aux rôles écologiques distincts des organes.

Les fleurs, impliquées dans l'attraction pollinique, possèdent des composés volatils plus diversifiés.

Les fruits, axés sur la défense contre les pathogènes et herbivores, montrent une augmentation relative de sesquiterpènes antiseptiques.

Cette modulation inter-organe est typique des Astéracées (Senatore et Bruno, 2003; Chen *et al.*, 2011).

8.5. Convergence avec les usages ethnopharmacologiques locaux

Les indications traditionnelles rapportées affections cutanées, eczéma, plaies, brûlures, troubles digestifs inflammatoires s'inscrivent pleinement dans les activités antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antioxydantes induites par les HE.

Le recours local aux préparations topiques (cataplasmes, poudres, baumes artisanaux) pour les infections cutanées est particulièrement cohérent avec :

- la richesse en sesquiterpènes antiseptiques et cicatrisants,
- l'innocuité rapportée dans l'enquête (profil de sécurité élevé),
- la forte perception culturelle de la plante comme « calmante » et « désinfectante ».

Ainsi, l'activité antibactérienne des HE constitue un pilier scientifique majeur validant les usages empiriques transmis au sein des communautés rurales (Bellakhdar, 1997; Boudjelal *et al.*, 2013; Benarba *et al.*, 2015).

8.6. Signification écologique et mécanistique : des HE comme outils de survie en milieu aride

La production élevée de sesquiterpènes oxygénés semble relever d'une stratégie adaptative intégrée :

- défense contre les agents pathogènes, grâce à leurs propriétés antimicrobiennes documentées chez les plantes aromatiques (Gershenzon et Dudareva, 2007b) ;
- rôle antiseptique intrinsèque, lié notamment aux sesquiterpènes oxygénés capables de perturber l'intégrité membranaire microbienne ;
- stabilisation oxydative sous fortes températures, un mécanisme clé dans les environnements arides où les terpènes contribuent à limiter les dommages photo-oxydatifs et thermiques (Vickers *et al.*, 2009);
- signalisation écologique et gestion des interactions biotiques, via l'émission de composés volatils jouant un rôle central dans les interactions plante-insecte, l'attraction des pollinisateurs et la défense indirecte (Dudareva *et al.*, 2006).

Ces mêmes composés contribuent également à l'intérêt pharmacologique de l'espèce.

8.7. Synthèse intégrative : écologique → chimique → biologique → ethnothérapeutique

La mise en relation des données montre un modèle fonctionnel cohérent :

écologie steppique → adaptations xéromorphiques → biosynthèse accrue de sesquiterpènes oxygénés (Gershenzon and Dudareva, 2007b) → chimiodiversité orientée bisabolane → activité

antibactérienne élevée (Burt, 2004) → validation des usages traditionnels cutanés et inflammatoires (Heinrich *et al.*, 2009).

Ainsi, l'activité antibactérienne de *P. hierichuntica* n'est pas un phénomène isolé mais résulte d'un ensemble intégré d'adaptations écologiques, d'une organisation anatomique spécialisée, d'une biosynthèse ciblée et d'une longue tradition d'usage thérapeutique local. Ce continuum confère à l'espèce une valeur ethnopharmacologique, écologique et biotechnologique majeure, justifiant de futures investigations en pharmacologie et en cosmétique.

Conclusion

Conclusion

Cette recherche doctorale constitue la première étude intégrée dédiée à *Pallenis hierichuntica* en Algérie, reliant de manière cohérente les savoirs ethnopharmacologiques locaux à une caractérisation phytochimique et biologique approfondie. L'enquête menée auprès de 400 informateurs a confirmé l'importance de la transmission familiale notamment par les femmes dans la préservation du savoir traditionnel.

Sur le plan expérimental, les analyses UHPLC–MS/MS et GC–MS ont mis en évidence une chimiodiversité remarquable, dominée par les acides phénoliques et flavonoïdes dans les extraits, ainsi que par des sesquiterpènes oxygénés dans les huiles essentielles. Les variations inter-organes et les valeurs élevées de TPC/TFC se sont traduites par des activités antioxydantes, anti-inflammatoires, antibactériennes et photoprotectrices significatives. L'absence de toxicité cytogénétique, confirmée par le test *Allium cepa*, suggère un profil de sécurité favorable.

Dans l'ensemble, ces résultats valident scientifiquement plusieurs usages traditionnels de *P. hierichuntica* et ouvrent des perspectives prometteuses pour sa valorisation nutraceutique et dermocosmétique. Toutefois, le caractère *in vitro* des essais et la nature transversale de l'enquête nécessitent des validations supplémentaires afin de consolider son potentiel thérapeutique et industriel.

Perspectives

- Études *in vivo* et essais cliniques pour confirmer l'efficacité et l'innocuité.
- Standardisation des extraits et protocoles reproductibles.
- Développement de formulations nutraceutiques et dermocosmétiques innovantes.
- Préservation et transmission du savoir traditionnel, en particulier féminin.
- Isolement et caractérisation avancée des métabolites par RMN et LC–HRMS.
- Promotion de partenariats interdisciplinaires pour une valorisation socio-économique durable.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbasi, S., Houshmand, S. and Ahmadi, T. (2024)** ‘Volatile compositions and glandular trichomes of *Zataria multiflora* in different phenological stages under normal and drought stress conditions’, *BMC Plant Biology*, 24(483), pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05196-0>.
- Abdullah, M.T. and Al Dosari, M.E. (2022)** *Vegetation of the State of Kuwait*. Edited by IUCN.
- Adams, R.P. (2007) *Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectrometry*, *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*.
- Adoui, N. et al. (2023)** ‘Characterization of Polyphenols and Volatile Compounds from Understudied Algerian *Pallenis spinosa* by HS-SPME-GC-MS, NMR and HPLC-MSn Approaches’, *Applied Sciences*, 13(18), pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.3390/app131810113>.
- Agati, G. et al. (2012)** ‘Flavonoids as antioxidants in plants: Location and functional significance’, *Plant Science*, 196(November), pp. 67–76. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.07.014>.
- Agati, G. and Tattini, M. (2010)** ‘Multiple functional roles of flavonoids in photoprotection’, *New Phytol*, 186(4), pp. 786–793. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03269.x>.
- Ahern, J.R. and Whitney, K.D. (2014)** ‘Sesquiterpene lactone stereochemistry influences herbivore resistance and plant fitness in the field’, 113(4), pp. 731–40. Available at: <https://doi.org/10.1093/aob/mct297>.
- Ahmad, K.S. et al. (2017)** ‘Ethnopharmacological studies of indigenous plants in Kel village, Neelum Valley, Azad Kashmir, Pakistan’, *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13(1), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.1186/s13002-017-0196-1>.
- Ahmed, A.A., Jakupovic, J. and Bohlmann, F. (1990)** ‘Dihydroxypallene a sesquiterpene with a new carbon skeleton from *pallenis spinosa*’, *Phytochemistry*, 29(10).
- Aijaz, M., Keserwani, N. and Yusuf, M. (2022)** ‘Chemical, Biological, and Pharmacological Prospects of Caffeic Acid’. Available at: <https://doi.org/10.33263/BRIAC134.324>.
- Al-Qudah, M.A. et al. (2017)** ‘Composition, Antioxidant and Anticancer activities of the Essential Oil from Fresh and Air-Dried Aerial Parts of *Pallenis spinosa*’. Available at: <https://doi.org/10.1002/cbdv.201700146>.
- Alan Andersen, F. (1999)** ‘Final report on the safety assessment of Bisabolol’, *International Journal of Toxicology*, 18(SUPPL. 3), pp. 33–40. Available at: <https://doi.org/10.1177/109158189901800305>.
- Albayrak, S. (2013) ‘The volatile compounds and bioactivity of *Achillea sieheana* Stapf. (Asteraceae)’, *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 12(1), pp. 37–45.
- Albuquerque, U.P., Alves, R.R.N. and Ferreira Júnior, W.S. (2025)** ‘The contemporary challenge for ethical research involving the knowledge of indigenous peoples and local communities and afro-descendants and other marginalized, minority, or minoritized groups’, *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 21(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s13002-025-00774-4>.
- Alexiades, M.N. (1996)** ‘Collecting Ethnobotanical Data: An Introduction to Basic Concepts and Techniques’, in *Selected Guidelines for ethnobotanical Research: A Field Manual*, pp. 53–94.
- Ali-Shtayeh, M.S., Jamous, R.M. and Zaitoun, S.Y.A. (2025)** ‘IUCN red list assessment of the flora of the State of Palestine (West Bank): Towards a national strategy for plant biodiversity conservation’, *Biodiversity & Environmental Sciences Studies Series*, 20(1), pp. 1–105. Available at: [https://www.berc.ps/sites/default/files/Publications/IUCN Red List Assessment of the Flora of the State of Palestine](https://www.berc.ps/sites/default/files/Publications/IUCN%20Red%20List%20Assessment%20of%20the%20Flora%20of%20the%20State%20of%20Palestine.pdf).
- Ali, F. et al. (2017)** ‘Health functionality of apigenin: A review’, *International Journal of Food Properties*, 20(6).
- Ali, F., Assanta, M.A. and Robert, C. (2011)** ‘Gnetum africanum: A wild food plant from the african forest with many nutritional and medicinal properties’, *Journal of Medicinal Food*, 14(11), pp. 1289–1297. Available at: <https://doi.org/10.1089/jmf.2010.0327>.
- Álvarez-Molina, L.L. et al. (2013)** ‘Biological flora of coastal dunes and wetlands: *Palafoxia lindeni* a. Gray’, *Journal of Coastal Research*, 29(3), pp. 680–693. Available at: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00146.1>.
- Amrani-Allalou, H. et al. (2019)** ‘Antioxidant activity, carotenoids, chlorophylls and mineral composition from leaves of *Pallenis spinosa*: an Algerian medicinal plant’, *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.1515/jcim-2017-0081>.
- Amrani-Allalou, H. et al. (2021)** ‘Phenolic compounds from an Algerian medicinal plant (*Pallenis spinosa*): Simulated gastrointestinal digestion, characterization, and biological and enzymatic activities’, *Food & Function*, 12, pp. 1291–1304. Available at: <https://doi.org/10.1039/d0fo01764g>.
- Apak, R. et al. (2004)** ‘Novel Total Antioxidant Capacity Index for Dietary Polyphenols and Vitamins C and E, Using Their Cupric Ion Reducing Capability in the Presence of Neocuproine: CUPRAC Method’, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), pp. 7970–7981. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf048741x>.
- Apostolidis, E. and et al. (2007)** ‘Inhibitory Potential of Herb, Fruit, and Fungal-Enriched Cheese against Key Enzymes Linked to Type 2 Diabetes and Hypertension’, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8, pp. 46–54.
- Appendino, G., Jakupovic, J. and Jakupovic, S. (1997)** ‘Sesquiterpenoids from *Pallenis spinosa*’, *Phytochemistry*, 46(6).
- Arya, S.K. and Mukherjee, A. (2014)** ‘Sensitivity of *Allium cepa* and *Vicia faba* towards cadmium toxicity’, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(2), pp. 447–458.
- Assefa, A., Mesfin, K. and Girmay, T. (2025)** ‘A comprehensive review on animals and their products used in traditional folk medicine in Ethiopia’, *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 21(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s13002-025-00767-3>.

- Assimopoulou, A.N. and Trifan, A. (2024)** 'Editorial: Global excellence in ethnopharmacology: europe', *Frontiers in Pharmacology*, 15(January), pp. 2018–2020. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1368610>.
- Augustin, J.M. et al. (2011)** 'Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins', *Phytochemistry*, 72(6), pp. 435–457. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.015>.
- Awoke, A. et al. (2024)** 'Ethnobotanical study of medicinal plants and their threats in Yeki district, Southwestern Ethiopia', *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 20(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s13002-024-00748-y>.
- Aziz, N., Kim, M.-Y. and Cho, J. (2018)** 'Anti-inflammatory effects of luteolin: A review of in vitro, in vivo, and in silico studies', *Journal of Ethnopharmacology* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.05.019>.
- Babich, H. et al. (2011)** 'Research Strategies in the Study of the Pro-Oxidant Nature of Polyphenol Nutraceuticals', *J. Toxicol.* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1155/2011/467305>.
- Bagatini, M.D., Pedrosa Soares, A.C. and Tedesco, S.B. (2007)** 'Uso do sistema teste de Allium cepa como bioindicador de genotoxicidade de infusões de plantas medicinais', *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 17(3), pp. 444–447.
- Bakkali, F. (2007)** 'Biological effects of essential oils - A review', *Food chemical toxicology* [Preprint], (339).
- Balouiri, M., Sadiki, M. and Ibsouda, S.K. (2016)** 'Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review', *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), pp. 71–79. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>.
- Bande, O.J., Clawson, S.J. and Osheroff, N. (2009)** 'Dietary Polyphenols as Topoisomerase II Poisons : B Ring and C Ring Substituents Determine the Mechanism of Enzyme-Mediated DNA Cleavage Enhancement', *Chem Res Toxicol.*, 21(6), pp. 1253–1260. Available at: <https://doi.org/10.1021/tx8000785>.
- Beato, M.S. and Veneroso, V. (2023)** 'The Nagoya Protocol on access and benefit sharing: The neglected issue of animal health', *Frontiers in Microbiology*, 14(October 2014). Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1124120>.
- Becerra, J.X. (2007)** 'The impact of herbivore-plant coevolution on plant community structure', *Proc Nati Acad Sci USA*, 104(18), pp. 1–2. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.0608253104>.
- Belhouala, K. and Benarba, B. (2021)** 'Medicinal Plants Used by Traditional Healers in Algeria: A Multiregional Ethnobotanical Study', *Frontiers in Pharmacology*, 12(November), pp. 1–23. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.760492>.
- Bellakhdar, J. (1997)** *La pharmacopée marocaine traditionnelle: Médecine arabe ancienne et savoirs populaires.*, Paris.
- Benarba, B. et al. (2015)** *Ethnobotanical study of medicinal plants used by traditional healers in Mascara (North West of Algeria)*, *Journal of Ethnopharmacology*. Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.09.030>.
- Benkhniq, O. et al. (2014)** 'Catalogue des plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète dans la région d'Al Haouz-Rhamna (Maroc)', *Journal of Animal & Plant Sciences*, 23(1), pp. 3539–3568. Available at: <http://www.m.elewa.org/JAPS>.
- Bennett, B.C. and Prance, G.T. (2000)** 'Introduced plants in the indigenous pharmacopoeia of northern South America', *Economic Botany*, 54(1), pp. 90–102. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF02866603>.
- Bennett, M. (2023)** *Medicinal plants and unsustainable harvesting: a closer look*, *British Ecological Society*. Available at: <https://www.britishecologicalsociety.org/medicinal-plants-and-unsustainable-harvesting-a-closer-look/>.
- Benomari, F.Z. et al. (2019)** 'Comparative study of chemical composition of essential oils for two species of Asteriscus genus from Western Algeria', *Journal of Essential Oil Research*, 31(5), pp. 414–424. Available at: <https://doi.org/10.1080/10412905.2019.1579761>.
- Benouhene, D. et al. (2020)** 'LC–MS/MS analysis, antioxidant and antibacterial activities of Algerian fir (Abies numidica de L'ANNOY ex CARRIÈRE) ethylacetate fraction extracted from needles', *Journal of King Saud University - Science*, 32(8), pp. 3321–3327. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.09.017>.
- Bernard, H.R. (2011)** *Research Methods in Anthropology: Qualitative and Quantitative Approaches*. 5th edn. Lanham, MD : AltaMira.
- Bessada, S.M.F. et al. (2016)** 'Phenolic profile and antioxidant activity of Coleostephus myconis (L .) Rchb . f .: An underexploited and highly disseminated species', *Industrial Crops and Products*, 89(October), pp. 45–51. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.065>.
- Bhatt, A. et al. (2016)** 'Influence of aerial seed banks on germination response in three desert plant species', *Journal of Plant Ecology*, 10(6), pp. 994–1000. Available at: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw113>.
- Bhattarai, S. et al. (2010)** 'The use of medicinal plants in the trans-himalayan arid zone of Mustang district, Nepal', *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 6, pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1186/1746-4269-6-14>.
- Blanca, G. and Cueto, M. (2007)** 'Sobre la nomenclatura de una especie del género Asteriscus Mill. (Asteraceae)', *Acta Botanica Malacitana*, 32(December), pp. 298–300. Available at: <https://doi.org/10.24310/abm.v32i0.7113>.
- Blois, M.S. (1958)** 'Antioxidant determinations by the use of a stable free radical', *Nature*, 181(April 26), pp. 1199–1200. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/1811199a0>.
- Bodeker, G. and Kronenberg, F. (2002)** 'A public health agenda for traditional, complementary, and alternative medicine', *American Journal of Public Health*, 92(10), pp. 1582–1591. Available at: <https://doi.org/10.2105/AJPH.92.10.1582>.
- Bohm, B.A. and Stuessy, T.F. (2001)** 'Flavonoids of the Sunflower Family (Asteraceae)', *Flavonoids of the Sunflower Family (Asteraceae)*, p. 2500. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6181-4>.
- Bouafia, M. et al. (2021)** 'Ethnobotanical and ethnomedicinal analysis of wild medicinal plants traditionally used in

- Naâma, southwest Algeria', *Vegetos*, 34(3), pp. 654–662. Available at: <https://doi.org/10.1007/s42535-021-00229-7>.
- Bouasla, A. and Bouasla, I. (2017)** 'Ethnobotanical survey of medicinal plants in northeastern of Algeria', *Phytomedicine*. Elsevier GmbH, pp. 68–81. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2017.09.007>.
- Boudjelal, A. et al. (2013)** 'Herbalists and wild medicinal plants in M'Sila (North Algeria): An ethnopharmacology survey', *Journal of Ethnopharmacology*, 148(2), pp. 395–402. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.03.082>.
- Boughendjioua, H. (2001)** *Les plantes médicinales utilisées pour les soins de la peau. Inventaire et extraction des principes actifs de Citrus limon, Cinnamomum zeylanicum*.
- Boukerker, H. et al. (2016)** 'La végétation steppique au profit de la phytothérapie dans la région d ' El Bayadh', *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*, 13, pp. 61–73.
- Boukezoula, F. et al. (2022)** 'Ethnopharmacological Survey of Medicinal Plants Used in the Traditional Treatment of Gastrointestinal Disorders in a Region of Eastern Algeria (Tebessa)', *Phytotherapie*, 20(1), pp. 72–79. Available at: <https://doi.org/10.3166/phyto-2021-0277>.
- Boumesrane, H. (2020)** *Revision de la faune Apoidiene de la region de Tebessa*. des Frères Mentouri Constantine.
- Bouquet, A. (1972)** *Plantes médicinales du Congo-Brazzaville, O.R.S.T.O.M.* Paris. Available at: http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB_2.pdf.
- Bozdag, B. (2023)** 'An Anatomical and Caryological Investigation On Monotypic *Pallenis spinosa* (L.) Cass. in Turkey', *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 23(4), pp. 820–827. Available at: <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1269577>.
- Burt, S. (2004)** 'Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods -a review', *International Journal of food Microbiology*, 94(3), pp. 223–253. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>.
- Candan, F. et al. (2003)** 'Antioxidant and antimicrobial activity of the essential oil and methanol extracts of *Achillea millefolium* subsp. *millefolium* Afan. (Asteraceae)', *Journal of Ethnopharmacology*, 87(2–3), pp. 215–220. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(03\)00149-1](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(03)00149-1).
- CDB (1992)** *Article 8(j) – Connaissances, innovations et pratiques des communautés autochtones et locales, Convention sur la diversité biologique*. Rio de Janeiro : Nations Unies. Available at: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf> (Accessed: 7 May 2025).
- CDB, S.D.L.C.S.L.D.B. (2010)** *Protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation relatif à la Convention sur la diversité biologique*. Available at: <http://www.cbd.int/abs/doc/protocol/nagoya-protocol-fr.pdf> (Accessed: 7 October 2025).
- Chang, Z. et al. (2019)** 'A Comprehensive Review of the Structure Elucidation of Tannins from *Terminalia* Linn.', *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1155/2019/8623909>.
- Chaves, M.M., Flexas, J. and Pinheiro, C. (2009)** 'Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell', *Annals of Botany*, 103(4), pp. 551–560. Available at: <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>.
- Chen, F. et al. (2011)** 'The family of terpene synthases in plants : a mid-size family of genes for specialized metabolism that is highly diversified throughout the kingdom', *Plant J.*, 66(1), pp. 212–29. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04520.x>.
- CITES (2025)** *Appendices I, II and III*. Available at: <https://cites.org/eng/app/appendices.php>.
- CLSI (2018)** *Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically*. 11th edn, M07-a9. 11th edn. Wayne.
- Coals, P.G.R. et al. (2024)** 'Ethnopharmacology, ethnomedicine, and wildlife conservation', *Journal of Ethnopharmacology*, 333(May). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.118399>.
- Cornard, J.P. and Merlin, J.C. (2002)** 'Spectroscopic and structural study of complexes of quercetin with Al (III)', *Journal of Inorganic Biochemistry*, 92(1), pp. 19–27. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0162-0134\(02\)00469-5](https://doi.org/10.1016/S0162-0134(02)00469-5).
- Couso, L.L., Biganzoli, F. and Fernández, R.J. (2014)** 'Field competitive equivalence between grasses differing in drought tolerance in a Patagonian semiarid steppe', *Journal of Arid Environments*, 102, pp. 21–26. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.11.001>.
- Cunningham, A.B. (2001)** *Applied Ethnobotany, People, Wild Plant Use and Conservation, Applied Ethnobotany*. Available at: <https://doi.org/10.4324/9781849776073>.
- D'Abrosca, B. et al. (2016)** 'Phytochemical study of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don: Spectroscopic elucidation of unusual amino-phlorogucinols and antimicrobial assessment of secondary metabolites from medium-polar extract', *Phytochemistry*, 132, pp. 86–94. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.09.012>.
- Dej-adisai, S. and Pitakbut, T. (2015)** 'Determination of α -glucosidase inhibitory activity from selected Fabaceae plants', *Pakistani Journal of Pharmaceutical Sciences*, 28(5), pp. 1679–1683.
- Dellali, S. and Torchi, I. (2022)** *Etude ethnopharmacologique et phytochimique et activités biologiques de Pallenis spinosa*. University Mohamed Boudiaf- M'sila.
- Derridj, A. et al. (2010)** 'Approche Ethnobotanique Des Plantes Médicinales En Kabylie (Wilaya De Tizi Ouzou, Algerie)', *Acta Horticulturae*, (853), pp. 425–434. Available at: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2010.853.52>.
- Dhouibi, N. et al. (2020)** 'Screening of Antioxidant Potentials and Bioactive Properties of the Extracts Obtained from Two *Centaurea* L. species (*C. kroumirensis* Coss. and *C. sicula* L. subsp *sicula*)', *applied sciences*, 10(2267), pp. 1–13.
- Djadaoun, Z. (2024)** 'The reality of teaching the rural girl in Algeria facts and numbers', *Psychology and education*, 60(2), pp. 187–197.
- Djeridane, A. et al. (2006)** 'Phenolic extracts from various Algerian plants as strong inhibitors of porcine liver carboxylesterase', *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 21(6), pp. 719–726. Available at:

<https://doi.org/10.1080/14756360600810399>.

Djoumaa, S. et al. (2022) 'ETHNOBOTANICAL STUDY ON THE USE OF MEDICINAL PLANTS WITH ANTIVIRAL INTEREST, CASE OF SARS-COV-19, IN THE REGION OF SERAIDI (ANNABA, NORTH-EAST ALGERIA)', *Plant archives*, 22(2), pp. 184–192.

Do, Q.D. et al. (2013) 'Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Linnophila aromatica*', *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(3), pp. 296–302. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2013.11.001>.

Dohou, N. et al. (2003) 'Screening phytochimique d'une endémique ibéro-marocaine, *Thymelaea lythroides*', *Bulletin de la Société de pharmacie de Bordeaux*, 142(January), pp. 61–78. Available at: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=15848319>.

Dolores, M. and Tongo, C. (2006) 'Purposive sampling as a tool for informant selection', *Ethnobotany Research & Applications*, 5, pp. 147–158.

Dougan, T. (2024) 'Overharvesting medicinal and aromatic plants in rural Moroccan communities', *Perspectives on Business and Economics*, 42. Available at: <https://doi.org/10.18275/pbe-v042-009>.

Dudareva, N. et al. (2006) 'Plant Volatiles : Recent Advances and Future Perspectives', *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(5), pp. 417–440. Available at: <https://doi.org/10.1080/07352680600899973>.

Dudonne, S. et al. (2009) 'Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH , ABTS , FRAP', *Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), pp. 1768–1774. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf803011r>.

Eddin, L.B. et al. (2022) 'Health Benefits, Pharmacological Effects, Molecular Mechanisms, and Therapeutic Potential of α -Bisabolol', *Nutrients*, 14(7). Available at: <https://doi.org/10.3390/nu14071370>.

EDQM, E.D. for the Q. of M. (2020) *European Pharmacopoeia*. 10th Editi. Strasbourg: Council of Europe.

Eghbaliferiz, S. and Iranshahi, M. (2016) 'Prooxidant Activity of Polyphenols, Flavonoids, Anthocyanins and Carotenoids: Updated Review of Mechanisms and Catalyzing Metals', *Phytotherapy Research*, 30(9), pp. 1379–1391. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ptr.5643>.

El-Gazzar, A. et al. (2019) 'Computer-generated keys to the flora of egypt. 9. the spiny taxa of Asteraceae', *Egyptian Journal of Botany*, 59(1), pp. 107–138. Available at: <https://doi.org/10.21608/ejbo.2018.4536.1191>.

Encyclopaedia Britannica (2024) *Asteraceae – Physical characteristics*. Available at: <https://www.britannica.com/plant/Asteraceae/Physical-characteristics> (Accessed: 6 October 2025).

Etkin, N.L. (1993) 'Anthropological methods in ethnopharmacology', *Journal of Ethnopharmacology*, 38, pp. 93–104. Available at: [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(93\)90003-N](https://doi.org/10.1016/0378-8741(93)90003-N).

Euro+Med PlantBase (2006) *Pallenis hierichuntica (Michon) Greuter*. Available at: https://europusmed.org/cdm_dataportal/taxon/6b453d71-88c8-4614-8095-5e4018db4aed (Accessed: 9 October 2025).

Ezzat, M.I. et al. (2016) 'A new acylated flavonol from the aerial parts of *Asteriscus maritimus* (L.) Less (Asteraceae)', *Natural Product Research*, 6419(February), pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1138298>.

Fabricant, D.S. and Farnsworth, N.R. (2001) 'The Value of Plants Used in Traditional Medicine for Drug Discovery', *Environmental Health Perspectives*, 109(March), p. 69. Available at: <https://doi.org/10.2307/3434847>.

Fahn, A. (1990) *Plant anatomy*. Oxford: Pergamon Press. Available at: <https://doi.org/10.1038/2251078a0>.

FAO and OMS (1997) *Medicinal plants for forest conservation and health care (Non-Wood Forest Products No. 11)*, Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <https://www.fao.org/4/x0963f/x0963f0f.htm>.

Farhan, M. and Rizvi, A. (2022) 'Understanding the Prooxidant Action of Plant Polyphenols in the Cellular Microenvironment of Malignant Cells : Role of Copper and Therapeutic Implications', *Front Pharmacol*, 20(13). Available at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.929853>.

Farzaei, M.H. et al. (2020) 'Poisoning by medical plants', *Archives of Iranian Medicine*, 23(2), pp. 117–127.

Fenech, M. (2007) 'Cytokinesis-block micronucleus cytochrome assay', *Nature Protocols*, 2(5), pp. 1084–1104. Available at: <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.77>.

Fernandes, T.C.C., Mazzeo, D.E.C. and Marin-Morales, M.A. (2007) 'Mechanism of micronuclei formation in polyploidized cells of *Allium cepa* exposed to trifluralin herbicide', *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 88, pp. 252–259.

Ferrag dit Alleg, S. (2010) *Recyclage des eaux et recuperation des schlamms phosphates issus des procedes de classification gravimetrique*. Badji Mokhtar Annaba.

Filly, A. et al. (2016) 'Water as a green solvent combined with different techniques for extraction of essential oil from lavender flowers', *Comptes Rendus Chimie*, 19(6), pp. 707–717. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.crci.2016.01.018>.

Fiskesjo, G. (1985) 'The Allium test as a standard in environmental monitoring', *Hereditas*, 102(1), pp. 99–112. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x>.

Fiskesjo, G. (1993) 'The Allium test in wastewater monitoring', *Environmental Toxicology and Water Quality*, 8, pp. 298–291.

Fissore, D., Pisano, R. and Barresi, A. (2020) *Freeze drying of pharmaceutical products*. CRC Press, Boca Raton.

Fleurentin, J. (1991) *Ethnopharmacology Sources, Methods, Objectives, Etnopharmacologie: Sources, Methodes, Objectifs*.

Fleurentin, J. (2012) 'L'ethnopharmacologie au service de la thérapeutique : sources et méthodes', *Hegel*, N° 2(2), pp.

12–18. Available at: <https://doi.org/10.4267/2042/47400>.

Fleurentin, J. and Balansard, G. (2002) ‘L’intérêt de l’ethnopharmacologie dans le domaine des plantes médicinales’, *Médecine tropicale*, (62), pp. 23–28.

Frazão-Moreira, A. (2016) ‘The symbolic efficacy of medicinal plants: Practices, knowledge, and religious beliefs amongst the Nalu healers of Guinea-Bissau’, *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12(1), pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.1186/s13002-016-0095-x>.

Friedman, J. et al. (1986) ‘A preliminary classification of the healing potential of medicinal plants, based on a rational analysis of an ethnopharmacological field survey among Bedouins in the Negev Desert, Palestine’, *Journal of Ethnopharmacology*, 16(2–3), pp. 275–287. Available at: [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(86\)90094-2](https://doi.org/10.1016/0378-8741(86)90094-2).

Friedman, J., Gunderman, N. and Ellis, M. (1978) ‘Water response of the hygrochastic skeletons of the true rose of Jericho (*Anastatica hierochuntica* L.)’, *Oecologia*, 32(3), pp. 289–301. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF00345108>.

Funk, V.A. et al. (2009) *Systematics, Evolution, and Biogeography of Compositae*, *Systematics, Evolution, and Biogeography of Compositae*. Vienna.

Furlan, V. and Bren, U. (2023) ‘Helichrysum italicum: From Extraction, Distillation, and Encapsulation Techniques to Beneficial Health Effects’, *Foods*, 12(4), pp. 1–34. Available at: <https://doi.org/10.3390/foods12040802>.

García Forero, A. et al. (2019) ‘Photoprotective and Antigenotoxic Effects of the Flavonoids Apigenin, Naringenin and Pinocembrin’, *Photochemistry and Photobiology*, 95(4), pp. 1010–1018. Available at: <https://doi.org/10.1111/php.13085>.

George, V. and Ijnu, T.P. (2011) ‘Scientific Validation of Traditional Knowledge and Development of Herbal Drugs’, in *Traditional and folk practices_contemporary relevance and future prospects*.

Gershenzon, J. and Dudarev, N. (2007) ‘The function of terpene natural products in the natural world’, *Nature chemical biology*, 7, pp. 408–414. Available at: <https://doi.org/10.1038/nchembio.2007.5>.

Gershenzon, J. and Dudareva, N. (2007a) ‘The function of terpene natural products in the natural world’, *Nat chem Biol*, 3(7), pp. 408–14. Available at: <https://doi.org/10.1038/nchembio.2007.5>.

Gershenzon, J. and Dudareva, N. (2007b) ‘The function of terpene natural products in the natural world’, *Nature chemical biology*, 3(June), pp. 408–414.

Gharibi, S. et al. (2013) ‘Total phenolic content and antioxidant activity of three Iranian endemic *Achillea* species’, *Industrial Crops & Products*, 50(October), pp. 154–158. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.038>.

Gilani, A.H. and Atta-ur-Rahman (2005) ‘Trends in ethnopharmacology’, *Journal of Ethnopharmacology*. Elsevier Ireland Ltd, pp. 43–49. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.06.001>.

Gouveia, S. and Castilho, P.C. (2012) ‘*Helichrysum monizii* Lowe: phenolic composition and antioxidant potential’, *Phytochem Anal*, 23(1), p. 2012. Available at: <https://doi.org/10.1002/pca.1326>.

Grant, W.F. (1982) ‘Chromosome aberration assays in Allium’, *Mutation Research*, 99(3), pp. 273–291. Available at: [https://doi.org/10.1016/0165-1110\(82\)90046-x](https://doi.org/10.1016/0165-1110(82)90046-x).

Greuter, W. (1997) ‘Save Asteriscus, sink Nauplius (Compositae)’, in *Flora Mediterranea*, pp. 41–48.

Guechi, N.O. (2020) *Études floristique et ethnobotanique du massif de Maadid (M’Sila, Algérie) Présenté*. Mohamed Boudiaf M’Sila.

Gumisiriza, H. et al. (2024) ‘Antibacterial and Antioxidant Activities of Flavonoids, Phenolic and Flavonoid Glycosides from *Gouania longispicata* Leaves’, *Microbiology Research*, 15(4), pp. 2085–2101. Available at: <https://doi.org/10.3390/microbiolres15040140>.

Habib, J. and Al., E. (2020) ‘Synthèse sur la biodiversité végétale en Tunisie’.

Habib, N. et al. (2020) ‘Floristic diversity of steppe vegetation in the region of Djelfa, North-West Algeria’, *Acta Botanica Malacitana*, 45, pp. 37–46. Available at: <https://doi.org/10.24310/abm.v45i.7987>.

Haddouchi, F., Chaouche, T.M. and Halla, N. (2016) ‘Screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d’Algérie’, *Phytothérapie* [Preprint].

Haddouchi, F., Chaouche, T.M. and Halla, N. (2018) ‘Screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d’Algérie’, *Phytotherapie*, 16(1), pp. S254–S262. Available at: <https://doi.org/10.3166/phyto-2019-0140>.

Hadjadj, S. et al. (2015) ‘Ethnobotanical study and phytochemical screening of six medicinal plants used in traditional medicine in the Northeastern Sahara of Algeria (area of Ouargla)’, *Journal of Medicinal Plants Research*, 9(41), pp. 1049–1059. Available at: <https://doi.org/10.5897/jmpr2015.5932>.

Hanhineva, K. et al. (2010) ‘Impact of Dietary Polyphenols on Carbohydrate Metabolism’, *International Journal of Molecular Sciences*, 11(4), pp. 1365–1402. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms11041365>.

Harborne, A.J. (1998) *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis*. 3rd ed. Edited by London: Chapman & Hall.

Heinrich, M. et al. (2009) ‘Ethnopharmacological field studies: A critical assessment of their conceptual basis and methods’, *Journal of Ethnopharmacology*, 124(1), pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.03.043>.

Heinrich, M. (2015) ‘Ethnopharmacology: A short history of a multidisciplinary field of research’, in *Ethnopharmacology*, pp. 3–9. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781118930717.ch1>.

Heinrich, M. et al. (2018) ‘Best practice in research: Consensus Statement on Ethnopharmacological Field Studies – ConSEFS’, *Journal of Ethnopharmacology*, 211(January), pp. 329–339.

Heinrich, M., Jalil, B., et al. (2022) ‘Best Practice in the chemical characterisation of extracts used in pharmacological and toxicological research—The ConPhyMP—Guidelines 12’, *Frontiers in Pharmacology*, 13(September). Available

at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.953205>.

Heinrich, M., Barnes, J., et al. (2022) *Fundamentals of Pharmacognosy and phytotherapy, 2d Edition*. 2nd edn. Elsevier. Available at: <https://z-lib.io/book/17563622>.

Heinrich, M. et al. (2023) *Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy, Economic Botany*. Elsevier. Available at: [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2005\)059\[0414:dfabre\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2005)059[0414:dfabre]2.0.co;2).

Heinrich, M. and Gibbons, S. (2001) 'Ethnopharmacology in drug discovery: an analysis of its role and potential contribution', *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 53(4), pp. 425–432. Available at: <https://doi.org/10.1211/0022357011775712>.

Heinrich, M. and Jager, A.K. (2015) *Ethnopharmacology*. Wiley Blackwell.

Helali, A., Benchachou, K. and Yagoub, S.A. (2022) 'Physician's acceptance and knowledge in herbal medicine : A cross-sectional study in Northwest Algeria', *Current Perspectives on Medicinal and Aromatic Plants*, 5, pp. 1–11.

Helmy, S.N., Ezzat, S.R. and Naguib, M.H. (2019) 'Antioxidant, antibacterial activities and phytochemical screening of *Asteriscus pygmaeus* aerial parts ethanolic extract', *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 09(03), pp. 041–046. Available at: <https://doi.org/10.30574/gscbps.2019.9.3.0218>.

Hemmami, H. et al. (2023) 'Desert Endemic Plants in Algeria: A Review on Traditional Uses, Phytochemistry, Polyphenolic Compounds and Pharmacological Activities', *Molecules*, 28(4), pp. 1–26. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules28041834>.

Herms, D.A. and Mattson, W.J. (1992) 'The Dilemma of Plants: To Grow or Defend', *The Quarterly Review of Biology*, 67(3), pp. 283–335.

Herrero, O. et al. (2012) 'Toxicological evaluation of three contaminants of emerging concern by use of the *Allium cepa* test', *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 743(1–2), pp. 20–24. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2011.12.028>.

HMPC (2006) *Guideline on good agricultural and collection practice (GACP) for starting materials of herbal origin.*, European Medicines Agency.

Holopainen, J.K. and Gershenzon, J. (2010) 'Multiple stress factors and the emission of plant VOCs', *Trends plant science*, 15(3), pp. 176–84. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.01.006>.

Huang, J. et al. (2023) 'Chlorogenic acid : a review on its mechanisms of anti-inflammation disease treatment , and related delivery systems', *Frontiers in Pharmacology*, 14. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1218015>.

Huffman, M.A. (1992) 'Origines animales de la médecine par les plantes', pp. 43–54.

Hussain, A. (2024) 'Potential Medicinal Uses of Plants From the *Asteraceae* (*Compositae*) Family in Pakistan: A Literature Review Based Meta-analysis', *Journal of Herbal Medicine*, 45(February), p. 100871. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2024.100871>.

Hwangbo, K. et al. (2012) 'Inhibition of DNA Topoisomerases I and II of Compounds from *Reynoutria japonica*', *Archives of Pharmacal Research*, 35(9), pp. 1583–1589. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12272-012-0909-x>.

Imieje, V.O. et al. (2021) 'Antileishmanial Derivatives of Humulene from *Asteriscus hierochunticus* with in silico Tubulin Inhibition Potential', *Records of natural products*, pp. 1–22. Available at: <https://doi.org/10.25135/rnp.253.21.01.1945>.

Imieje, V.O. et al. (2022) 'Antileishmanial derivatives of humulene from *Asteriscus hierochunticus* with in silico tubulin inhibition potential', *Records of Natural Products*, 16(2), pp. 150–171. Available at: <https://doi.org/10.25135/rnp.253.21.01.1945>.

Imieje, V.O., Falodun, A. and Zaki, A.A. (2022) 'In vitro Assessment of Antiprotozoal and Antimicrobial Activities of Fractions and Isolated Compounds from *Pallenis hierochuntica*', *Acta Chimica Slovenica*, 69(4), pp. 937–943. Available at: <https://doi.org/10.17344/acsi.2022.7762>.

ISE, I.S. of E. (2006) *The ISE Code of Ethics*. Available at: <http://ethnobiology.net/code-of-ethics/%0Ahttps://www.ethnobiology.net/>.

ISE, I.S. of E. (2008) *The ISE code of ethics*. Available at: <https://doi.org/10.1001/jama.1893.02420400024007>.

ISO (1990) *ISO 565:1990 Test sieves - Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet - Nominal sizes of openings*, Geneva: International Organization for Standardization. Available at: <https://www.iso.org/standard/4656.html>.

ISO (2016) *ISO 3310-1:2016 Test sieves - Technical requirements and testing - Part 1: Test sieves of metal wire cloth. 5th ed*, Geneva: International Organization for Standardization. Available at: <https://www.iso.org/standard/62410.html>.

IUCN (2025) *The IUCN Red List of Threatened Species*. Available at: <https://www.iucnredlist.org>.

Jaakola, L. (2013) 'New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits', *Plant Science*, 18(9), pp. 477–483.

Jafarinia, Mojtaba and Jafarinia, Morteza (2019) 'A review of medicinal properties of some asteraceae family plants on immune system', *Report of Health Care Review Article*, 5(2), pp. 1–7.

Jaiswal, Y., Liang, Z. and Zhao, Z. (2016) *Botanical drugs in Ayurveda and Traditional Chinese Medicine*, *Journal of Ethnopharmacology*. Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.06.052>.

Jameel, F. et al. (2015) *Quality by Design for Biopharmaceutical Drug Product Development*.

Jeddi, M., Ouaritini, Z.B. and Fikri-Benbrahim, K. (2021) 'Ethnobotanical study of medicinal plants in northern Morocco (Taounate): Case of Mernissa', *Ethnobotany Research and Applications*, 21(June). Available at: <https://doi.org/10.32859/ERA.21.35.1-23>.

Kamaraj, C. et al. (2022) 'Antiparasitic potential of asteraceae plants: A comprehensive review on therapeutic and mechanistic aspects for biocompatible drug discovery', *Phytomedicine Plus*, 2(4), p. 100377. Available at:

<https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2022.100377>.

Kamatou, G.P.P. and Viljoen, A.M. (2010) 'A Review of the Application and Pharmacological Properties of a-Bisabolol and a-Bisabolol-Rich Oils', *J Am Oil Chem Soc*, 87, pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1483-3>.

Kasali, F.M. et al. (2021) *Ethnomedical uses, chemical constituents, and evidence-based pharmacological properties of Chenopodium ambrosioides L.: extensive overview*. Future Journal of Pharmaceutical Sciences. Available at: <https://doi.org/10.1186/s43094-021-00306-3>.

Kaur, C., Kapoor, H.C. and Radical, F. (2002) 'Antioxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables', *Food chemistry*, 79(3), pp. 331–335.

Kazemnia, M., Mehrabi, A. and Mahmoudi, R. (2022) 'Chemical composition, biological activities, and nutritional application of Asteraceae family herbs: A systematic review', *Trends in Phytochemical Research*, 6(3), pp. 187–213. Available at: <https://doi.org/10.30495/tpr.2022.1954612.1248>.

Kew (2021) *Pallenis hierichuntica (Michon) Greuter, Royal Botanic Gardens*. Available at: <https://www.kew.org> (Accessed: 7 October 2025).

Kim, H.P. et al. (2004) 'Anti-inflammatory Plant Flavonoids and Cellular Action Mechanisms', *Journal of Pharmacological Sciences*, 96, pp. 229–245. Available at: <https://doi.org/10.1254/jphs.CRJ04003X>.

Kondža, M., Brzić, I. and Jokić, S. (2024) 'Flavonoids as CYP3A4 Inhibitors In Vitro', *Biomedicines*, 12(3), pp. 1–23. Available at: <https://doi.org/10.3390/biomedicines12030644>.

KSA Nature (no date) *Pallenis hierichuntica, kSA Nature*. Available at: https://www.ksanature.com/plants/pallenis_hierichuntica (Accessed: 8 October 2025).

Kulbat, K. (2016) 'The role of phenolic compounds in plant resistance', 80(2), pp. 97–108.

Kumar, K., Debnath, P. and Singh, S. (2023) 'An Overview of Plant Phenolics and Their Involvement in Abiotic Stress Tolerance', *stresses*, 3, pp. 570–585.

Kumar, S. and Pandey, A.K. (2013) 'Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview', *The Scientific World Journal*, 2013(1). Available at: <https://doi.org/10.1155/2013/162750>.

Kurek-górecka, A. et al. (2013) 'Structure and Antioxidant Activity of Polyphenols Derived from Propolis', *Molecules*, 19(1).

Lahlou, M.I.B.N.M. (2008) 'De la Plante au Médicament: Une Passerelle entre Tradition et Science'. Available at: <http://ao.um5.ac.ma/xmlui/handle/123456789/14553>.

Lange, B.M. et al. (2020) 'Organ-specificity of sterol and triterpene accumulation in Arabidopsis thaliana', *bioRxiv*, pp. 1–24. Available at: <https://doi.org/10.1101/2020.03.23.004358>.

Larcher, W. (2003) *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. 4th edn. Berlin: Springer-Verlag. Available at: <https://doi.org/10.7560/731455-001>.

Leme, D.M. and Marin-morales, M.A. (2009) 'Allium cepa test in environmental monitoring: A review on its application', *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, 682(1), pp. 71–81.

Leonti, M. and Casu, L. (2013) 'Traditional medicines and globalization: Current and future perspectives in ethnopharmacology', *Frontiers in Pharmacology*, 4 JUL(July), pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2013.00092>.

Leso, L.K. et al. (2017) 'Ethnobotany at a local scale: Diversity of knowledge of medicinal plants and assessment of plant cultural importance in the Polokwane local municipality, South Africa', *Botany Letters*, 164(1), pp. 93–102. Available at: <https://doi.org/10.1080/23818107.2016.1268064>.

Lewin, L. (1924) *Phantastica: Die betäubenden und erregenden Genussmittel*. Berlin: Georg Stilke.

Li, C. et al. (2022) 'Chemistry and Bioactivity of Marine-Derived Bisabolane Sesquiterpenoids: A Review', *Frontiers in chemistry*, 10(April), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.881767>.

Li, S. et al. (2018) 'Glandular trichomes as a barrier against atmospheric oxidative stress: relationships with ozone uptake, leaf damage and emission of LOX products across a diverse set of species', *Plant Cell Environ*, 41(6), pp. 1263–1277. Available at: <https://doi.org/10.1111/pce.13128>.

López-Lazaro, M. et al. (2022) 'Flavonoids as DNA Topoisomerase I Poisons', *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 17(1), pp. 25–9. Available at: <https://doi.org/10.1080/14756360290011744>.

López-lázaro, M. (2009) 'Distribution and Biological Activities of the Flavonoid Luteolin', *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 9, pp. 31–59.

Maalik, A. et al. (2016) 'Chlorogenic acid: A Pharmacologically potent molecule', *Acta poloniae pharmaceutica*, 73(4), pp. 851–854.

Mabry, T.J., Markham, K.R. and Thomas, M.B. (1970) *The Systematic Identification of Flavonoids*.

Macheroum, A. et al. (2021) 'Environmental drivers of taxonomic and phylogenetic diversity patterns of plant communities in semi-arid steppe rangelands of North Africa', *Ecological Indicators*, 132, p. 108279. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108279>.

Mahdjoub, R. (2022) 'Évolution du système éducatif algérien et enjeux d'avenir', *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, pp. 28–34. Available at: <https://doi.org/10.4000/ries.12680>.

Mailänder, L.K. et al. (2022) 'Phytochemical Characterization of Chamomile (*Matricaria recutita* L.) Roots and Evaluation of Their Antioxidant and Antibacterial Potential', *Molecules*, 27(23). Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules27238508>.

Malarz, J., Michalska, K. and Stojakowska, A. (2024) 'Polyphenols of the Inuleae-Inulinae and Their Biological Activities: A Review', *Molecules*, 29(9). Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules29092014>.

- Mansur, J. de S. et al. (1986)** ‘Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria / Determination of sun protection factor by spectrophotometry’, *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 61(3), pp. 121–124.
- Market Research Future (2023) *Herbal Medicine – Report by Market Research Future (MRFR)*, 28/03/2023. Available at: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/03/28/2635838/0/en/Herbal-Medicine-Market-Size-to-Hit-USD-356-Billion-by-2030-at-10-9-CAGR-Report-by-Market-Research-Future-MRFR.html>.
- Martin, G.J. (1995)** *Ethnobotany: A methods manual*. London: Ch.
- Marzouk, R.I. et al. (2021)** ‘Comparative Taxonomic Study of *Launaea* Cass. (Asteraceae , Cichorioideae) in Egypt’, *taxonomy*, pp. 192–209.
- Masoudi, S. and Abbassi, J. (2017)** ‘Antibacterial Activity and Comparison of the Volatile Oils of *Tanacetum tenuisetum* (Boiss.) Podl. Obtained by Three Different Methods of Extraction’, *J pharmaceutical research*, 16, pp. 188–196. Available at: <https://doi.org/10.22037/ijpr.2017.2008>.
- Matsubara, E. and Matsui, N. (2025)** ‘Volatile Essential Oils from Different Tree Species Influence Scent Impression and Physiological Response’, *Molecules*, 30, p. 3288.
- Mcdougall, G.J. et al. (2005)** ‘Different Polyphenolic Components of Soft Fruits Inhibit α -Amylase and α -Glucosidase’, *Journal of agricultural and food*, 53(7), pp. 2760–2766.
- Meddour, R. et al. (2022)** ‘Quantitative ethnobotanical investigation of medicinal plants used by the local population in the rural municipalities of Haizer and El Asnam, province of Bouira, Northern Algeria’, *Mediterranean Botany*, 43, pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.5209/MBOT.71190>.
- Miara, M.D., Bendif, H., et al. (2018)** ‘Ethnobotanical survey of medicinal plants used by nomadic peoples in the Algerian steppe’, *Journal of Ethnopharmacology*, 219(December 2017), pp. 248–256. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.03.011>.
- Miara, M.D., Ait, H.M., et al. (2018)** ‘Nouvelles données sur la flore endémique du sous-secteur de l’Atlas tellien Oranais “O3” (Algérie occidentale)’, *Acta Botanica Malacitana*, 43. Available at: <https://doi.org/10.24310/abm.v43i0.4453>.
- Miara, M.D., Hammou, M.A. and Aoul, S.H. (2013)** ‘Phytothérapie et taxonomie des plantes médicinales spontanées dans la région de Tiaret (Algérie)’, *Phytotherapie*, 11(4), pp. 206–218. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10298-013-0789-3>.
- Mibindzou, M. (2004)** *Screening phytochimique de deux espèces de plantes : Crotalaria retusa L (Papilionaceae) et Hallea ciliata Aubrev & Pellegr. (Rubiaceae) récoltées au Gabon*. Université de Bamako.
- Michel, J., Abd Rani, N.Z. and Husain, K. (2020)** ‘A Review on the Potential Use of Medicinal Plants From Asteraceae and Lamiaceae Plant Family in Cardiovascular Diseases’, *Frontiers in Pharmacology*, 11(5), p. 852. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00852>.
- Michon, J.H. (1852)** *Solution nouvelle de la question des Lieux saints , suivie d ’ une notice sur la véritable rose de Jéricho*. Paris.
- Miguel, M.G. (2010)** ‘Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Essential Oils : A Short Review’, *Molecules*, 15(12), pp. 9252–9287. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules15129252>.
- Miguel, M.G. (2016)** ‘Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: A short review’, *Molecules*, 15, pp. 9252–9287. Available at: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules15129252>.
- Milek, M. et al. (2022)** ‘The Study of Chemical Profile and Antioxidant Properties of Poplar-Type Polish Propolis Considering Local Flora Diversity in Relation to Antibacterial and Anticancer Activities in Human Breast Cancer Cells’, *Molecules*, 27(3), p. 725. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules27030725>.
- Mishra, A.K., Mishra, A. and Chattopadhyay, P. (2012)** ‘Assessment of in vitro sun protection factor of *Calendula officinalis* L. (Asteraceae) essential oil formulation’, *Journal of Young Pharmacists*, 4(1), pp. 17–21. Available at: <https://doi.org/10.4103/0975-1483.93575>.
- Mohammed, F.S., Uysal, İ. and Sevindik, M. (2023)** ‘A Review on Antiviral Plants Effective Against Different Virus Types’, *Prospects in Pharmaceutical Sciences*, 21(2), pp. 1–21. Available at: <https://doi.org/10.56782/paps.128>.
- Mohanta, Y.K. et al. (2023)** ‘Potential use of the Asteraceae family as a cure for diabetes: A review of ethnopharmacology to modern day drug and nutraceuticals developments’, *Frontiers in Pharmacology*, 14(August), pp. 1–27. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1153600>.
- Mukherjee, P.K. et al. (2021)** ‘*Withania somnifera* (L.) Dunal - Modern perspectives of an ancient Rasayana from Ayurveda’, *Journal of Ethnopharmacology*, 264(July 2020), p. 113157. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113157>.
- Mukherjee, P.K., Venkatesh, P. and Ponnusankar, S. (2010)** ‘Ethnopharmacology and integrative medicine-Let the history tell the future’, *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 1(2), pp. 100–109. Available at: <https://doi.org/10.4103/0975-9476.65077>.
- Mustafa, Y. and Suna Arıkan, E. (2008)** ‘Genotoxicity testing of quizalofop-P-ethyl herbicide using the allium cepa anaphase-telophase chromosome aberration assay’, *Caryologia*, 61(1), pp. 45–52. Available at: <https://doi.org/10.1080/00087114.2008.10589608>.
- Nadaf, M. et al. (2025)** ‘Ethnobotanical Knowledge, Chemistry, and Pharmacology of the Asteraceae Family in Iran: A Review’, *Ethnobotany Research and Applications*, 30. Available at: <https://doi.org/10.32859/era.30.09.1-27>.
- Najjaa, H. et al. (2011)** ‘Différences et similitudes des métabolites secondaires chez deux espèces du genre *Allium*, *Allium roseum* L. et *Allium ampeloprasum* L’, *Acta Botanica Gallica*, 158(1), pp. 111–123. Available at: <https://doi.org/10.1080/12538078.2011.10516259>.
- Narita, Y. and Inouye, K. (2009)** ‘Kinetic analysis and mechanism on the inhibition of chlorogenic acid and its

- components against porcine pancreas alpha-amylase isozymes I and II', *J Agric Food Chem*, 57(19), pp. 9218–25. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf9017383>.
- Narita, Y. and Inouye, K. (2011)** 'Inhibitory effects of chlorogenic acids from green coffee beans and cinnamate derivatives on the activity of porcine pancreas alpha-amylase isozyme I', *Food Chemistry*, 127(4), pp. 1532–1539.
- Nedjraoui, D. (2006)** 'FAO Country pasture / forage resource profiles: Algeria', *Food and Agriculture Organisation of the United Nations*, pp. 6–28. Available at: https://ees.kuleuven.be/eng/klimos/toolkit/documents/648_Algeria.pdf.
- Nejati, M. et al. (2021)** 'Phytochemical analysis and antibacterial activity of *Eryngium pyramidale* Boiss. & Hausskn', *J. Chil. Chem. Soc.*, 66(2), pp. 5230–5236.
- Nelson, A.S. and Whitehead, S.R. (2021)** 'Fruit secondary metabolites shape seed dispersal effectiveness', *Trends in Ecology and Evolution*, 36(12), pp. 1113–1123. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.08.005>.
- Nieuwenhuizen, N.J. et al. (2009)** 'Two terpene synthases are responsible for the major sesquiterpenes emitted from the flowers of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*)', *Journal of Experimental Botany*, 60(11), pp. 3203–3219. Available at: <https://doi.org/10.1093/jxb/erp162>.
- Nist, C. (2025)** (6R,7R)-Bisabolone.
- OMS (2023)** *Médecine traditionnelle: questions et réponses*, Genève : Organisation mondiale de la Santé. Available at: <https://www.who.int/fr/news-room/questions-and-answers/item/traditional-medicine-questions-and-answers>.
- Ong, K.W. et al. (2012)** 'Chlorogenic acid stimulates glucose transport in skeletal muscle via AMPK activation: a contributor to the beneficial effects of coffee on diabetes', *PLoS ONE*, 7(3). Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032718>.
- Ono, M. et al. (2005)** 'New Bisabolane-Type Sesquiterpenes from the Aerial Parts of *Lippia dulcis*', *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 53(9), pp. 1175–1177. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1248/cpb.53.1175>.
- Osborn, A., Goss, R.J.M. and Field, R.A. (2011)** 'The saponins-polar isoprenoids with important and diverse biological activities', *Natural Product Reports*, 28(7), pp. 1261–1268. Available at: <https://doi.org/10.1039/c1np00015b>.
- Ouadah-bedidi, Z. (2016)** *Inégalités d'instruction hommes-femmes en Algérie: quand les écarts s'inversent*, Documents de travail. Paris.
- Ouadah-Bedidi, Z. (2018)** 'Gender Inequity in Education in Algeria: When Inequalities are Reversed', *Journal of Education & Social Policy*, 5(2). Available at: <https://doi.org/10.30845/jesp.v5n2a10>.
- Ouasti, M., Lesne, G. and Bussmann, R.W. (2024)** '*Pallenis spinosa* (L.) Cass. Asteraceae', in *Ethnobotany of Northern Africa and Levant*, p. pp.1515-1516. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-43105-0>.
- Oyaizu, M. (1986)** 'Studies on Products of Browning Reaction. Antioxidative Activities of Products of Browning Reaction Prepared from Glucosamine.', *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44(6), pp. 307–315. Available at: <https://doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.44.307>.
- Ozenda, P. (1958)** *Flore du Sahara septentrional et central*.
- Pallarés, N. et al. (2025)** 'Green and Innovative Extraction: Phenolic Profiles and Biological Activities of Underutilized Plant Extracts Using Pulsed Electric Fields and Maceration', *Foods*, 14(2), pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.3390/foods14020222>.
- Pan, S. et al. (2014)** 'Historical Perspective of Traditional Indigenous Medical Practices: The Current Renaissance and Conservation of Herbal Resources', *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014(1). Available at: <https://doi.org/10.1155/2014/525340>.
- Panche, A.N., Diwan, A.D. and Chandra, S.R. (2016)** 'Flavonoids: an overview', *Journal of nutritional science*, 5, pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>.
- Pang, C.Y. et al. (2012)** 'In vitro modulatory effects of flavonoids on human cytochrome P450 2C8 (CYP2C8)', *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 385(5), pp. 495–502. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00210-012-0731-5>.
- Park, Y.J. et al. (2023)** 'Identification of drought- responsive phenolic compounds and their biosynthetic regulation under drought stress in *Ligularia fischeri*', *Frontiers in Plant Science*, (February), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1140509>.
- Parween, R. and Marchant, R. (2022)** 'Traditional knowledge and practices, sacred spaces and protected areas, technological progress: Their success in conserving biodiversity', *Conservation Science and Practice*, 4(5), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1111/csp2.12643>.
- Pavithra, T.K. et al. (2015)** 'Evaluation of in vitro Anti-Arthritic Activity of *Vitex negundo* against the Denaturation of Protein', *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(9), pp. 87–90.
- PBSWM (2023)** *Pallenis hierichuntica*, *Plant Biodiversity of South-Western Morocco*.
- Pelt, J.-M. (1981)** *La médecine par les plantes*. Available at: http://scholar.google.com.hk/scholar?start=20&q=%22Elizabeth+Comber%22&hl=en&as_sdt=0,5&as_ylo=1917&as_yhi=2013#5.
- Perez-Chauca, E., Saldaña-Bobadilla, V. and Minchán-Herrera, P. (2020)** 'Etnobotánica, farmacología, fitoquímica y usos medicinales de huamanpinta en el Perú – *Chuquiraga spinosa* Less. (Asteraceae)', *Ethnobotany Research and Applications*, 19. Available at: <https://doi.org/10.32859/era.19.22.1-13>.
- Pérez, C., Pauli, M. and Bazerque, P. (1990)** 'An antibiotic assay by agar well diffusion method', *Acta Biologiae et Medicinæ Experimentalis*, 15, pp. 113–115.
- Phillips, O.L. and Gentry, A.H. (1993)** 'The useful plants of Tampuan, Peru: II. Additional hypothesis testing in quantitative ethnobotany.', *Economic Botany*, 47(1), pp. 33–43.

- Pichersky, E. and Gershenzon, J. (2002)** ‘The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense’, pp. 237–243.
- Pietta, P.-G. (2000)** ‘Flavonoids as Antioxidants’, *Journal of Natural products*, 63(7), pp. 1035–1042. Available at: <https://doi.org/10.1021/np9904509>.
- Pignatti, S. (1982)** *FLORA D’ITALIA*. Bologna: Edagricole.
- Ping, K.Y. et al. (2012)** ‘Genotoxicity of euphorbia hirta: An *Allium cepa* assay’, *Molecules*, 17(7), pp. 7782–7791. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules17077782>.
- Pinton, F. and Grenand, P. (2007)** ‘Savoirs traditionnels, populations locales et ressources globalisées’, in *Les marchés de la biodiversité*, pp. 166–263.
- Piparo, E. Lo et al. (2008)** ‘Flavonoids for controlling starch digestion: structural requirements for inhibiting human alpha-amylase’, *J Med Chem*, 51(12), pp. 3555–61. Available at: <https://doi.org/10.1021/jm800115x>.
- Pirintzos, S. et al. (2022)** ‘From Traditional Ethnopharmacology to Modern Natural Drug Discovery: A Methodology Discussion and Specific Examples’, *Molecules*, 27(13), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules27134060>.
- Poole, K. (2001)** ‘Multidrug efflux pumps and antimicrobial resistance in *Pseudomonas aeruginosa* and related organisms’, *J Mol Microbiol Biotechnol*, 3(2), pp. 255–64.
- POWO (2021)** *Pallenis hierochuntica* (Michon) Greuter, *Plants of the world online*. Available at: <https://powo.science.kew.org/taxon/999902-1>.
- POWO (2024)** *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter, *Royal Botanic Gardens, Kew*. Available at: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn%3Aalsid%3Aaipni.org%3Aanames%3A999902-1/general-information> (Accessed: 8 October 2025).
- Preethi, K.C., Kuttanb, G. and Kuttan, R. (2009)** ‘Anti-inflammatory activity of flower extract of *Calendula officinalis* Linn. and its possible mechanism of action’, *Indian Journal of Experimental Biology*, 47(2), pp. 113–120.
- Prior, R.L., Wu, X. and Schaich, K. (2005)** ‘Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements’, *Agricultural and Food Chemistry*, 53(10).
- Procházková, D., Bousová, I. and Wilhelmová, N. (2011)** ‘Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids’, *Fitoterapia*, 82(4), pp. 513–23. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2011.01.018>.
- Quezel, P. and Santa, S. (1963)** *Nouvelle Flore de l’Algérie et des régions désertiques méridionales Tome 2*, *Journal of Chemical Information and Modeling*. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.
- Ramesh, M.M., Shankar, N.S. and Venkatappa, A.H. (2024)** ‘Driving/Critical Factors Considered During Extraction to Obtain Bioactive Enriched Extracts’, *Pharmacognosy Reviews*, 18(35), pp. 68–81. Available at: <https://doi.org/10.5530/phrev.2024.18.7>.
- Ramos, P.A.B. et al. (2014)** ‘Phenolic composition and antioxidant activity of different morphological parts of *Cynara cardunculus* L. var. *altilis* (DC)’, *Industrial Crops & Products*, 61(November), pp. 460–471.
- Rank, J. and Nielsen, M.H. (1997)** ‘*Allium cepa* anaphase-telophase root tip chromosome aberration assay on N-methyl-N-nitrosourea, maleic hydrazide, sodium azide, and ethyl methanesulfonate’, *Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 390, pp. 121–127.
- Rao, M.J. and Zheng, B. (2025)** ‘The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Tolerance and Their Antioxidant Properties to Scavenge Reactive Oxygen Species and Free Radicals’, *Antioxidants*, 14(1). Available at: <https://doi.org/10.3390/antiox14010074>.
- Ratnasooriya, W.D. et al. (2016)** ‘Evaluation of in vitro sun screen activities of salt marshy plants *Suaeda monoica*, *Suaeda maritima* and *Halosarcia indica*’, *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*, 5(2), pp. 15–20. Available at: www.ijpras.com.
- Re, R. et al. (1999)** ‘Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay’, *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), pp. 1231–1237. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3).
- Riefner, R.E. and Greuter, W. (2012)** ‘*Pallenis maritima* (Asteraceae) new to California, with notes on recent introductions of salt-tolerant ornamental plants’, *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 6(2), pp. 621–629.
- Ritz, C. et al. (2015)** ‘Dose-Response Analysis Using R’, *PLoS ONE*, (10), p. 12. Available at: <https://doi.org/doi.org/10.1371/journal.pone.0146021>.
- Rizk, A.M. and Al-Nowaihi, A.S. (1990)** *The phytochemistry of the horticultural plants of Qatar*. Doha: University of Qatar. Available at: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)83685-e](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83685-e).
- Rocha, N. (2011)** ‘Anti-nociceptive and anti-inflammatory activities of (–)- α -bisabolol in rodents’. Available at: <https://doi.org/10.1007/S00210-011-0679-X>.
- Rolnik, A. and Olas, B. (2021)** ‘The plants of the asteraceae family as agents in the protection of human health’, *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms22063009>.
- Ruzin, S.E. (1999)** *Plant Microtechnique and Microscopy*, *Taxon*. Available at: <https://doi.org/10.2307/1224595>.
- Sadgrove, N.J., Padilla-gonzález, G.F. and Leuner, O. (2021)** ‘Pharmacology of Natural Volatiles and Essential Oils in Food, Therapy, and Disease Prophylaxis’, *Frontiers in Pharmacology*, 12, pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.740302>.
- Sadique and et al. (1989)** ‘The bioactivity of certain medicinal plants on the stabilization of RBC membrane system’, *Fitoterapia*, 60, pp. 525–532. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2017.08.002>.
- Sadou, N. (2017)** Etude phytochimique et activité biologique de quelques Plantes Médicinales de l’Est algérien [Thèse

de doctorat, Université Badji Mokhtar - Annaba].

- Sadou, N., Gali, L., Seridi, R., Bruno, M., & Bendif, H. (2024)** Phytochemical profile, in vitro antioxidant and antibacterial activities of different extracts of an Algerian endemic: *Teucrium atratum*. *Natural Product Research*, 1-10.
- Saewan, N. and Jimtaisong, A. (2013)** 'Photoprotection of natural flavonoids', *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(9), pp. 129–141. Available at: <https://doi.org/10.7324/JAPS.2013.3923>.
- Sakat, S.S., Juvekar, A.R. and Gambhire, M.N. (2010)** 'In-vitro antioxidant and anti-inflammatory activity of methanol extract of *Oxalis corniculata* Linn', *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2(1), pp. 146–155.
- Salachna, P., Pietrak, A. and Łopusiewicz, L. (2021)** 'Antioxidant Potential of Flower Extracts from *Centaurea* spp. Depends on Their Content of Phenolics, Flavonoids and Free Amino Acids', *Molecules*, 26(7465), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules26247465>.
- Sales, P.M. De et al. (2012)** 'α -Amylase Inhibitors : A Review of Raw Material and Isolated Compounds from Plant Source', *J Pharm Pharmaceut Sci*, 15(1), pp. 141–183.
- Salunke, P. and Koche, D. (2023)** 'Role of Phenolic compounds in plant defense mechanism: An updated review', *Indian J. Applied & Pure Bio*, 38(3), pp. 1199–1215.
- Šamec, D. et al. (2021)** 'The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Response : The Influence of Molecular Structure', *Plants*, 10(1).
- dos Santos Dantas Lima, L. et al. (2024)** 'The Meaning of Plants' Names: A New Discovering Approach to Its Medicinal and/or Toxic Properties', *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2024, pp. 1–26. Available at: <https://doi.org/10.1155/2024/6678557>.
- Sanz, J.F. and Marco, J.A. (1991)** *A germacrane derivative from *Pallenis spinosa*, FAO: Agris.*
- Sayre, R.M. et al. (1979)** 'A Comparison of in Vivo and in Vitro Testing of Sunscreening Formulas', *Photochemistry and Photobiology*, 29(3), pp. 559–566. Available at: 003 I -8655'79/0301-055.
- Schultes, R.E. and Hofmann, A. (1979)** *Plants of the Gods: Origins of Hallucinogenic Use*. New York: McGraw-Hill.
- Seger, C., Sturm, S. and Stuppner, H. (2013)** 'Mass spectrometry and NMR spectroscopy : modern high-end detectors for high resolution separation techniques--state of the art in natural product HPLC-MS , HPLC-NMR , and CE-MS hyphenations', *Nat. Prod. Rep.*, 30(7). Available at: <https://doi.org/10.1039/c3np70015a>.
- Selmar, D. and Kleinwächter, M. (2013)** 'Stress enhances the synthesis of secondary plant products : the impact of stress-related over- reduction on the accumulation of natural products', *Plant Cell Physiol*, 54(6), pp. 817--26. Available at: <https://doi.org/10.1093/pcp/pct054>.
- Senavore, F. and Bruno, M. (2003)** 'Composition of the essential oil of *Pallenis spinosa* (L .) Cass. (Asteraceae)', *FLAVOUR AND FRAGRANCE JOURNAL*, 18, pp. 195–197. Available at: <https://doi.org/10.1002/ffj.1180>.
- Senoussi, A. et al. (2020)** 'Botanical composition and aroma compounds of semi-arid pastures in Algeria', (June), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.1111/gfs.12510>.
- Seregheti, T.M.O. et al. (2020)** 'Antiproliferative and photoprotective activities of the extracts and compounds from *Calea fruticosa*', *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 53(9). Available at: <https://doi.org/10.1590/1414-431X20209375>.
- Shahidi, F. and Zhong, Y. (2015)** 'Measurement of Antioxidant Activity', *Journal of functional foods*, 18, pp. 757–781. Available at: <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>.
- Shende, S.M. (2024)** 'Bioactive Compounds in Diabetes Management : Antidiabetic Properties and Therapeutic Potential', *African Journal of Biomedical Research*, 27(3), pp. 2024–2026.
- Silva, D. et al. (2021)** 'Anti-inflammatory activity of *Calendula officinalis* l. Flower extract', *Cosmetics*, 8(2), pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.3390/cosmetics8020031>.
- Silva, H.C.H. et al. (2014)** 'Evaluating different methods used in ethnobotanical and ecological studies to record plant biodiversity', *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10(1), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-48>.
- Singh, D. et al. (2013)** 'In-Vitro Anti-Inflammatory and Anti-Arthritic Activity of Hydroalcoholic Extract of *Pongamia Pinnata* (L .)', *International Journal of Pharma Research*, 2(12), pp. 20–25.
- Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R.M. (1999)** '[14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent', *Methods in Enzymology*, 299, pp. 152–178. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
- Singleton, V.L. and Rossi, J.A. (1965)** 'Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents', *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), pp. 144–158. Available at: <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>.
- Sitarek, P. et al. (2024)** 'Flavonoids and their derivatives as DNA topoisomerase inhibitors with anti-cancer activity in various cell models : Exploring a novel mode of action', *Pharmacological Research*, 209(November), p. 107457. Available at: doi.org/10.1016/j.phrs.2024.107457.
- de Smet, P.A.G.M. and Rivier, L. (1989)** 'A general outlook on ethnopharmacology', *Journal of Ethnopharmacology*, 25(2), pp. 127–138. Available at: [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(89\)90014-7](https://doi.org/10.1016/0378-8741(89)90014-7).
- Sobakin, Ff.E. et al. (2022)** 'Évaluation ethno-médicinale des plantes herbacées en zone Guinéo-Congolaise du Bénin', *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 10(3), pp. 418–427. Available at: www.agrimaroc.org.
- Sofiane, I. (2018)** *Propriétés phytochimiques et pharmacologiques de deux Plantes Médicinales du Nord-est d'Algérie : *Calendula suffruticosa* subsp *suffruticosa* Vhal. et *Fumaria capreolata* L.*
- Souilah, N. et al. (2018)** 'Ethnobotanical study of medicinal and aromatic plants used by the population National Park

- of El Kala (north-eastern Algeria)', *International Journal of Biosciences (IJB)*, 12(4), pp. 55–77. Available at: <https://doi.org/10.12692/ijb/12.4.55-77>.
- St-gelais, A. (2014)** *L'extraction d'huiles essentielles en laboratoire, Phytochemia*.
- Stashenko, E.E. and Martinez, J.R. (2017)** 'Identification of Essential Oil Components', in *Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications*.
- Steinbrinck, V.C. and Schinz, H. (1908)** 'Über die anatomische Ursache der hydrochastischen Bewegungen der sog. Jerichorosen und einiger anderer Wüstenpflanzen (Anastatica, Odontospermum, Geigeria, Fagonia, Zygophyllum)', *Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung*, 98(4), pp. 471–500. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0367-1615\(17\)32249-8](https://doi.org/10.1016/s0367-1615(17)32249-8).
- Sulsen, V.P. et al. (2017)** 'Potential of Terpenoids and Flavonoids from Asteraceae as Anti-Inflammatory, Antitumor, and Antiparasitic Agents', *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2017(1), pp. 6–9. Available at: <https://doi.org/10.1155/2017/6196198>.
- Tadera, K. et al. (2006)** 'Inhibition of alpha-Glucosidase and alpha-Amylase by Flavonoids', *Nutr Sci Vitaminol*, 52, pp. 149–153.
- Takó, M. et al. (2020)** 'Plant phenolics and phenolic-enriched extracts as antimicrobial agents against food-contaminating microorganisms', *Antioxidants*, 9(2). Available at: <https://doi.org/10.3390/antiox9020165>.
- Tallarida, A.R.J. and Murray, R.B. (1987)** *Manual of pharmacologic calculations with computer programs*. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4974-0>.
- Tardío, J. and Pardo-De-Santayana, M. (2008)** 'Cultural importance indices: A comparative analysis based on the useful wild plants of southern Cantabria (northern Spain)', *Economic Botany*, 62(1), pp. 24–39. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12231-007-9004-5>.
- Teppner, H. (1995)** 'The correct name of *Asteriscus hierichunticus* (Asteraceae-Inuleae), a False Rose of Jericho'', *Phyton - Annales Rei Botanicae*, 35(1), pp. 79–82.
- Terniche, N. and Tahanout, F. (2018) *Contribution à une enquête ethnobotanique des plantes médicinales dans la wilaya de Tizi Ouzou*. Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.
- Terpner, H. (1995)** 'The Correct Name of *Asteriscus hierichunticus* (Asteraceae-Inuleae) a "False Rose of Jericho"', *Phyton (Horn, Austria)*, 35(1), pp. 79–82.
- Tessier, M. (2020)** *Asteraceae : Characteristics , Distribution and Ecology*. New York: Nova Science Publishers.
- Thieret, J.W. (1982)** 'Flora Palaestina. Part three, ericaceae to compositae', in *Economic Botany*, pp. 99–99. Available at: <https://doi.org/10.1007/bf02858704>.
- Tozin, L.R.S. and Marques, M.O.M. (2015)** 'Glandular trichome density and essential oil composition in leaves and inflorescences of *Lippia origanoides* Kunth (Verbenaceae) in the Brazilian Cerrado', *Anais da Academia Brasileira de Ciências (2015)*, 87(2), pp. 943–953.
- Trinh, P.C. et al. (2020)** 'DPPH-Scavenging and Antimicrobial Activities of Asteraceae Medicinal Plants on Uropathogenic Bacteria', *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1155/2020/7807026>.
- Tropicos (2021)** '*Pallenis hierochuntica* Greuter', p. 50150337.
- Trotter, R.T. et al. (1986)** 'Informant Consensus: A New Approach for Identifying Potentially Effective Medicinal Plants'. Available at: <https://doi.org/10.4324/9781315060385-6>.
- Tušek, A.J. et al. (2016)** 'Kinetics and thermodynamics of the solid-liquid extraction process of total polyphenols , antioxidants and extraction yield from Asteraceae plants', 91, pp. 205–214. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.015>.
- Tutin, T.G. et al. (1976)** *Flora Europaea: Plantaginaceae to Compositae (and Rubiaceae)*. Available at: <http://books.google.com.co/books?id=QXRrootqAVMC>.
- Ullah, R. et al. (2020)** 'A review on ethno-medicinal plants used in traditional medicine in the Kingdom of Saudi Arabia', *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(10), pp. 2706–2718. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.020>.
- Vickers, C.E. et al. (2009)** 'A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress', *PubMed*, 5(5), pp. 283–91. Available at: <https://doi.org/10.1038/nchembio.158>.
- Vora, L.K. et al. (2024)** 'Essential oils for clinical aromatherapy: A comprehensive review', *Journal of ethnopharmacology*, 330(August), p. 118180.
- Wang, G. et al. (2021)** 'Biological Activities and Chemistry of Triterpene Saponins from *Medicago* Species: An Update Review', *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1155/2021/6617916>.
- War, A.R. et al. (2012)** 'Mechanisms of plant defense against insect herbivores', *Plant signal behav.*, 7(10), pp. 1306–1320. Available at: <https://doi.org/10.4161/psb.21663>.
- Weldegerima, B. (2009)** 'Review on the importance of documenting ethnopharmacological information on medicinal plants', *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 3(9), pp. 400–403.
- Weniger, B. and Bourdy, G. (2008)** 'Ethnopharmacologie et innovation thérapeutique un défi pour le XXIe siècle?', *Biofutur*, 290, pp. 41–44.
- WFO (2024)** *Pallenis hierochuntica (Michon) Greuter, The world flora online*. Available at: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000040514>.
- WFO (2025)** *The World Flora Online*. Available at: <https://www.worldfloraonline.org/>.
- Whitehead, S.R. and Bowers, M.D. (2014)** 'Chemical ecology of fruit defence: Synergistic and antagonistic

interactions among amides from Piper', *Functional Ecology*, 28(5), pp. 1094–1106. Available at: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12250>.

WHO (2003) *WHO guidelines on good agricultural and collection practices (GACP) for medicinal plants*, World Health. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42783/9241546271.pdf?sequence=1>.

WHO (2013) *WHO Traditional Medicine Strategy 2014-2023*, World Health Organization (WHO). Available at: <https://doi.org/2013>.

WHO (2018) *Traditional and complementary medicine in primary health care, Health systems and services*. Available at: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/326299/WHO-HIS-SDS-2018.37-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Accessed: 9 October 2025).

Wiklund, A. (1985) 'The genus *Asteriscus* (Asteraceae-Inuleae)', *Nord. J. Bot.*, 5(4), pp. 299–314.

Williamson, E.M. (2001) 'Synergy and other interactions in phytomedicines', *Phytomedicine*, 8(5), pp. 401–409. Available at: <http://www.urbanfischer.de/journals/phytomed%0APhytomedicine>.

Wink, M. et al. (2010) *Annual Plant Reviews Volume 40 : Biochemistry of Plant Secondary Metabolism*. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781444320503>.

Wölfle, U., Haarhaus, B. and Schempp, C.M. (2013) 'The photoprotective and Antioxidative Properties of Luteolin are Synergistically Augmented by Tocopherol and Ubiquinone', *Planta Medica*, 79(11), pp. 963–965. Available at: <https://doi.org/10.1055/s-0032-1328716>.

Wu, J.H. et al. (1996) 'Antioxidant and anti-inflammatory activities of some common essential oils', *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(4), pp. 481–486. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6181-4_1.

Xiao, J. (2017) 'Dietary flavonoid aglycones and their glycosides : Which show better biological significance?', *Crit Rev Food Sci Nutr*, 57(9), pp. 1874–1905. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1032400>.

Yabrir, B. et al. (2019) 'Ethnobotanique de la flore spontanée médicinale d'un milieu extrême (rocher de sel) de la région de Djelfa-Algérie- Ethnobotany of the spontaneous medicinal flora of an extreme env...', *PhytoChem & BioSub Journal*, 13(1). Available at: doi:10.163.pcbjsj/2019.13.- 1- 46.

Yeung, A.W.K. et al. (2019) 'The ethnopharmacological literature: An analysis of the scientific landscape', *Journal of Ethnopharmacology*, 250. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112414>.

Yilmaz, M.A. (2020) 'Simultaneous quantitative screening of 53 phytochemicals in 33 species of medicinal and aromatic plants: A detailed, robust and comprehensive LC–MS/MS method validation', *Industrial Crops & Products*, 149(December 2019), p. 112347. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112347>.

Yoshida, N. et al. (2013) 'Inhibitory effects of catechin derivatives on mammalian DNA polymerase and topoisomerase activities and mouse one-cell zygote development', *J. Biosci Bioeng*, 115(3), p. 303. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2012.10.001>.

Yu, S.Y. et al. (2013) 'Phenolic composition, antioxidant activity and anti-adipogenic effect of hot water extract from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed', *Nutrients*, 5(12), pp. 4894–4907. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu5124894>.

Yuan, M. et al. (2022) 'The Role of Bioactive Compounds in Natural Products Extracted from Plants in Cancer Treatment and Their Mechanisms Related to Anticancer Effects', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022, pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.1155/2022/1429869>.

Zamani, S. et al. (2025) 'Phytochemical profile and antioxidant activity of *Dracocephalum kotschy* boiss. affected by environmental conditions of cultivation regions', *BMC Plant Biology*, 25(968), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06949-1>.

Zar, J.H. (2010) *Biostatistical analysis*.

Zatout, F. et al. (2021) 'Ethnobotanical investigation on medicinal plants used by local populations in tlemcen national park (extreme North West Algeria)', *Mediterranean Botany*, 42, pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.5209/MBOT.69396>.

Zengin, G. et al. (2014) 'A comprehensive study on phytochemical characterization of *Haplophyllum myrtifolium* Boiss. endemic to Turkey and its inhibitory potential against key enzymes involved in Alzheimer, skin diseases and type II diabetes', *Industrial Crops and Products*, 53, pp. 244–251. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.043>.

Zhang, J. and Kashket, S. (1998) 'Inhibition of salivary amylase by black and green teas and their effects on the intraoral hydrolysis of starch', *Caries Res*, 32(3), p. 1998. Available at: <https://doi.org/10.1159/000016458>.

Zhou, F. and Pickersky, E. (2020) 'More is better : the diversity of terpene metabolism in plants', *Current opin plant biol*, pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.01.005>.

Zohary, M. (1966) *Flora Palaestina*. Partie 1,.

Zoratti, L. et al. (2014) 'Light-controlled flavonoid biosynthesis in fruits', *Frontiers in Plant Science*, 5(October), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00534>.

Annexes

Annexes :

Annexe 1: Métabolites rapportés chez *Pallenis hierichuntica* et principales activités biologiques associées

Tableau 1 : Principaux métabolites de *Pallenis hierichuntica* et activités biologiques associées

Classe de composés	Principaux métabolites identifiés	Activités biologiques rapportées	Références
Sesquiterpènes	α -Humulène, caryophyllène oxyde, sesquiterpènes oxygénés	Antimicrobienne, antiplasmodiale, antileishmanienne	Imieje, Falodun & Zaki, 2022; Imieje et al., 2021
Diterpènes	Divers diterpènes non spécifiés	Antimicrobienne	Imieje, Falodun & Zaki, 2022
Flavonoïdes	Divers flavonoïdes	Antimicrobienne, antioxydante	Imieje, Falodun & Zaki, 2022
Acides gras	Acide stéarique	Antimicrobienne	Imieje, Falodun & Zaki, 2022
Composés phénoliques	Divers	Antioxydante	Imieje, Falodun & Zaki, 2022

Annexe 2 : Matériel et Méthodes d'analyse physico-chimique du sol du site d'étude de *Pallenis hierichuntica* à Betita, Bir El Ater (Tébessa)

L'étude a été réalisée dans la région aride de Bétita (wilaya de Tébessa, Algérie orientale), sur une parcelle naturelle abritant des populations spontanées de *Pallenis hierichuntica* (Michon) Greuter.

Des échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur de 0-20 cm, selon un schéma en W couvrant la totalité du site, afin d'obtenir un échantillon composite représentatif d'environ 1 kg. Les échantillons ont été séchés à l'air libre, tamisés à 2 mm, puis analysés au laboratoire agronomique FERTIAL (Annaba) conformément aux normes ISO/AFNOR en vigueur.

Les analyses ont porté sur la texture (ISO 11277), le pH (ISO 10390), la conductivité électrique (ISO 11265), la matière organique (Walkley & Black, ISO 14235), le calcaire total (ISO 10693), le phosphore assimilable (méthode Olsen), les cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ; ISO 23470) et l'azote total (ISO 11261). Un contrôle qualité rigoureux (duplicatas, étalons) a été appliqué.

Les résultats montrent un sol sablo-limoneux alcalin (pH 8,9), faiblement salé (CE = 0,17 mS/cm) et pauvre en matière organique (0,31 %), traduisant une faible fertilité naturelle. Le calcium échangeable élevé (33,2 méq/100 g) et le phosphore faible indiquent un déséquilibre cationique typique des sols calcimagnésiens (Figure A2).

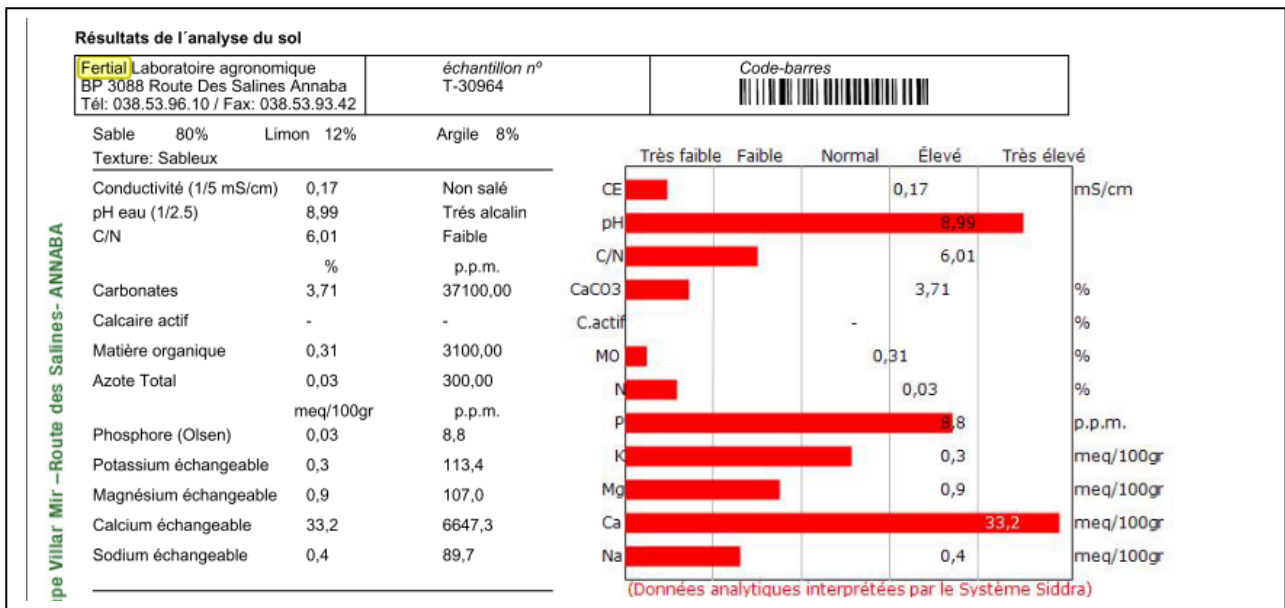


Figure A2 : Résultats de l'analyse physico-chimique du sol du site de Betita (Tébessa, Algérie)

Annexe 3 : Attestation d'identification de *Pallenis hierichuntica*

Identification botanique confirmée par Dr BENHOUHOU Salima (École Nationale Supérieure Agronomique, Alger).



Figure A3 : Attestation d'identification de *Pallenis hierichuntica*

Annexe 4 : Photographies du site d'étude (région de Betita)



Figure A4 : Vue du site d'échantillonnage de *Pallenis hierichuntica*, caractérisé par un substrat pierreux à sablo-limoneux et une couverture végétale très clairsemée. Photographie prise par HARSA Bouchra à Betita en 2019.

Annexe 5 : Photographies des organes végétatifs de *Pallenis hierichuntica*

Cette annexe présente les photographies et notes d'observation obtenues à l'aide d'un stéréomicroscope Leica (modèle binoculaire, éclairage incident et transmis).

Les clichés montrent la morphologie externe des organes végétatifs et reproducteurs :

- Racine : structure pivotante, légèrement fibreuse à la base.
- Tige : pubescente, ramifiée dès la base.
- Feuille : spatulée à obovale, marge entière, face inférieure densément pubescente.
- Inflorescence : capitule terminal entouré de bractées involucrelles imbriquées.

Ces observations ont permis de sélectionner les fragments représentatifs destinés à l'analyse histologique (coupes fines des tissus foliaires et caulinaires).

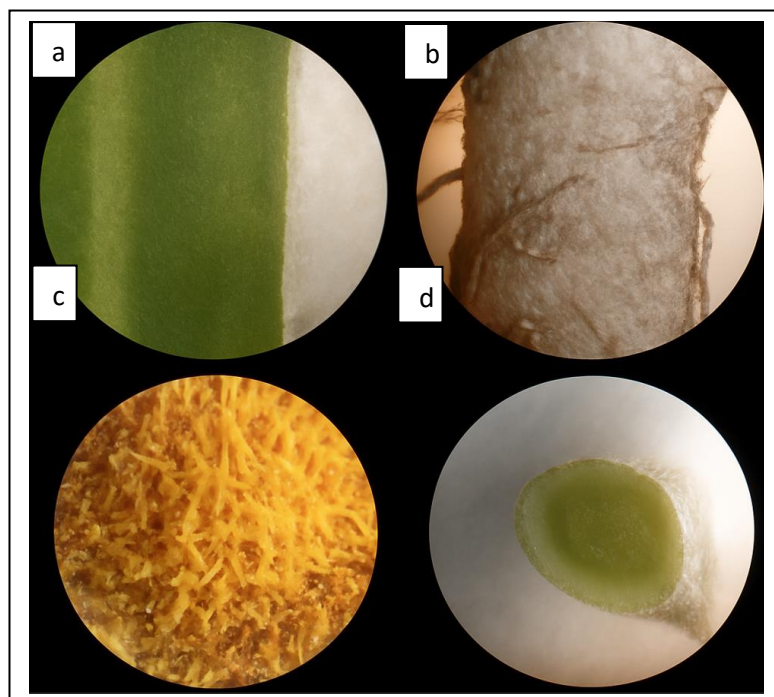


Figure A5 : a-d. Observations morphologiques de *Pallenis hierichuntica* au stéréomicroscope Leica : a. Feuille, b. Racine, c. Inflorescence, d. Section apicale de tige.

Annexe 6 : Questionnaire d'enquête ethnopharmacologique sur les usages traditionnels de *Pallenis hierichuntica* dans la wilaya de Tébessa

Usages traditionnels de la plante *Pallenis hierichuntica* dans la wilaya de Tébessa

Étude ethnopharmacologique menée dans quatre communes rurales :

Bir El Ater – El Houdjbet – El Ogla – Bir Dheb

Chercheuse : [HARSA Bouchra]

Date :

Lieu de l'entretien :

Code du participant :

1. Informations générales

- Âge :
- Sexe : Homme Femme
- Niveau d'instruction :
 Non scolarisé Primaire Secondaire Universitaire
- Profession :
- Commune :
 Bir El Ater El Houdjbet El Ogla Bir Dheb

2. Sources et transmission du savoir

1. Comment avez-vous appris l'usage des plantes médicinales ?
 Famille Expérience personnelle Voisins / amis Praticiens traditionnels (herboristes, guérisseurs, etc.) Autre :
2. Transmettez-vous ces connaissances à d'autres personnes ?
 Oui Non
 Si oui, à qui ?

3. Usages thérapeutiques des plantes médicinales

1. Citez les plantes médicinales que vous utilisez le plus souvent :
 - Plante 1 :
 - Plante 2 :
 - Plante 3 :
 - Plante 4 :
2. Connaissez-vous la plante *Pallenis hierichuntica* (nom local :) ?
 Oui Non
Si oui :
 - a. Pour quelles maladies ou affections l'utilisez-vous ?
.....
 - b. Quelle(s) partie(s) de la plante utilisez-vous ?
 Racine Tige Feuille Fleur Fruit Partie aérienne
Partie souterraine Plante entière
 - c. Mode de préparation :
 Décoction Infusion Poudre Cataplasme Macération
Autre :
 - d. Mode d'administration :
 Orale Externe Inhalation Autre :
 - e. Dose approximative :
 - f. Durée du traitement :
 - g. Avez-vous constaté des effets secondaires ?
 Oui : Non

4. Connaissances et pratiques associées à la plante

1. Cette plante est-elle disponible facilement dans votre région ?
 Oui (sauvage) Oui (cultivée) Non
2. Comment l'obtenez-vous ?
 Récolte personnelle Achat Don Autre :
3. Existe-t-il des croyances ou rituels liés à son utilisation ?
 Oui : Non

5. Importance culturelle et perceptions

1. Selon vous, cette plante est :
 Très importante Moyennement importante Peu importante
2. Pensez-vous que son usage tend à :
 Diminuer Rester stable Augmenter
3. Recommanderiez-vous son utilisation à d'autres personnes ?
 Oui Non
Pourquoi ?

6. Consentement

- J'accepte de participer volontairement à cette étude.
- Je comprends que mes réponses resteront anonymes et confidentielles.
- Nom ou initiales du participant :**
- Signature ou empreinte :**

Annexe 7 : Répartition des âges des participants à l'enquête ethnopharmacologique

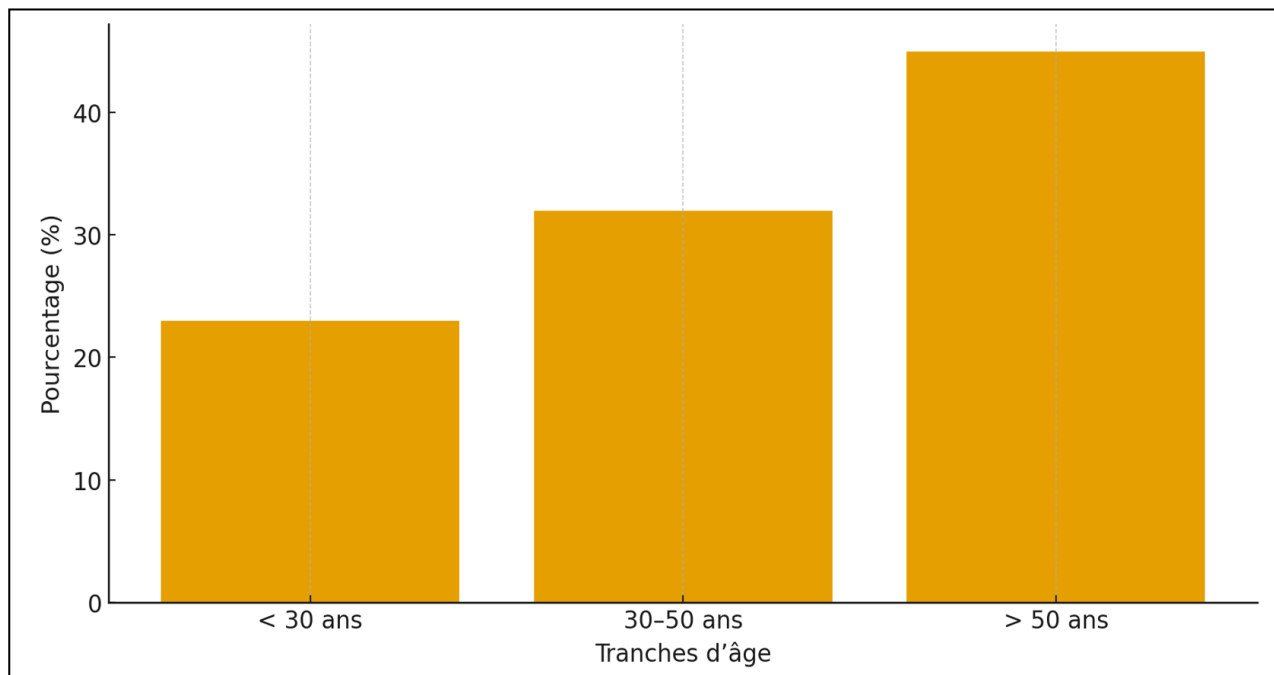


Figure A7 : Histogramme de la distribution des âges des participants à l'enquête ethnopharmacologique

Annexe 8 : Répartition des participants selon la transmission ou non du savoir, en fonction du sexe

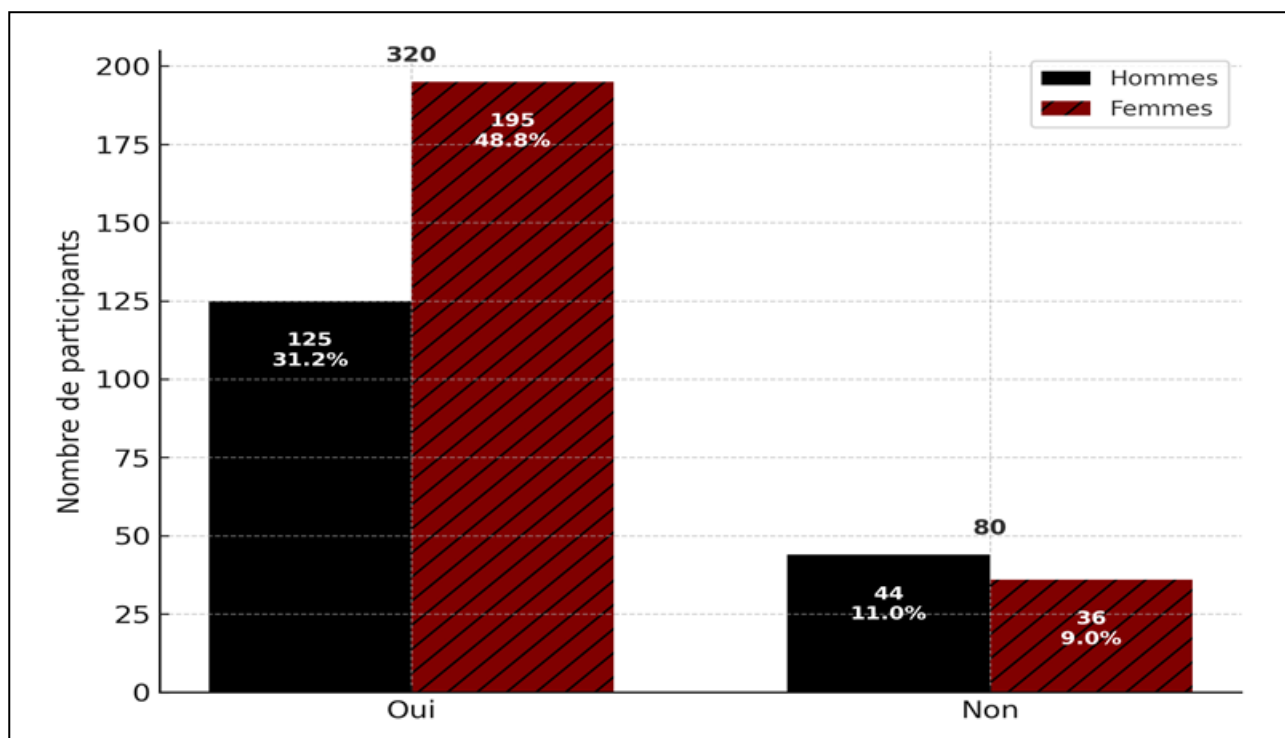


Figure A8 : Distribution des participants selon la transmission ou l'absence de transmission du savoir traditionnel, stratifiée par sexe

Annexe 9 : Répartition des participants selon la profession et le sexe

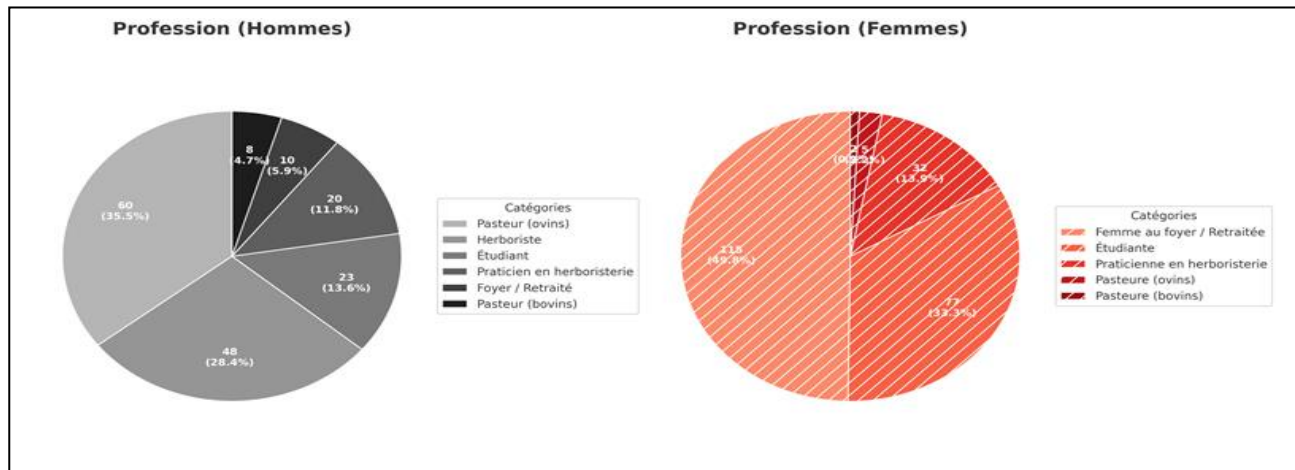


Figure A9 : Distribution des participants à l'enquête ethnopharmacologique selon la profession et le sexe

Annexe 10 : Phénophasse considérées lors de l'échantillonnage : floraison et fructification

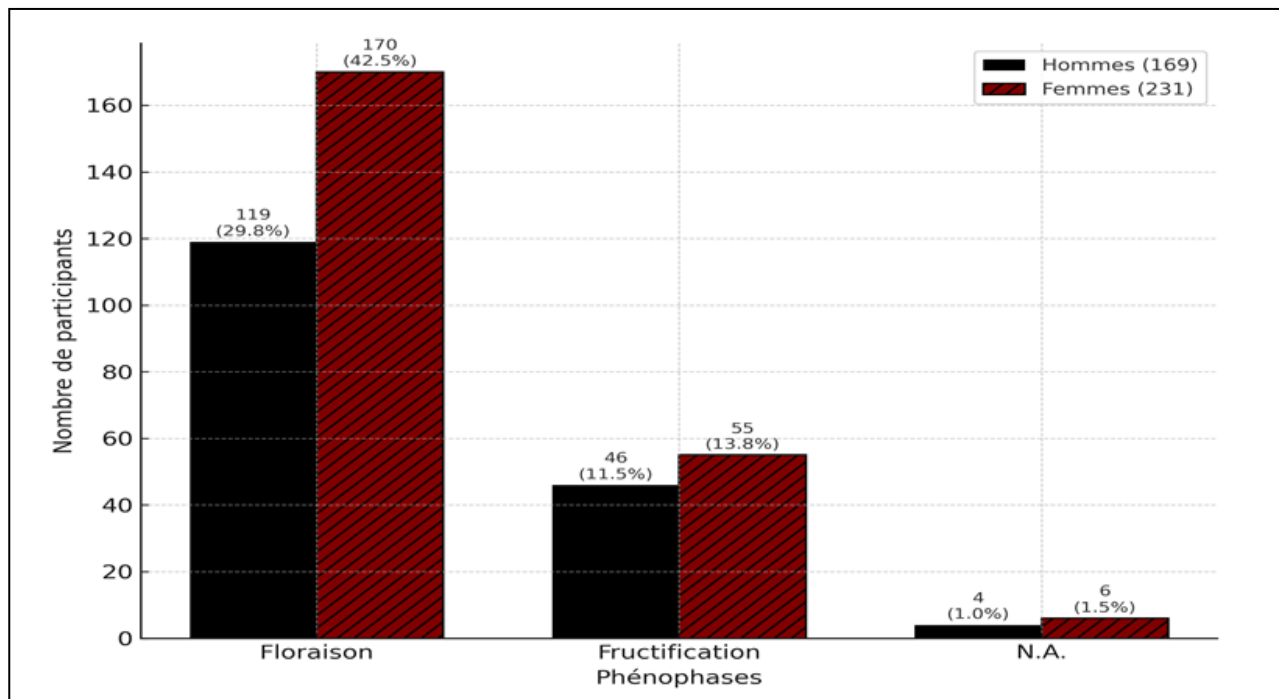


Figure A10 : Présentation des phénophasse utilisées dans l'étude : floraison et fructification

Annexe 11 : Caractéristiques physiques des échantillons séchés et broyés de *Pallenis hierichuntica* aux deux stades phénologiques

Tableau A11. Caractéristiques physiques des échantillons séchés et broyés de *Pallenis hierichuntica* aux stades de floraison et de fructification

Organe / Stade phénologique	Teneur moyenne en humidité (%)	Aspect après séchage	Couleur de la poudre	Odeur / Observation sensorielle	Remarques analytiques
Capitules floraux (floraison)	6,9 ± 0,2	Léger, bien séché	Vert jaunâtre	Odeur florale caractéristique	Bonne préservation des composés aromatiques
Tiges (floraison)	7,8 ± 0,4	Texture ferme et homogène	Brun clair	Odeur faible, non altérée	Structure cellulosique intacte, pas de moisissure
Feuilles (floraison)	6,5 ± 0,3	Fine, bien sèche, non friable	Vert clair	Odeur aromatique typique	Bonne conservation des pigments et composés volatils
Racines (floraison)	8,1 ± 0,3	Dure, bien déshydratée	Brun foncé	Odeur terreuse légère	Bonne stabilité, aucune dégradation visible
Partie aérienne globale (floraison)	7,2 ± 0,4	Homogène, bien sèche	Vert brunâtre	Odeur aromatique douce	Mélange équilibré des organes, bonne homogénéité
Fruits (fructification)	8,5 ± 0,5	Légèrement coriace	Brun clair	Odeur neutre	Séchage complet, absence d'agglomération
Tiges (fructification)	7,9 ± 0,4	Texture ferme	Brun clair	Odeur faible	Structure bien conservée, pas d'altération visible
Partie aérienne globale (fructification)	7,8 ± 0,3	Homogène, bien séchée	Brun verdâtre	Odeur discrète	Poudre fine, bonne conservation générale
Racines (fructification)	8,3 ± 0,3	Dure, bien déshydratée	Brun foncé	Odeur terreuse légère	Stabilité élevée, absence de moisissure

Annexe 12 : Comparaison visuelle des extraits avant et après lyophilisation



Figure A12 : Comparaison des extraits avant et après lyophilisation
(À gauche : extrait après lyophilisation ; à droite : extraits avant lyophilisation)

Annexe 13 : Protocole d'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation de *Pallenis hierichuntica*



Figure A13 : Schéma du protocole de distillation et du montage de Clevenger utilisé pour l'extraction des huiles essentielles de *P. hierichuntica*

Annexe 14 : Calcul des rendements en huiles essentielles

Le rendement en huile essentielle a été déterminé selon la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = \left[\frac{\text{Masse d'huile obtenue (g)}}{\text{Masse du matériel végétal utilisé (g)}} \right] \times 100$$

Annexe 15 : Courbes logistiques de toxicité des extraits bruts de *Pallenis hierichuntica* dans le test *Allium cepa* et détermination de la CI_{50} officielle

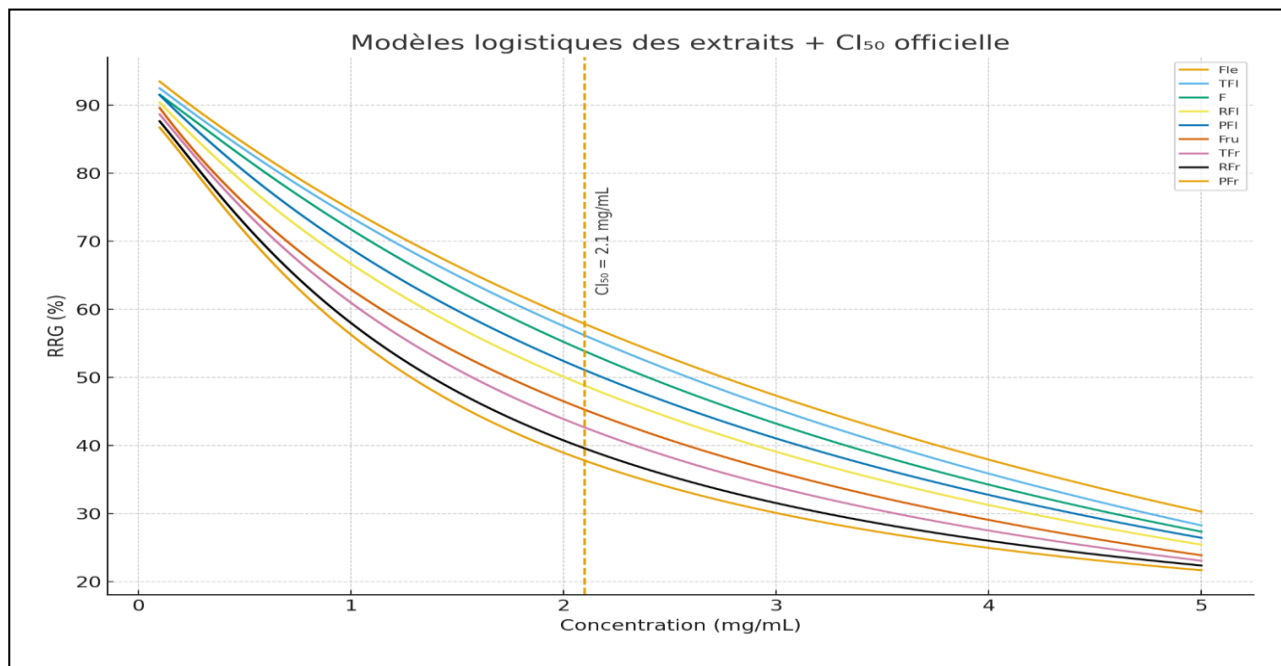


Figure A15 : Courbes logistiques des neuf extraits bruts de *Pallenis hierichuntica* obtenues dans le test *Allium cepa*, avec indication de la concentration inhibitrice CI_{50} officielle (2,1 mg/mL)

Annexe 16 : Activités antioxydante de *Pallenis hierichuntica*

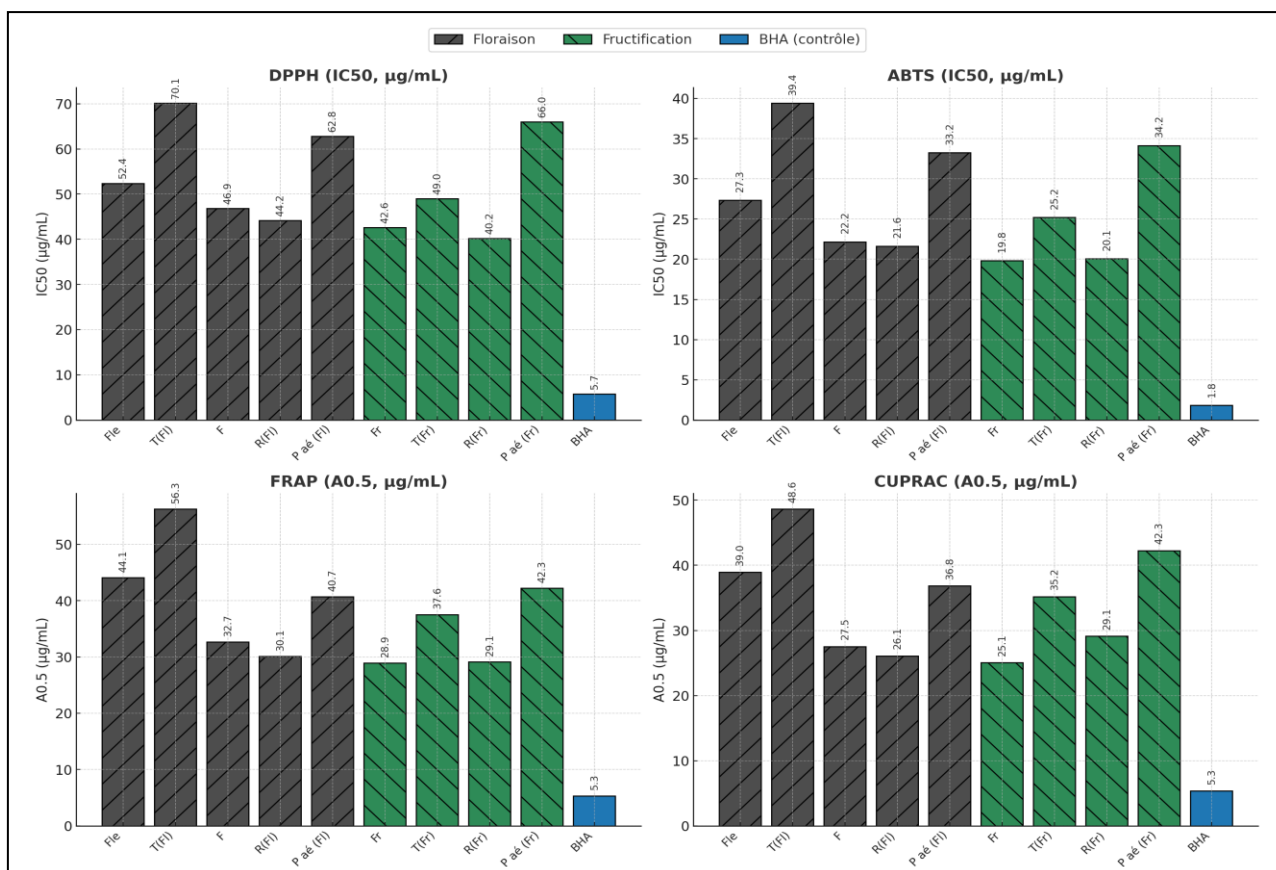


Figure A16 : Activités antioxydante comparative des extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica* (DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC)

Annexe 17 : Comparaison des IC₅₀ de l'activité inhibitrice de l'α-amylase entre les extraits hydro-méthanoliques de *Pallenis hierichuntica* et l'acarbose

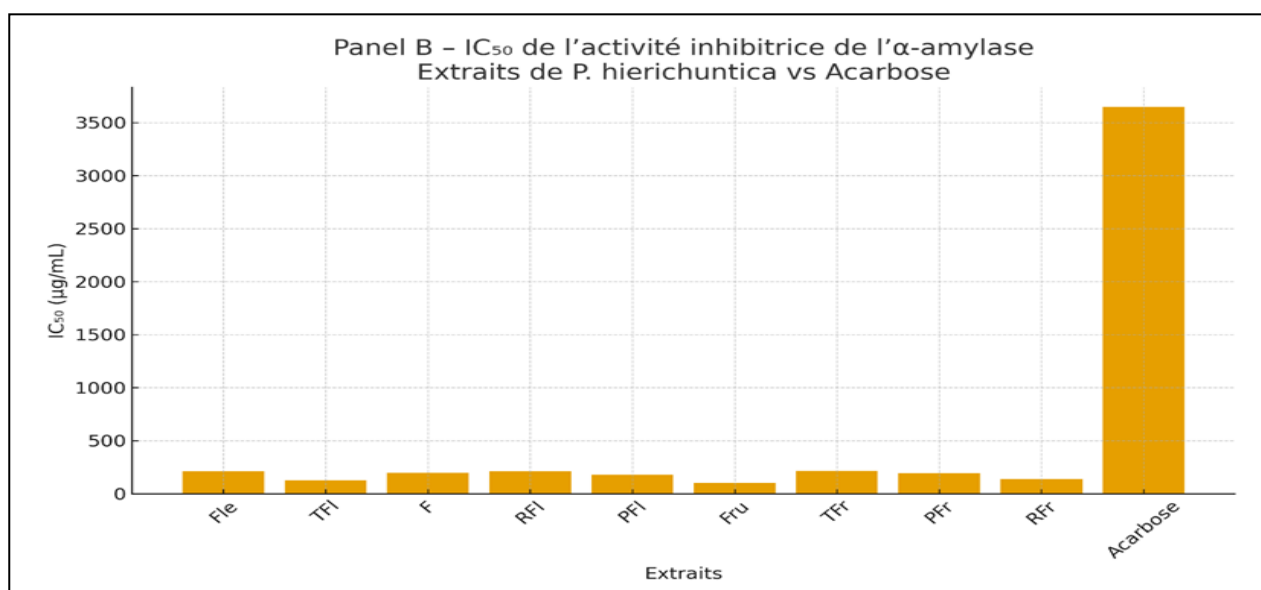


Figure A17: IC₅₀ des extraits de *Pallenis hierichuntica* comparés à l'acarbose, illustrant la supériorité inhibitrice des métabolites phénoliques naturels