



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

Université ABOUBEKR BELKAID

TLEMCE



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre

Et de l'Univers

Département de Biologie

Laboratoire de recherches des Produits Naturels « **LAPRONA** »

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences Biologiques

Spécialité : Bioactivités, analyse et contrôle des huiles essentielles et végétales

Thème

**Evaluation des activités biologiques des terpénoides extraits des
racines d'*Echium plantagineum* L.**

Présenté par

**ZINI Maghnia
SEHBAOUI Ibtissem**

Soutenu le 17/06/2026, devant le jury composé de :

Présidente	M ^{me} CHAOUCHE Farah	Pr	Université de Tlemcen
Examinatrice	M ^{me} BENMENNI Dounia	MCB	Université de Tlemcen
Encadrante	M ^{me} BENAMAR-DIB Hanane	MCA	Université de Tlemcen

Année universitaire 2025/2026

Remerciements

Avant toutes choses, nous remercions Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné la force et la patience pour faire ce travail.

Ce travail de recherche a été effectué au Laboratoire des Produit Naturels (LAPRONA), du département de biologie, de l'Université ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM, sous la direction de Mme DIB-BENAMAR Hanane.

*J'exprime d'abord mes profonds remerciements et ma vive reconnaissance à **Mme BENAMAR-DIB Hanane**, maitre de Conférences classe A à l'Université de Tlemcen, Département de biologie, pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique, sa disponibilité, ses conseils et la confiance qu'elle nous a accordé ont permis la réalisation de ce travail.*

*Nos sincères remerciements vont à **Mme CHAOUCHE Farah**, Professeur au département de Biologie au sein de l'université AbouBekr Belkaid de Tlemcen, pour avoir accepté de présider ce jury, c'est un honneur de pouvoir profiter de ses précieux conseils.*

*Nous remercions également **Mme BENMENNI Dounia**, Maitre de conférences B au département de Biologie au sein de l'université AbouBekr Belkaid de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail, c'est un honneur de pouvoir profiter de ses précieux conseils.*

Nous tenons à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail. Votre disponibilité, votre expertise et le temps que vous avez consacré à la lecture et à l'appréciation de ce mémoire sont profondément appréciés. Vos remarques enrichissantes constituent pour nous un honneur, et représentent une réelle valeur ajoutée à ce travail.

*Nous tenons à remercier également **Mme Boukhlikha Selma** avec qui nous avons eu le privilège de travailler. Nous avons toujours été impressionnées par l'étendue de ses connaissances.*

Nous souhaitons également exprimer notre profonde gratitude à nos chères familles respectives et à nos proches pour leur soutien constant, leur patience et leurs encouragements, sans lesquels ce travail n'aurait pas été possible.

Merci à toute personne ayant participé d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم

Avec l'aide DIEU le tout puissant, nous avons pu achever ce travail que je dédie :

A mes très chers parents que j'aime beaucoup, qui ont veillé sur mon éducation et qui ont sacrifié les meilleurs moments de leur vie pour ma réussite. Jamais je ne peux les remercier assez de m'avoir donné le meilleur d'eux même. Que dieu les gardent.

A mes sœurs Farida, Rachida, Meriem, Souad et Laouedj Khadidja, que j'estime beaucoup et à qui je souhaite une vie pleine de bonheur et de réussite.

A mes nièces : Kawtar, Kholoud, Abidou et Raghad.

A mes tous mes oncles, mes cousins et cousines.

A tous mes amis et à la promotion science biologie pour tous les moments que nous partagés ensemble.

A tous La famille ZINI

A tous personnes qui me connaisse et me considère comme une amie

A tous qui aime la Science.

MAGHNIA

Dédicace

Grâce à Allah le Tout-Puissant, qui m'a accordé la force et la volonté d'achever ce travail. Je dédie ce travail, que j'ai longtemps aspiré à réaliser :

À mon cher père, mon soutien et ma fierté, qui a déployé de nombreux efforts et sacrifices afin que j'atteigne cette étape de mon parcours.

À ma chère mère, qui m'a entourée de ses prières et de ses encouragements à chaque étape de mon parcours.

À mon cher frère Tawfik et à ma chère sœur Asma, Je leur souhaite beaucoup de réussite et de succès dans leur vie.

À tous les membres de ma famille et à mes proches, qui m'ont entourée d'affection, de soutien et d'encouragements.

À mes chères amies, avec qui j'ai partagé les plus beaux moments.

À toutes les personnes qui m'ont soutenue, encouragée et accompagnée par une parole bienveillante ou une prière sincère tout au long de mon parcours universitaire.

IBTISSEM

ملخص

. في السنوات الأخيرة، ازداد الاهتمام بالبحث عن مصادر نباتية طبيعية غنية بالمركبات النشطة بيولوجيًا ذات الخصائص العلاجية، وذلك بسبب الآثار الجانبية المصاحبة للعديد من الأدوية التقليدية. ومن بين النباتات الواعدة، يبرز نبات *Echium plantagineum* L لغناه بالمستقلبات الثانوية، ولا سيما مركبات التربين المعروفة بنشاطها البيولوجي المتعدد.

تهدف هذه الدراسة إلى استخلاص ودراسة مركبات التربين الموجودة في جذور نبات *Echium plantagineum* ، بالإضافة إلى تقييم بعض خصائصها البيولوجية، وتحديدًا خصائصها المضادة للأكسدة والالتهابات.

في البداية، تم استخلاص وعزل التربينويدات عن طريق النقع، وذلك لإبراز أهميتها البيولوجية وإمكاناتها العلاجية في مكافحة الإجهاد التأكسدي والعمليات الالتهابية.

أظهرت نتائج تحليل مركبات التربين الموجودة في جذور نبات *Echium plantagineum* L أن محتوى التربينويدات يُقدر بنسبة 0.24%، مما يُعطي المستخلص تركيبة متوسطة لهذه المركبات.

تم تحديد النشاط المضاد للأكسدة باستخدام اختبار إزالة الجذور الحرة DPPH ومقارنته بحمض الأسكوربيك، المستخدم كمرجع. وكشفت النتائج عن نشاط مضاد للأكسدة ملحوظ بقيمة IC_{50} تقارب 0.08 ملغم/مل لمستخلص التربينات من الجذور، مما يدل على إمكانات مضادة للأكسدة فائقة.

علاوة على ذلك، تم تقييم النشاط المضاد للالتهابات للتربينويدات المستخلصة من جذور نبات *Echium plantagineum* L باستخدام اختبار تثبيط تمسخ البروتين. وأظهر المستخلص نشاطًا واعدًا للغاية مضادًا للالتهابات بقيمة IC_{50} تبلغ 0.14 ملغم/مل، وهي قريبة من القيمة المسجلة للدايكوفيناك (0.11 ملغم/مل)، المستخدم كمرجع.

وبالتالي، تشير هذه النتائج إلى وجود مركبات تربينية نشطة بيولوجيًا قادرة على معادلة الجذور الحرة وتقليل الإجهاد التأكسدي، ومكافحة الالتهابات، مما يدعم إمكانية استخدام جذور نبات *Echium plantagineum* L كمصدر طبيعي للمركبات النشطة بيولوجيًا، وخاصة التربينويدات، نظرًا لخصائصها المضادة للأكسدة والالتهابات.

الكلمات المفتاحية: نبات *Echium plantagineum* L، مركبات التربين، الجذور، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للالتهابات.

Résumé

Ces dernières années, la recherche de sources végétales naturelles riches en composés bioactifs aux propriétés thérapeutiques a suscité un intérêt croissant, en raison des effets secondaires associés à de nombreux médicaments traditionnels. Parmi les plantes prometteuses, *Echium plantagineum* L. se distingue par sa richesse en métabolites secondaires, notamment en composés terpéniques connus pour leurs multiples activités biologiques.

Cette étude a pour objectif d'extraire et d'étudier les composés terpéniques présents dans les racines d'*Echium plantagineum* L., ainsi que d'évaluer certaines de leurs propriétés biologiques à savoir ; antioxydante et anti-inflammatoire.

Dans un premier temps, l'extraction et l'isolement des terpénoïdes a été réalisé par macération, dans le but de mettre en évidence leur importance biologique et leur potentiel thérapeutique dans la lutte contre le stress oxydatif et les processus inflammatoires.

Les résultats de l'analyse des composés terpéniques présents dans les racines d'*Echium plantagineum* L. ont révélé une teneur en terpénoïdes estimée à 0,24 %, ce qui confère à l'extrait une composition moyenne en ces composés.

L'activité antioxydante a été déterminée par le test de piégeage du DPPH et comparée à l'acide ascorbique utilisé comme référence. Les résultats obtenus ont révélé une activité antioxydante significative avec une valeur de CI_{50} de l'ordre de 0,08 mg/ml pour l'extrait terpénique des racines, indiquant un potentiel antioxydant remarquable.

Par ailleurs, l'activité anti-inflammatoire des terpénoïdes des racines d'*Echium plantagineum* L. a été évaluée à l'aide d'un test d'inhibition de la dénaturation des protéines. L'extrait a montré une activité anti-inflammatoire très intéressante avec une CI_{50} égale à 0,14 mg/ml, proche de celle enregistrée pour le diclofénac 0,11 mg/ml utilisé comme référence.

En conséquence, ces résultats indiquent la présence de composés terpéniques bioactifs capables de neutraliser les radicaux libres et de réduire le stress oxydatif, de lutter contre les inflammations et appuient la possibilité d'utiliser les racines de *Echium plantagineum* L. comme source naturelle de composés biologiquement actifs, en particulier les terpénoïdes, en raison de leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires.

Mots clés : *Echium plantagineum* L., composés terpéniques, racines, activité anti oxydante, activité anti inflammatoire.

Abstract

In recent years, the search for natural plant sources rich in bioactive compounds with therapeutic properties has generated increasing interest due to the side effects associated with many conventional medications. Among the promising plants, *Echium plantagineum* L. stands out for its richness in secondary metabolites, particularly terpene compounds known for their multiple biological activities.

This study aims to extract and study the terpene compounds present in the roots of *Echium plantagineum* L., as well as to evaluate some of their biological properties, namely antioxidant and anti-inflammatory.

Initially, the extraction and isolation of terpenoids was carried out by maceration, in order to highlight their biological importance and therapeutic potential in combating oxidative stress and inflammatory processes.

The results of the analysis of terpene compounds present in the roots of *Echium plantagineum* L. revealed an estimated terpenoid content of 0.24%, giving the extract an average composition of these compounds.

Antioxidant activity was determined by the DPPH scavenging assay and compared to ascorbic acid, used as a reference. The results obtained revealed significant antioxidant activity with an IC₅₀ value of approximately 0.08 mg/ml for the terpene extract of the roots, indicating remarkable antioxidant potential.

Furthermore, the anti-inflammatory activity of the terpenoids from the roots of *Echium plantagineum* L. was evaluated using a protein denaturation inhibition assay. The extract showed very promising anti-inflammatory activity with an IC₅₀ of 0.14 mg/ml, close to that recorded for diclofenac (0.11 mg/ml), used as a reference.

Consequently, these results indicate the presence of bioactive terpene compounds capable of neutralizing free radicals and reducing oxidative stress, combating inflammation, and supporting the potential use of *Echium plantagineum* L. roots as a natural source of biologically active compounds, particularly terpenoids, due to their antioxidant and anti-inflammatory properties.

Keywords: *Echium plantagineum* L., terpene compounds, roots, antioxidant activity, anti-inflammatory activity.

Table des matières

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Présentation d'*Echium plantagineum* L.

I.	La famille des boraginacées	6
II.	Le genre <i>Echium</i>	7
III.	Description et classification botanique d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	7
IV.	Distribution géographique d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	9
V.	Toxicité d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	9
VI.	Utilisation traditionnelle d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	10
VII.	Travaux antérieurs.....	11

Chapitre 2 : Les métabolites secondaires des plantes

I.	Définition des métabolites secondaires.....	13
II.	Définition des composés terpéniques.....	13
II.1.	Classification des composés terpéniques.....	14
II.2.	Biosynthèse des terpénoïdes.....	14

Chapitre 3 : Les activités biologiques

I. Activité antioxydante.....	17
I.1 Mécanismes antioxydants des terpènes et terpénoïdes.....	18
II. Activité anti-inflammatoire.....	19
II .1 Mécanismes anti-inflammatoires des terpènes et terpénoïdes.....	20

Partie II : partie expérimentale

Matériel et méthodes

I. Origine et préparation du matériel végétal.....	25
II. Extraction des composés terpéniques.....	26
III. Évaluation des activités biologiques d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	29
III.1 Évaluation de l'activité antioxydante d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	29
III.2. Évaluation de l'activité anti-inflammatoire in vitro par inhibition de la dénaturation thermique des protéines (Albumine sérique bovine BSA)	30
Résultats et discussion.....	32
Conclusion et perspectives.....	40
Références bibliographiques.....	42

Liste des abréviations

- **Voie MEP** : voie du 2C-méthyl-D-érythritol-4-phosphate.
- **NADPH**: Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate.
- **LPS** : Lipopolysaccharide.
- **SIRT1** : Sirtuin 1.
- **DO** : Densité Optique.
- **CI₅₀** : concentration permettant d'inhiber 50% du radical DPPH.
- **BSA** : bovine serum albumine.
- **M** : molaire.

Liste des figures

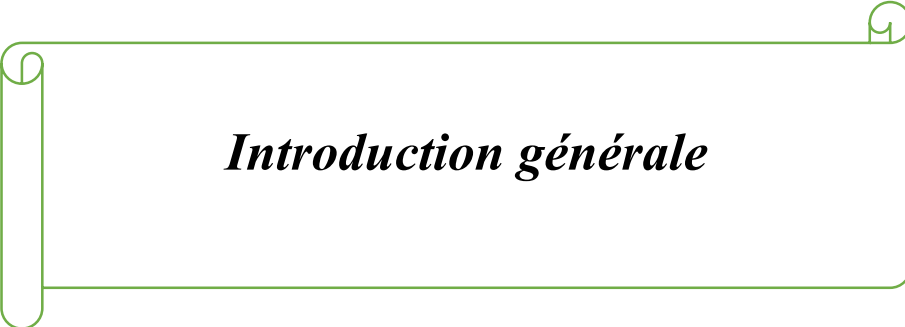
Numéro	Titre des figures	Page
01	Répartition géographique de la famille des Boraginacées dans le monde	06
02	Distribution géographique d' <i>Echium plantagineum</i> L.	09
03	Classification des composées terpéniques	14
04	Représentation schématique de la biosynthèse des terpénoïdes et des terpènes chez les plantes	15
05	Aperçu des radicaux libres et de leurs caractéristiques	17
06	Effets Antioxydants des terpènes	19
07	La zone géographique de récolte d' <i>Echium Plantagineum</i> L. Tirni	25
08	Protocole d'extraction des terpénoides des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.	28
09	Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH de l'extrait terpénique des racines d' <i>E.plantagineum</i> L.	34
10	Pourcentages d'inhibition de la dénaturation des protéines de l'extrait terpénique des racines d' <i>E.plantagineum</i> L.	36
11	Pourcentages d'inhibition de la dénaturation des protéines de l'extrait terpénique des racines d' <i>E.plantagineum</i> L. et dichlofenac	37

Liste des photos

Numéro	Titre des photos	Page
01	Tiges d' <i>Echium plantagineum</i> L.	08
02	Feuilles d' <i>Echium plantagineum</i> L.	08
03	Fleurs d' <i>Echium plantagineum</i> L.	08
04	Racines séchées d' <i>Echium plantagineum</i> L.	26
05	Racines moulues d' <i>Echium plantagineum</i> L.	26
06	Agitation des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.	26
07	Filtration de la solution	26
08	Terpénoides des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.	27
09	Séchage dans l'étuve	27

Liste des tableaux

Numéro	Titre des tableaux	Page
01	Classification botanique d' <i>Echium plantagineum</i> L.	8
02	Activités biologiques des différentes parties d' <i>Echium plantagineum</i> L.	11
03	Rendement en (%) de l'extrait terpénique des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.	33
04	Valeurs des CI ₅₀ de l'acide ascorbique et des terpénoides des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.	35
05	Valeurs des IC ₅₀ du diclofénac et des terpénoides des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.	38

A decorative horizontal scroll frame with a green outline. The left side features a vertical scroll bar with a circular end, and the right side has a small circular flourish at the top.

Introduction générale

Le stress oxydatif résulte d'un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les capacités de défense antioxydantes de l'organisme. Les ERO sont toxiques pour les cellules, mais elles sont également essentielles, car elles jouent un rôle dans la régulation d'un large éventail de processus physiologiques, notamment la signalisation cellulaire. Produites localement et de manière transitoire, les espèces réactives de l'oxygène induisent des modifications protéiques. Le stress oxydatif a été impliqué dans la physiopathologie de nombreuses maladies, telles que les maladies inflammatoires, car les ERO jouent un rôle clé dans les mécanismes de défense non médiés par les anticorps **(Baudin, 2020)**.

L'inflammation est un mécanisme de défense physiologique de l'organisme contre l'invasion d'agents pathogènes. Cependant, elle peut avoir des effets néfastes si elle n'est pas régulée. Elle s'accompagne de la production de nombreux médiateurs inflammatoires tels que les cytokines, les leucotriènes et les prostaglandines. De plus, les cellules inflammatoires peuvent produire des formes réactives de l'oxygène et de l'azote, susceptibles de provoquer des réactions d'oxydation toxiques, entraînant ainsi des lésions tissulaires **(Boutoumou et Foughali, 2022)**.

L'activité antioxydante est étroitement liée à l'activité anti-inflammatoire, et ces deux phénomènes jouent un rôle important dans le développement de nombreuses maladies. Une production excessive d'espèces réactives de l'oxygène peut entraîner des lésions cellulaires, tandis que l'inflammation chronique contribue à leur accumulation. Par conséquent, la réduction du stress oxydatif et de l'inflammation constitue une approche importante pour la prévention de diverses maladies **(Reuter et al., 2010)**.

Les plantes médicinales sont des plantes utilisées en médecine traditionnelle dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses, leur action provient de leurs composés chimiques ; métabolites primaires ou secondaires ; ou de la synergie entre les différents composés présents **(Boulguendoul et Remouche, 2024)**.

Les métabolites secondaires jouent un rôle important dans les mécanismes de défense des plantes médicinales et possèdent diverses activités biologiques telles que les propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et anti-inflammatoires **(Bardaji et al., 2025)**. Ces composés naturels jouent également un rôle essentiel dans les mécanismes de défense des plantes contre les stress biotiques et abiotiques.

Les terpénoïdes constituent la plus grande classe de métabolites secondaires chez les plantes. Ils jouent un rôle important dans la défense, et contribuent également à attirer les pollinisateurs.

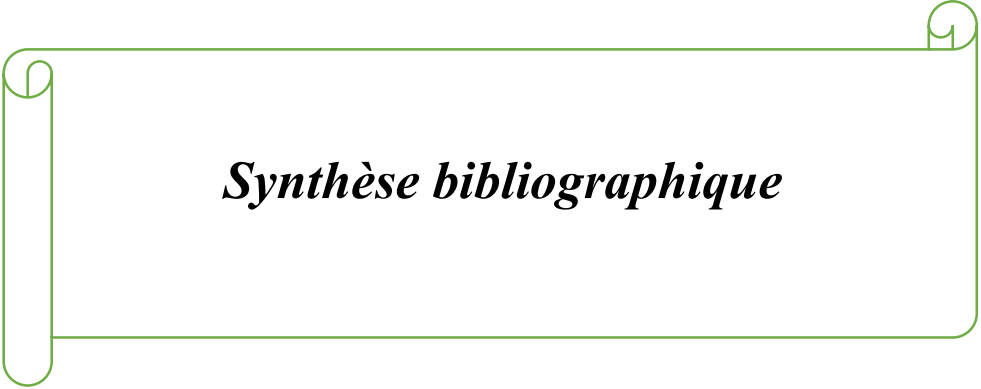
De nombreux terpénoïdes possèdent des activités biologiques et pharmacologiques d'intérêt médical, ce qui explique leur importance dans les domaines de la pharmacie et de la biotechnologie **(Singh et Sharma, 2015)**.

Echium plantagineum L. est une plante médicinale originaire de la région méditerranéenne, connue pour divers métabolites secondaires biologiquement actifs. Cette espèce a fait l'objet de nombreuses études portant sur ses propriétés pharmacologiques, en particulier ses activités antioxydantes et anti-inflammatoires **(Moita et al., 2013)**.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail de recherche intitulé « Évaluation des activités biologiques des terpénoides extraits des racines d'*Echium plantagineum* L. » qui s'inscrit dans une démarche de valorisation des propriétés biologiques de cette espèce médicinale avec pour objectif d'appliquer l'extraction par macération des terpènes contenus dans les racines d'*Echium plantagineum* L. et l'évaluation de leurs potentiels antioxydant et antiinflammatoire.

Pour répondre à ces objectifs, notre manuscrit est structuré en trois parties principales : une première partie consacrée à la revue bibliographique où sont présentées des généralités sur la plante, les métabolites secondaires ainsi que les activités biologiques étudiées. Une seconde partie dédiée au matériel et méthodes utilisés lors de cette exploration, et une dernière partie présentant et discutant les résultats obtenus.

Enfin, une conclusion générale viendra clore, accompagnée de perspectives pour de futures recherches.



Synthèse bibliographique

A decorative frame resembling a scroll, with a light green border and ornate scrollwork at the corners and ends.

***Chapitre I : Présentation d'Echium
Plantagineum L.***

I. La famille des boraginacées

Les Boraginacées sont une famille des angiospermes, représentée par environ 148 genres et plus de 2 500 espèces : annuelles, bisannuelles, vivaces, et plus rarement des arbres, des arbustes ou des lianes.

La famille des Boraginacées présente une distribution cosmopolite. Les genres ligneux (arbres et arbustes) sont principalement présents dans les régions pantropicales et subtropicales, tandis que les genres herbacés sont largement répandus à l'échelle mondiale, avec une abondance particulière dans la région méditerranéenne et en Asie tempérée chaude. Ces plantes colonisent une grande diversité d'habitats, s'étendant du niveau de la mer jusqu'à plus de 4000 mètres d'altitude.

Ces espèces sont principalement originaires d'Europe, d'Afrique et d'Asie (Inde, Iran) (**Figure 01**) ; cependant, des espèces endémiques, dont la répartition est restreinte à des régions comme la Sardaigne, l'Anatolie et l'Ouzbékistan, sont également connues (**Chrzanowska et al., 2024**).



Figure 01. Répartition géographique de la famille des Boraginacées dans le monde (Stevens, 2001).

La famille comprend à la fois des espèces rares ayant des catégories menacées comme *Echium russicum* en Pologne ou *Rindera umbellata* en Moldavie et des espèces ayant le statut d'espèces envahissantes comme *Anchusa officinalis*, *Echium vulgare* et *Echium. plantagineum* en Amérique (Reguia et Zekraoui, 2019).

II. Le genre *Echium*

Le genre *Echium*, qui appartient à la famille des Boraginacées, comprend soixante-sept espèces. Originaires d'Afrique du Nord, d'Europe continentale et de la région de la Macaronésie, ces plantes sont largement répandues dans la région méditerranéenne et ont été utilisées dans la médecine traditionnelle depuis au moins 300 av. J.-C (Gecer & Erenler, 2023).

Au cours des 500 dernières années, en raison de la colonisation intensive, les espèces d'*Echium* ont été introduites dans de nombreux pays du monde entier. Elles sont des plantes robustes qui s'adaptent bien aux environnements difficiles, ce qui a permis à certaines espèces de prospérer en Australie, en Afrique du Sud et aux États-Unis, où elles ont supplanté les espèces indigènes et sont donc considérées comme invasives (Jin et al., 2020).

III. Description et classification botanique d'*Echium plantagineum* L.

Echium plantagineum L. (EP) est une plante herbacée annuelle à bisannuelle à tiges ramifiées de 20 à 60 cm de haut, couvertes de soies (Photo 1). Feuilles basales ovales, de 3 à 12 cm de long sur 1,2 à 1,5 cm de large ; caulinaires étroitement lancéolées, cordées à la base, hérissées de soies et à base bulbeuse (Photo 2). Inflorescences larges, paniculées ou racémeuses. Corolle de 15 à 20 mm de diamètre, bleue à bleu foncé (rarement blanche), légèrement pubescente à l'extérieur. Deux étamines sont brièvement exsertes ; trois sont incluses. Nucules de 2,0 à 3,0 mm de long sur 2,0 à 2,3 mm de large (Photo 3), on la rencontre typiquement dans les milieux herbeux, pierreux et rudéraux, généralement en dessous de 1000 m d'altitude (Terzieva et al., 2025).



Photo 1. *Echium plantagineum* L.
(Tlemcen, 2026).



Photo 2. Feuilles d'*Echium plantagineum* L.
(Tlemcen, 2026).



Photo 3. Fleurs d'*Echium plantagineum* L.
(Sheydaei et al., 2025).

La classification botanique d'*Echium plantagineum* L. est présentée dans le tableau ci- dessous.

Tableau 01. Classification botanique d'*Echium plantagineum* L. (APG IV, 2016).

Règne	plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Lamiales
Famille	Boraginaceae
Genre	<i>Echium</i>
Espèce	<i>Echium plantagineum</i>

IV. Distribution géographique d'*Echium plantagineum* L.

Echium plantagineum L. pousse dans la région méditerranéenne (**Figure 02**). Elle est originaire d'Europe (Royaume-Uni, France, Portugal, Espagne, Albanie, Bulgarie, Grèce, Italie, Yougoslavie et Ukraine), des îles Açores, Madère et Canaries, d'Afrique du Nord (nord de l'Algérie, Égypte, Afrique du Nord, Libye, Maroc et Tunisie) et d'Asie occidentale. Cette espèce pousse dans des environnements sableux et accidentés, où elle fleurit de juin à septembre (**Harouat et Hattab, 2024**).

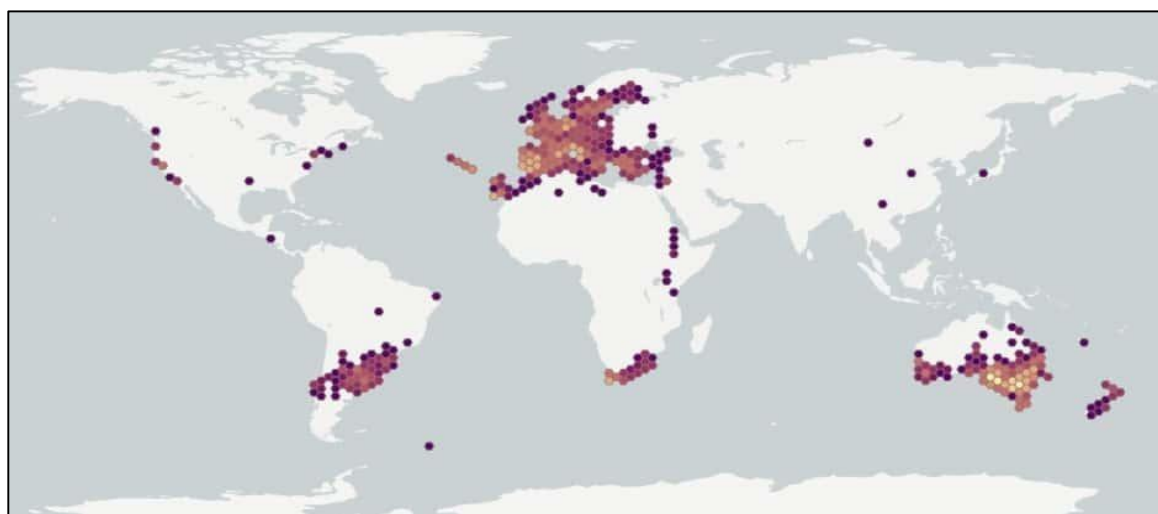


Figure 02. Distribution géographique d'*Echium plantagineum* L.
(**Harouat et Hattab, 2024**).

V. Toxicité d'*Echium plantagineum* L.

Echium plantagineum L. contient des alcaloïdes pyrrolizidiniques (AP) comme l'échimidine et ses isomères (échihumiline, hydroxymyoscorpine), qui endommagent le foie en provoquant une accumulation de cuivre et une nécrose hépatique. Ces alcaloïdes sont particulièrement dangereux pour les non-ruminants comme les chevaux et les porcs, causant une perte de poids, des troubles hépatiques et la mort en cas de consommation importante.

Les AP sont composées de bases néciques et des acides néciques qui les accompagnent, la base étant soit saturée, soit possédant une double liaison en position 1,2. Si les formes saturées de la Base nécique sont relativement non toxiques, leurs homologues à double liaison sont potentiellement hépatotoxiques et/ou cancérigènes.

Les AP sont les phytotoxines les plus répandues dans le monde et peuvent provoquer des intoxications chez l'homme lorsque des espèces végétales utilisées dans des remèdes à base de plantes et des aliments qui en contiennent sont consommées. Le principal organe cible de l'intoxication par les PA est le foie et, dans une moindre mesure, les poumons et les vaisseaux sanguins (**Letsyo et al., 2023**).

Compte tenu de leurs effets nocifs, le règlement 2020/2040 de la Commission Européenne a proposé des limites maximales admissibles de 200 mg/kg et 500 mg/kg pour les PA dans les infusions à base de plantes (produit séché) et les produits à base de pollen, respectivement (**Règlement de la Commission Européenne, 2020**).

VI. Utilisation traditionnelle d'*Echium plantagineum* L.

Echium plantagineum L. est une plante médicinale largement utilisée en médecine traditionnelle dans de nombreuses régions du bassin méditerranéen. En Turquie, les parties aériennes de la plante sont préparées sous forme d'infusion que l'on boit comme du thé et qui est utilisée pour ses propriétés diurétiques et sudorifiques. Cette utilisation traditionnelle a été rapportée dans une étude ethnobotanique menée dans la province de Bilecik, au nord-ouest de la Turquie (**Ünsal et al., 2010**). De plus, cette espèce est traditionnellement utilisée pour traiter la toux et accélérer la cicatrisation des plaies, notamment en Espagne (**Jin et al., 2020**). De plus, l'huile extraite des graines d'*Echium plantagineum* revêt une grande importance industrielle en raison de sa richesse en acides gras polyinsaturés, ce qui lui confère un potentiel d'utilisation dans les domaines des cosmétiques et des soins personnels (**Glensk et al., 2022**).

VII. Travaux antérieurs

Echium plantagineum L. possède diverses activités biologiques et effets bénéfiques pour la santé, que nous avons résumé dans le **tableau 02**.

Tableau 02. Activités biologiques des différentes parties d'*Echium plantagineum* L.

<i>Echium plantagineum</i> L.	Activités biologiques	Références
Huile des graines	Propriétés anti-inflammatoires, teneur élevée en oméga-3	(Terzieva et al., 2025)
Partie aérienne	Diurétique et diaphorétique	(Sheydaei et al., 2025)
Extraits de feuilles/fleurs	Activité antinématode Activité antitrichomonde Activité antifongique	(Terzieva et al., 2025)
Feuilles	Potentiel anti-inflammatoire	(Harouat et Hattab, 2024)
Feuilles et racines	Richesse en polyphénols, flavonoïdes et tanins ; Activité antioxydante Activité antimicrobienne	(Aber et Bouabdallah, 2025)
Extrait de pollen	Activité antioxydante Activité anti-inflammatoire	(Moita et al., 2013)



Chapitre II : Les métabolites secondaires des plantes

I. Définition des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des produits naturels synthétisés par les plantes qui, bien qu'ils ne soient pas indispensables à leur survie, leur apportent des avantages essentiels pour lutter contre les stress biotiques et abiotiques. Ces métabolites remplissent diverses fonctions écologiques et physiologiques, notamment en agissant comme composés de défense contre les herbivores, les microbes pathogènes et les plantes concurrentes, ainsi qu'en servant de molécules de signalisation dans les interactions écologiques. De plus, ils aident à protéger les plantes contre les facteurs de stress abiotiques, notamment le rayonnement ultraviolet (UV), les températures glaciales, la sécheresse et divers autres stress osmotiques (**Bardaji et al., 2025**).

Les métabolites secondaires peuvent être classés de différentes manières, notamment en fonction de leur structure chimique (par exemple, les composés contenant des cycles ou des sucres), de leur composition (par exemple, azotés ou non azotés), de leur solubilité dans différents solvants et, le plus souvent, de leurs voies de biosynthèse, la littérature classe généralement ces produits naturels en trois grandes catégories :

- Les composés phénoliques ;
- Les composés azotés et ;
- Les composés terpéniques (**Bardaji et al., 2025**).

II. Définition des composés terpéniques

Les terpenoïdes constituent le plus grand groupe de composés naturels et présentent une extraordinaire diversité structurale, dérivant de squelettes carbonés de 2-méthylbuta-1,3-diène (unités d'isoprène, C_5) réarrangés en structures linéaires et cycliques. Ils sont classés en monoterpènes (2 unités C_5), sesquiterpènes (3 unités C_5), diterpènes (4 unités C_5), triterpènes (6 unités C_5), etc., et sont répartis en six classes fondamentales : les tocophérols, les taxanes, les ingénanes, les artémisinines, les stérols et les cannabinoïdes. Il a été démontré que certains d'entre eux possèdent diverses activités biologiques, notamment des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes, anticancéreuses et antiallergiques. Ils présentent une valeur économique considérable ainsi qu'un large éventail d'applications dans différents domaines, notamment les industries alimentaire, pharmaceutique, cosmétique et chimique, en plus de leur valeur environnementale (**Câmara et al., 2024**).

II.1. Classification des composées terpéniques

Les terpènes peuvent être classés principalement en monoterpènes ($C_{10}H_{16}$), Sesquiterpènes ($C_{15}H_{24}$), diterpènes ($C_{20}H_{32}$), les sesterpènes ($C_{25}H_{40}$), les triterpènes ($C_{30}H_{48}$), les tétraterpènes ($C_{40}H_{64}$), et les polyterpènes (C_nH_{2n}), en fonction du nombre d'unités d'isoprène (**Figure 03**) (**Khanam et al., 2025**).

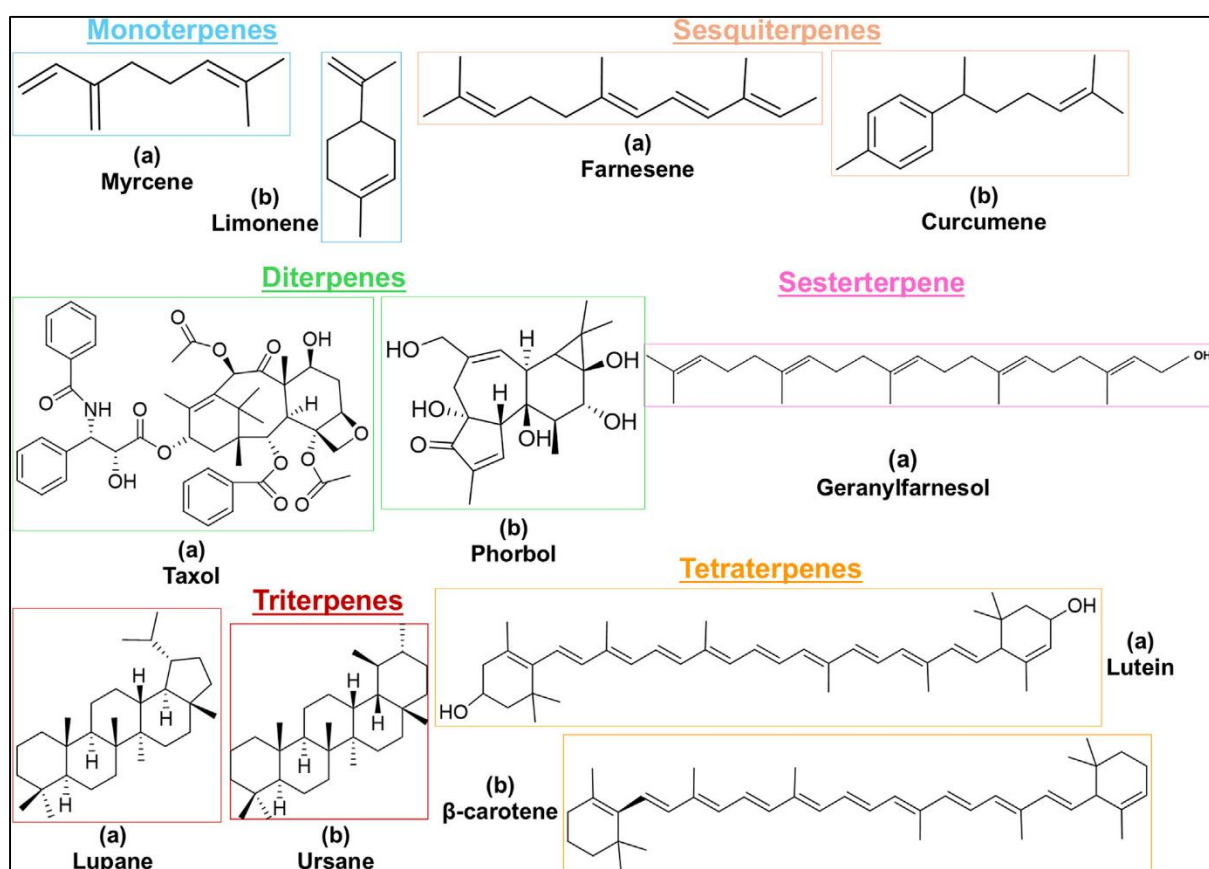


Figure 03. Classification des composées terpéniques (**Khanam et al., 2025**).

II.2. Biosynthèse des terpénoïdes

Les précurseurs des terpènes, l'isopentényl-diphosphate (IPP) et le diméthylallyl-diphosphate (DMAPP), sont synthétisés par deux voies distinctes : la voie du mévalonate (voie MVA) et la voie du 2C-méthyl-D-érythritol-4-phosphate (voie MEP) (**Figure 04**). Ces voies sont localisées dans différents compartiments subcellulaires et utilisent des matières premières différentes,

Fournissant un squelette carboné fondamental pour la synthèse d'une grande variété de composés terpénoïdes.

Alors que la voie MEP utilise le pyruvate et le D-glycéraldéhyde-3-phosphate (GAP), deux métabolites centraux de la glycolyse, la voie MVA commence par l'acétyl-CoA, généré par la décarboxylation du pyruvate, un autre produit glycolytique essentiel. Les isoprényl-diphosphate synthases (IDS) catalysent ensuite la formation de géranyl-diphosphate (GPP), de farnésyl-diphosphate (FPP) et de géranyl-géranyl-diphosphate (GGPP), qui servent de précurseurs à la biosynthèse des terpénoïdes. Ces intermédiaires sont ensuite transformés par les enzymes terpène synthases (TPS), qui génèrent un éventail structuellement diversifié de terpènes par le biais de réactions de cyclisation et de réarrangement stéréospécifiques. Une élaboration structurelle plus poussée se produit via des modifications oxydatives médiées par les cytochromes P450 oxygénases (CYP450), qui modulent la diversité fonctionnelle des terpénoïdes (Cheng et al., 2025).

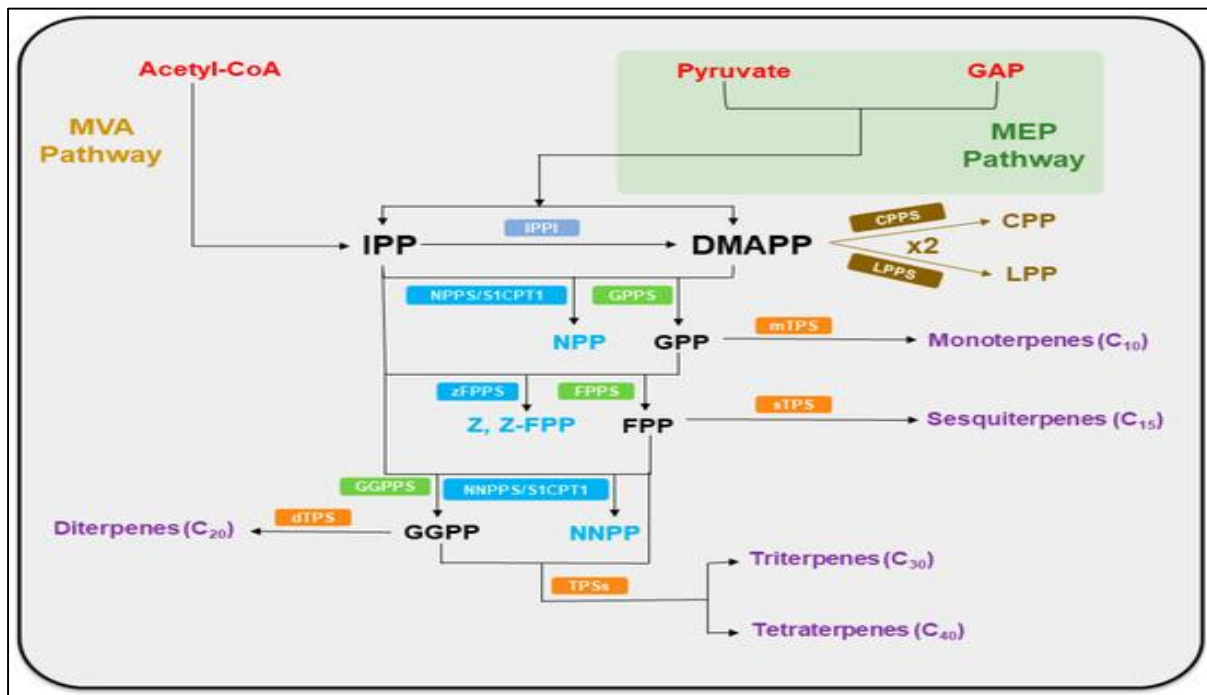


Figure 04. Biosynthèse des terpénoïdes et des terpènes Chez les plantes (Cheng et al., 2025).

A decorative green scroll border frames the chapter title. It features a vertical scroll on the left and horizontal scrolls at the top and bottom right corners.

Chapitre III : Les activités biologiques

I. Activité antioxydante

Les radicaux libres sont des atomes ou des molécules possédant un ou plusieurs électrons non appariés, ce qui les rend hautement réactifs et instables. Ces espèces réactives de l'oxygène (ERO) et ces espèces réactives de l'azote (ERA) sont produites à la fois de manière endogène et exogène. Sur le plan endogène, les radicaux libres sont générés en tant que sous-produits naturels des processus métaboliques, tels que le transport d'électrons mitochondrial, les réactions enzymatiques et les réponses immunitaires. D'origine exogène, ils résultent de l'exposition à des facteurs environnementaux tels que le rayonnement ultraviolet (UV), la pollution, la fumée de tabac et les produits chimiques industriels (**Figure 05**) (**Chandimali et al., 2025**).

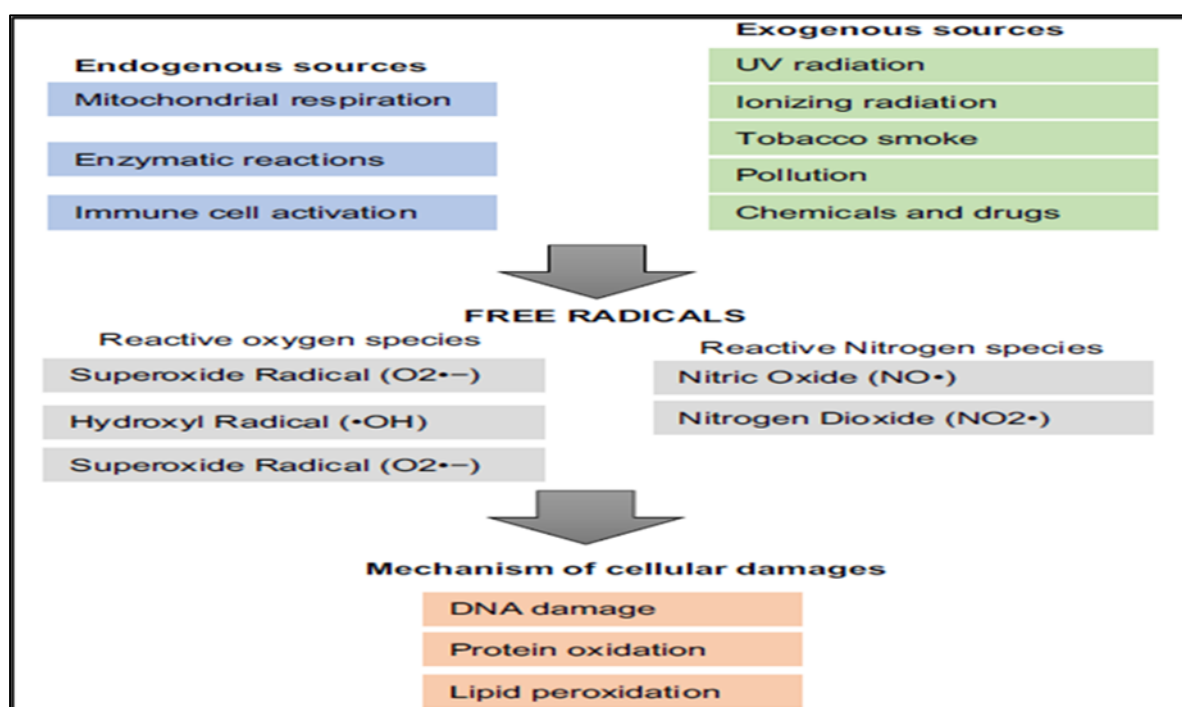


Figure 05 : Les radicaux libres et leurs caractéristiques (**Chandimali et al., 2025**).

Les antioxydants peuvent ralentir, contrôler ou bloquer les processus oxydatifs. Cette capacité contribue à prévenir la dégradation de la qualité des aliments et peut également freiner l'apparition et la progression des maladies dégénératives dans l'organisme. Diverses méthodes et actions contribuent au fonctionnement de ces composés antioxydants pour inhiber l'oxydation. Ils jouent un rôle crucial dans le corps humain, car ils aident à réduire les processus oxydatifs et à atténuer les effets nocifs des ERO.

Les antioxydants retardent la peroxydation lipidique et empêchent la formation de produits secondaires de la peroxydation lipidique, notamment le 4-hydroxynonénal et le malon dialdéhyde (MDA). De plus, ils contribuent à réduire l'oxydation des biomolécules, notamment celle des acides aminés et des protéines, et empêchent l'interaction des carbonyles dérivés des lipides avec les protéines, ce qui peut altérer la fonctionnalité des protéines.

Un antioxydant a été initialement défini comme « toute substance qui, lorsqu'elle est présente à de faibles concentrations par rapport à celles d'un substrat oxydable, retarde ou inhibe de manière significative l'oxydation de ce substrat ».

Une autre définition des antioxydants les décrit comme « toute substance qui neutralise directement les ERO et les radicaux libres ou qui, indirectement, renforce les défenses antioxydantes ou réduit la production d'ERO.

Les antioxydants peuvent être classés de différentes manières. En fonction de leur mécanisme d'action, on distingue les antioxydants primaires et secondaires. Cependant, le système antioxydant humain se divise en deux grands groupes : les antioxydants enzymatiques et les antioxydants naturels non enzymatiques. Par ailleurs, les antioxydants synthétiques constituent un autre groupe d'antioxydants (Gülçin, 2025).

I.1. Mécanisme antioxydant des terpènes et terpénoïdes

L'action antioxydante des terpènes module les taux des ERO et de radicaux libres, réduisant ainsi le stress oxydatif. Le stress oxydatif est associé à plusieurs processus pathologiques, tels que la peroxydation lipidique, l'autophagie et l'apoptose cellulaire, ainsi que l'agrégation des protéines, facteurs qui contribuent à la progression des maladies neurologiques. En inhibant ces processus, les terpènes démontrent un potentiel neuroprotecteur et pourraient prévenir ou retarder le développement de troubles neurologiques causés par l'accumulation de stress oxydatif.

La figure 6 résume les principales propriétés thérapeutiques des terpènes, en mettant l'accent sur leurs activités antioxydantes, démontrant leur capacité à piéger les espèces réactives de l'oxygène et les radicaux libres, en plus d'inhiber les enzymes impliquées dans le stress oxydatif, telles que la NADPH oxydase et la xanthine oxydase. Cet effet antioxydant est essentiel pour protéger les cellules nerveuses des dommages causés par le stress oxydatif (Carneiro et al., 2025).

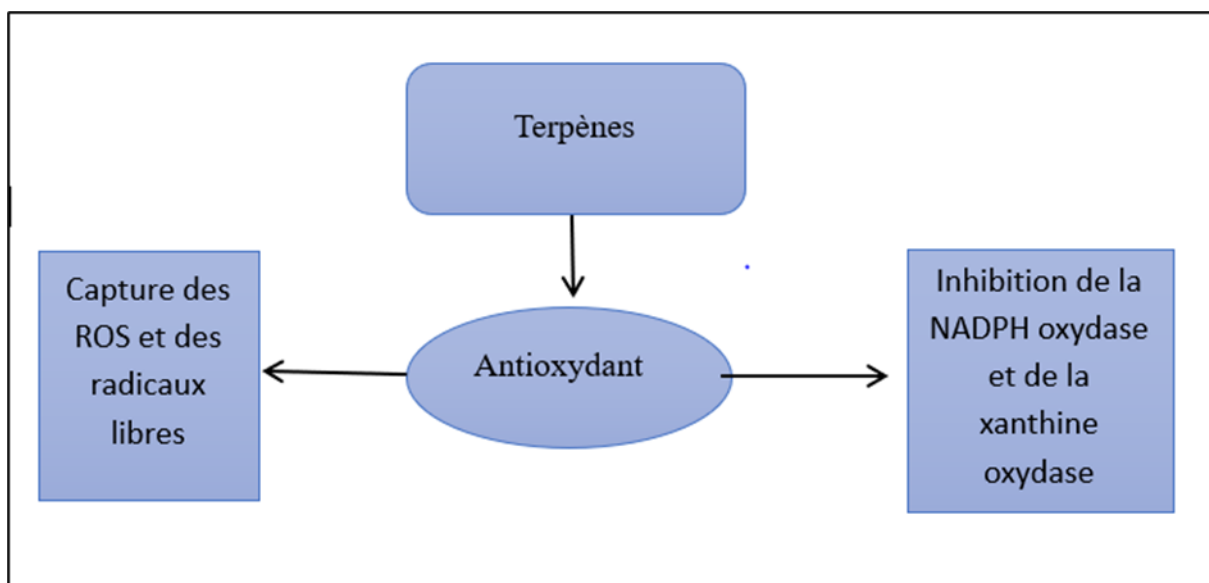


Figure 06. Effet antioxydant des terpènes (Carneiro et al., 2025).

II. Activité anti-inflammatoire

L'inflammation est un élément essentiel du mécanisme de défense inné de l'organisme contre les étiologies infectieuses ou non infectieuses. Ce mécanisme est non spécifique et immédiat.

Les cinq signes fondamentaux de l'inflammation sont la chaleur, la rougeur, le gonflement, la douleur et la perte de fonction. L'augmentation du flux sanguin entraîne une rougeur et une chaleur, tandis que le gonflement résulte d'une accumulation de liquide. La douleur provient de la libération de substances chimiques stimulantes, et la perte de fonction reflète une combinaison de facteurs.

L'inflammation peut être classée en trois types en fonction de la durée de la réponse à la cause lésionnelle : l'inflammation aiguë, qui se manifeste immédiatement après la lésion et dure généralement quelques jours ; l'inflammation chronique, qui peut persister pendant des mois, voire des années, si l'inflammation aiguë ne se résorbe pas ; et l'inflammation subaiguë, une phase de transition entre l'inflammation aiguë et l'inflammation chronique, qui dure de 2 à 6 semaines.

L'inflammation aiguë se déclenche à la suite d'une lésion spécifique, provoquant la libération de médiateurs solubles tels que les cytokines, les protéines de phase aiguë et les chimiokines. Ces substances favorisent la migration des neutrophiles et des macrophages vers le site de l'inflammation, ce qui constitue un élément crucial de la réponse immunitaire innée lors de

l'inflammation aiguë. Si l'inflammation aiguë ne disparaît pas rapidement, elle évolue vers une inflammation subaiguë. Si l'inflammation persiste au-delà de six semaines, elle passe du stade subaigu au stade chronique, caractérisé par la migration de lymphocytes T et de plasmocytes vers le site de l'inflammation. Une inflammation prolongée sans guérison entraîne des lésions tissulaires et une fibrose.

D'autres types de cellules, tels que les macrophages et les monocytes, contribuent également à l'inflammation aiguë et chronique (**Hannood et Nasuruddin, 2024**).

II.1. Mécanismes anti-inflammatoires des terpènes et des terpénoïdes

Les dernières décennies ont montré que les terpènes et les terpénoïdes jouent un rôle physiologique important dans le soulagement de divers symptômes liés à l'inflammation, très probablement en inhibant plusieurs étapes pathologiques du processus inflammatoire.

Les macrophages, qui comptent parmi les principales cellules immunitaires, jouent un rôle central dans de nombreux phénomènes pathologiques immunitaires liés à l'inflammation, notamment la surproduction de cytokines pro-inflammatoires et de médiateurs inflammatoires, tels que l'interleukine-1 β (IL-1 β), l'IL-6, le facteur de nécrose tumorale alpha (TNF- α) et l'oxyde nitrique (NO) synthétisé par la synthase non réduite (iNOS), ainsi que la prostaglandine E2 (PGE-2) synthétisée par la cyclooxygénase-2 (COX-2). Enfin, un facteur de transcription Central, le facteur nucléaire- κ B (NF- κ B), joue un rôle clé dans l'expression des gènes pro-inflammatoires au cours de l'inflammation.

Certains processus cellulaires, notamment le stress oxydatif et l'autophagie, jouent également un rôle essentiel dans l'inflammation. Les espèces réactives de l'oxygène, issues de plusieurs sources, dont les mitochondries, favorisent une migration accrue des leucocytes et une augmentation de la perméabilité jonctionnelle par le biais de divers mécanismes de signalisation. De plus, une étude récente a montré que les ERO régulent la libération d'IL-1 β en interférant directement avec les signaux NF- κ B (**Masyita et al., 2022**).

L'utilisation de terpènes et de terpénoïdes pour soulager l'inflammation s'est avérée efficace dans l'atténuation de l'inflammation respiratoire, de la dermatite atopique, de l'arthrite et de la neuroinflammation.

L'effet anti-inflammatoire potentiel du myrcène dans le traitement de l'inflammation rénale a été testé sur des modèles de rats. Les mécanismes suggérés seraient associés à la régulation à la baisse des cytokines pro-inflammatoires (IL-1 β , IL-6 et TNF- α) et des marqueurs anti-

inflammatoires (IL-4 et IL-10), ainsi qu'à la régulation à la hausse d'antioxydants endogènes tels que la catalase (CAT), les superoxydes dismutases (SOD) et le glutathion (GSH) **(Masyita et al., 2022)**.

Il a été rapporté que le limonène, un monoterpène cyclique, exerce un effet gastro-protecteur chez le rat. Le mécanisme précis de son action gastroprotectrice reste incertain. Cependant, les données expérimentales actuelles suggèrent que cet effet pourrait être dû à sa capacité à moduler le stress oxydatif via la régulation à la hausse de l'antioxydant endogène glutathion peroxydase et à atténuer les réponses inflammatoires via l'inhibition de l'expression génique médiée par NF- κ B **(Masyita et al., 2022)**.

Plusieurs terpènes et terpénoïdes, tels que le (+) - α -terpinéol, le () - β -pinène et le (+) - α -pinène, auraient pour effet de réduire l'expression des gènes associés à l'inflammation (IL-4 et IL-13) ainsi que la sécrétion de β -hexosaminidase dans les cellules RBL-2H3 stimulées par le LPS. L'application de ces composés dans le traitement des affections inflammatoires et la base pour le développement de nouveaux médicaments anti-inflammatoires. Le bornéol, par exemple, augmenterait de manière significative l'activation du facteur nucléaire E2-related factor 2 (Nrf2) et l'expression de la superoxyde dismutase (SOD) 1, tout en régulant à la baisse l'expression de NF- κ B et de p65. Le traitement au bornéol a significativement inhibé l'expression pro-inflammatoire des cytokines et pourrait atténuer la pancréatite aiguë induite par la céruléine en réduisant les dommages oxydatifs et l'inflammation du pancréas, grâce à une modulation de la voie Nrf2/NF- κ B.

Un autre exemple est le bakuchiol, un méroterpène appartenant à la classe des terpéno- phénols, et l'hinokitiol, un monoterpénoïde naturel. Il a été démontré que le bakuchiol était efficace pour inhiber l'expression des cytokines pro-inflammatoires et atténuer les réactions d'hypersensibilité retardée par rapport au groupe témoin. L'hinokitiol inhibe la régulation médiée par le LPS, notamment le facteur de nécrose tumorale alpha, l'IL-6 et la prostaglandine E2 (PGE2). Il semblerait que l'hinokitiol agisse en inhibant les signaux pro-inflammatoires médiés par le LPS via l'activation de l'histone désacétylase SIRT1 dans les kératinocytes humains primaires. Par conséquent, l'hinokitiol a été proposé comme agent thérapeutique potentiel dans le traitement des maladies inflammatoires de la peau telles que le psoriasis **(Masyita et al., 2022)**.

A decorative border in a light green color, shaped like a scroll. It starts with a small circle on the left, goes down, then right, then up, and ends with a small circle on the right.

Partie expérimentale

A decorative border in a light green color, shaped like a scroll. It starts with a small circle on the left, goes down, then right, then up, and ends with a small circle on the right.

Matériel et méthodes

Afin d'évaluer *in vitro* l'activité antioxydante et anti-inflammatoire des terpénoides extraits à partir des racines d'*Echium plantagineum* L., nous avons mené une étude au laboratoire de recherche les produits naturels « LAPRONA ».

I. Origine et préparation du matériel végétal

La matière végétale utilisée dans cette étude était constituée de racines d'*Echium plantagineum* L., récoltée dans la région de Tirni, au mois de mars 2026, dans la province de Tlemcen, à l'ouest de l'Algérie (**Figure 07**).



Figure 07. La zone géographique de récolte d'*Echium Plantagineum* L.-Tirni-
(Harouat et Hattab, 2024).

Immédiatement après la récolte, les racines ont été séchées à l'air libre pendant 7 jours (**Photo 04**). Elles ont ensuite été réduites en poudre à l'aide d'un moulin électrique (**Photo 05**). Cette poudre a été conservée dans des bocaux en verre opaques et hermétiquement fermés à des températures inférieures à 0°C.



Photo 04. Racines séchées d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen, 2026).

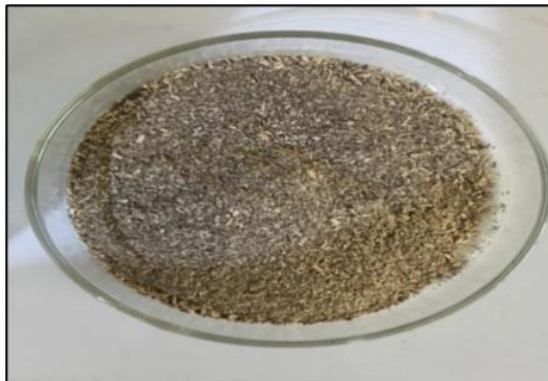


Photo 05. Racines moulues d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen, 2026).

II. Extraction des composés terpéniques

La poudre de racines d'*Echium plantagineum* L. a été soumise à une extraction successive à l'hexane puis à l'acétone (15 :75 ; m/v) selon la méthode décrite par **Truong et al. (2021)** avec de légères modifications.

Dans un premier temps, 75ml d'hexane ont été ajouté à 15g de poudre de racines., puis le mélange a été maintenu sous agitation pendant 8 heures. Une filtration a ensuite été réalisée (**Photo 06 et 07**).



Photo 06 : Agitation des racines d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen le 19/04/2026).



Photo 07 : Filtration de la solution (Tlemcen le 20/04/2026).

La poudre a ensuite été additionnée à 75 mL d'acétone et soumise de nouveau à une extraction sous agitation pendant 8 heures.



Photo 08 : Terpénoides des racines d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen le 21/04/2026)

Enfin, l'extrait terpénique obtenu a été réparti dans des boîtes de Petri, puis placé dans une étuve à 30 °C jusqu'à évaporation complète du solvant (**Photo 09**).



Photo 09 : Séchage dans l'étuve (Tlemcen le 22/04/2026).

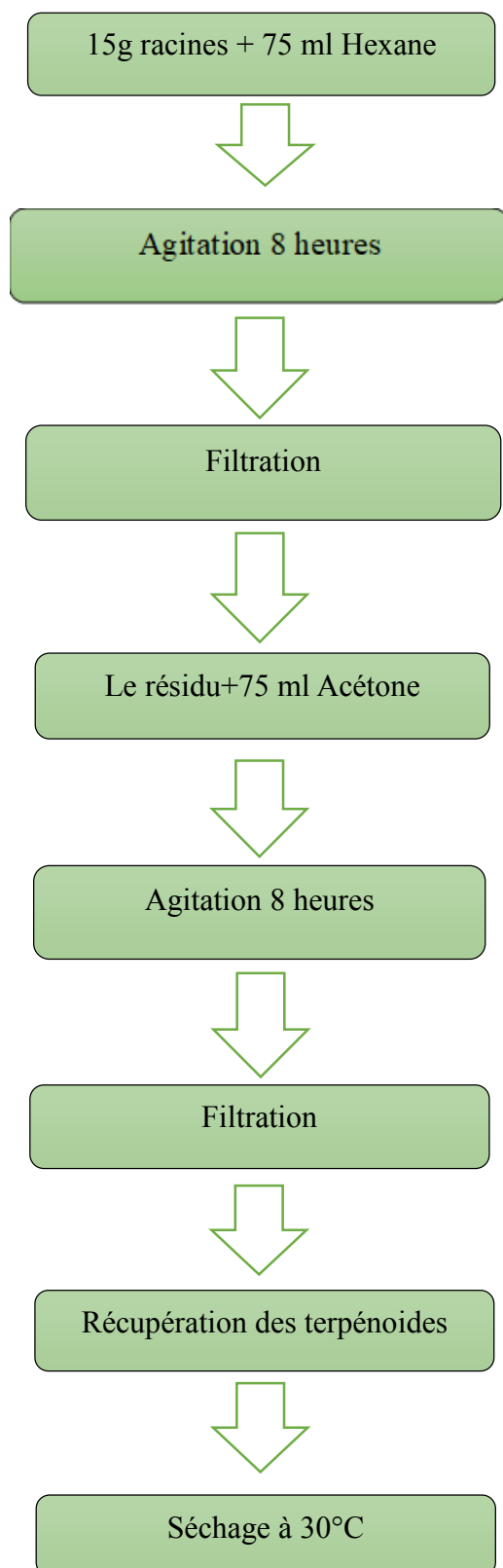


Figure 08 : Protocole d'extraction des terpénoides des racines *d'Echium plantagineum* L.

III. Évaluation des activités biologiques d'*Echium plantagineum* L.

III.1. Évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante d'*Echium plantagineum* L.

Dans le cadre de notre recherche, la capacité antioxydante des racines d'*Echium plantagineum* L. a été évaluée à l'aide de la technique spectrophotométrique de Piégeage du radical libre DPPH selon la méthode décrite par **Que et al. 2006**.

Principe

Le DPPH est un radical libre stable caractérisé par une couleur violette distinctive. En présence de composés à pouvoir réducteur, notamment de donneurs d'hydrogène, il se transforme en sa forme réduite non radicalaire, s'accompagnant d'un changement de couleur vers le jaune. Ce changement de couleur permet d'évaluer indirectement le pouvoir antioxydant des échantillons étudiés.

Mode opératoire

- 2ml de solution éthanolique d'extrait terpénique, à différentes concentrations, ont été ajoutés à 2ml d'une solution éthanolique de DPPH à 0,0025g/ml.
- Un blanc a été préparé pour chaque solution 2ml contenant 2ml d'éthanol.
- Un contrôle a été préparé en mélangeant 2ml d'éthanol avec 2ml de la solution de DPPH utilisée.
- Les tubes ont été incubés pendant 30 min à l'obscurité et à température ambiante.
- La lecture a été faite par un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 517 nm

Expression des résultats

Les pourcentages d'inhibition (%) du radical DPPH sont calculés à partir de la formule suivante

$$\% \text{ du DPPH} = (\text{DO Contrôle} - \text{DO Echantillon}(t) / \text{DO Contrôle}) \times 100$$

- % du DPPH : pourcentage de réduction ou d'inhibition du DPPH.
- DO Contrôle (0) : densité optique du contrôle à t = 0 min.
- DO Echantillon (t) : densité optique de l'antioxydant à t = 30 min.

En observant les variations du taux d'inhibition des radicaux DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait, il est possible de déterminer graphiquement la valeur de la CI $\square\square$. Cette valeur correspond à la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour neutraliser 50 % des radicaux DPPH présents. Elle constitue un indicateur important permettant d'évaluer et de comparer l'activité antioxydante des extraits ou des composés étudiés.

III.2. Évaluation *in vitro* de l'activité anti-inflammatoire d'*Echium plantagineum* L. par inhibition de la dénaturation thermique des protéines (Albumine sérique bovine BSA)

Principe

Afin d'évaluer le potentiel anti-inflammatoire des extraits végétaux, un test d'inhibition de la dégradation thermique des protéines a été réalisé selon la méthode décrite par **Kandikattu (2013)**. Ce test repose sur la capacité des extraits à limiter la dégradation de l'albumine sérique bovine (BSA) provoquée par une exposition à une température élevée. La capacité des échantillons à empêcher cette altération protéique est considérée comme un indicateur de leur activité anti-inflammatoire.

Mode opératoire

Une série de concentrations de l'extrait terpénique, allant de 0,06 à 1 mg/mL a été préparée. On ajoute 500 μ L de solution Tampon provenant de chaque dilution à 500 μ L d'une solution de BSA à 0,2 % préparée dans du Tris-HCl (0,78 M à pH 6,4). Le mélange est ensuite incubé à 37 °C pendant 15 minutes, puis à 72 °C pendant 5 minutes. À la fin de l'incubation, et après agitation au vortex, le mélange est rapidement refroidi, et la turbidité est mesurée à 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Pour chaque concentration d'extrait, un témoin (Blanc) a été préparé à partir de 500 μ L d'extrait et de 500 μ L de solution de Tris-HCl à une concentration de 0,78 M et à un pH de 6,4.

Ce témoin vise à soustraire l'absorbance de l'extrait et de la solution Tris-HCl des valeurs mesurées afin d'obtenir des résultats précis (**Karthik et al., 2013**).

Le taux d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA) a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Protection (\%)} = \frac{(\text{DO control} - \text{DO Blanc}) - (\text{DO échantillon} - \text{DO Blanc})}{(\text{DO control} - \text{DO Blanc})} \times 100$$

- DO Blanc : Absorbance de l'extrait sans BSA
- DO Échantillon : Absorbance de l'échantillon ou standard (test).
- DO Contrôle : Absorbance solvant utilisé pour les extraits et du BSA.

Résultats et discussion

Les terpénoïdes constituent une classe importante de métabolites secondaires végétaux connus pour leurs propriétés biologiques et thérapeutiques, notamment leur capacité à réduire le stress oxydatif et à inhiber les mécanismes inflammatoires.

Elles suscitent donc un intérêt croissant en raison de leur diversité structurale et de leurs multiples vertus biologiques, et constituent une source prometteuse de nouvelles molécules thérapeutiques destinées à la prévention et le traitement de diverses maladies liées au stress oxydatif et à l'inflammation (Truong et al., 2021).

I. Rendement de l'extrait Terpénique

L'extrait terpénique extrait des racines d'*Echium plantagineum* L., obtenu par macération, a démontré un rendement égal à 0,24% comme le montre le **tableau 03**.

Tableau 03. Rendement de l'extrait Terpénique des racines d'*Echium plantagineum* L.

Espèce végétale	Partie de la plante	Rendement (%)
<i>Echium plantagineum</i> L.	Les racines	0.24%

Ce rendement de 0,24 % indique une faible teneur en composés terpéniques. Cette moindre valeur peut être expliquée par la nature de la partie végétale utilisée et par la méthode d'extraction employée, les terpènes étant généralement plus abondants dans les parties aériennes que dans les racines. Malgré ce faible rendement, l'extrait peut présenter une activité biologique importante grâce à la présence de composés actifs même en faible quantité (Tholl, 2015).

II. Évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante des racines d'*Echium plantagineum* L.

L'activité antioxydante des terpénoïdes extraits à partir des racines d'EP a été évaluée à l'aide d'une méthode de laboratoire, à savoir le test de piégeage des radicaux libres DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazine).

Le test DPPH est largement utilisé pour évaluer l'activité antioxydante des extraits végétaux (Pełkal et Pyrzyńska, 2015). À partir des valeurs de densité optique (DO) obtenues, les pourcentages d'inhibition ont été calculés, ce qui a permis de tracer des courbes correspondantes

à l'extrait terpénique issu de la partie de la plante *Echium plantagineum* L., à savoir les racines (**Figure 09**).

La figure représente l'évolution du pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction de la concentration (mg/mL) pour EP et l'acide ascorbique, ce dernier étant utilisé comme témoin de référence.

D'après la **figure 09**, l'extrait terpénique testé présente une forte activité antioxydante contre le radical libre DPPH. Cette activité augmente progressivement avec la concentration, ce qui démontre la grande efficacité de l'extrait pour piéger les radicaux libres. À une concentration de 0,5 mg/mL l'extrait évalué a enregistré un pourcentage d'inhibition très élevé de 96,88 %, supérieur à celui de l'acide ascorbique, qui présentait un pourcentage d'inhibition de 81,28 % à cette même concentration.

Ces résultats montrent que l'extrait terpénique issu des racines *d'Echium plantagineum* L. possède une forte capacité antioxydante et une efficacité remarquable pour neutraliser les radicaux libres. Cette activité significative pourrait être liée à la teneur élevée de la plante en composés terpéniques bioactifs capables de céder des électrons ou des atomes d'hydrogène pour stabiliser les radicaux libres et limiter leurs effets nocifs.

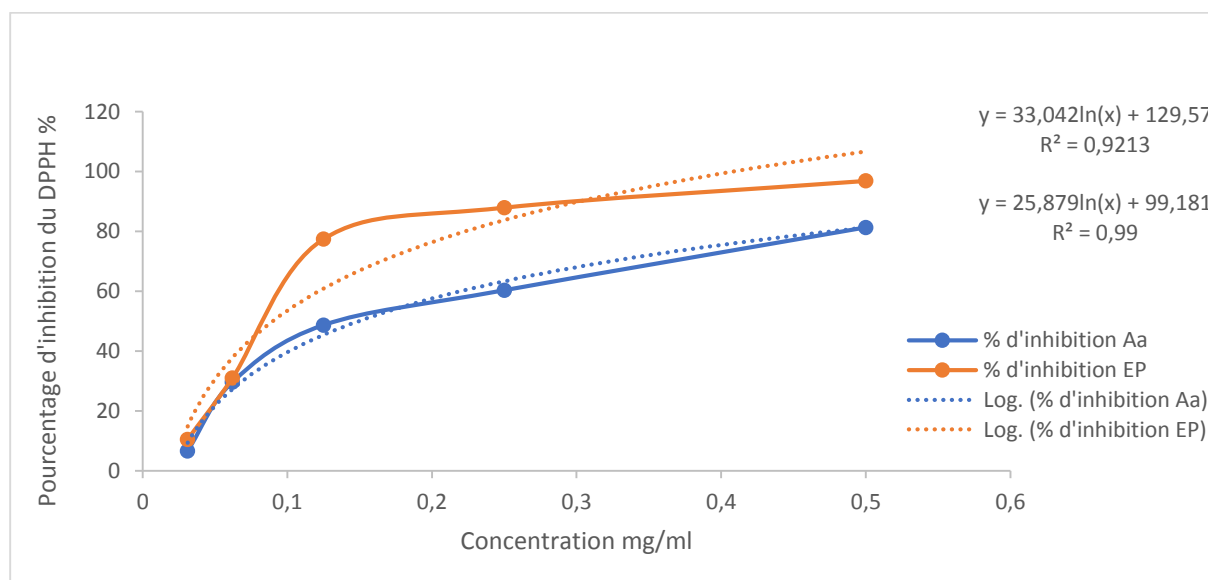


Figure 09. Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait terpénique des racines *d'Echium plantagineum* L.

Résultats et discussion

Cette activité antioxydante peut être aussi évaluée par la détermination des concentrations inhibitrices CI_{50} , qui correspondent à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux libres. Plus la valeur de la CI_{50} est faible, plus le pouvoir antioxydant est élevé.

Tableau 04. Valeurs des CI_{50} de l'extrait Terpénique des racines d'*Echium plantagineum* L.

	CI_{50} (mg/mL)
<i>Echium plantagineum</i> L.	0,08
Acid Ascorbique	0,04

La valeur de la CI_{50} corrobore l'interprétation de la **figure 09** révélant une concentration à hauteur de 0,08 mg/mL indiquant un potentiel antioxydant remarquable. Cette efficacité s'explique par la présence de composés terpéniques bioactifs capables de neutraliser les radicaux libres et de réduire le stress oxydatif. Ces résultats suggèrent que les racines d'*Echium plantagineum* L. pourraient constituer une source naturelle prometteuse de composés antioxydants.

Dans leur étude, **Pilerood et Prakash (2013)** ont rapporté que l'extrait aqueux des racines d'*E. plantagineum* L. présentait les propriétés antioxydantes les plus élevées lors d'un test de piégeage du DPPH, tandis que les extraits obtenus avec de l'acétone affichaient l'activité la plus faible.

Jin et al. (2020) ont rapporté que les racines de *Echium italicum* contenaient des terpénoïdes et présentaient une activité antioxydante importante. L'extrait éthanolique des racines a montré une forte activité de piégeage du radical DPPH (81,43 %), attribuée à la présence de composés phénoliques, flavonoïdes et terpénoïdes.

Kefi et al. (2018) ont réalisé une recherche sur *Echium arenarium*, et ont rapporté que l'extrait à l'acétate d'éthyle a montré une activité antioxydante importante grâce à sa richesse en composés phénoliques et en flavonoïdes, notamment le lutéoline-7-O-glucoside, responsable du piégeage des radicaux libres.

Par conséquent, nous pouvons conclure qu'*Echium plantagineum* L. présente une activité antioxydante très puissante.

Ainsi, ces résultats confirment que les espèces du genre *Echium* constituent une source naturelle prometteuse de composés antioxydants d'intérêt thérapeutique et pharmacologique.

III. Évaluation *in vitro* de l'activité anti-inflammatoire d'*Echium plantagineum* L. par inhibition de la dénaturation thermique des protéines (Albumine sérique bovine BSA)

La dénaturation des protéines compte parmi les causes de l'inflammation. La production d'auto-antigènes dans les maladies inflammatoires pourrait être attribuée à la dénaturation des protéines en laboratoire. Le mécanisme probable de cette dénaturation réside dans la modification des liaisons électrostatiques, hydrogènes, hydrophobes et disulfures qui maintiennent la structure tridimensionnelle (Moussaoui, 2017).

La figure 10 représente la variation du pourcentage d'inhibition de la dénaturation thermique du BSA en fonction des différentes concentrations des terpènes des racines d'*E. plantagineum* L.

La courbe montre une augmentation progressive du pourcentage d'inhibition à mesure que la concentration de l'extrait de racine d'*Echium plantagineum* L. augmentait atteignant environ 80 % à une concentration égale à 1mg/ml. On constate que plus la concentration de l'extrait est élevée, plus sa capacité à inhiber la dégradation des protéines est importante.

Cette activité peut s'expliquer par la présence, dans les racines de l'*Echium plantagineum* L. de composés biologiquement actifs capables de stabiliser les protéines et de les protéger contre les modifications structurelles qui s'y produisent.

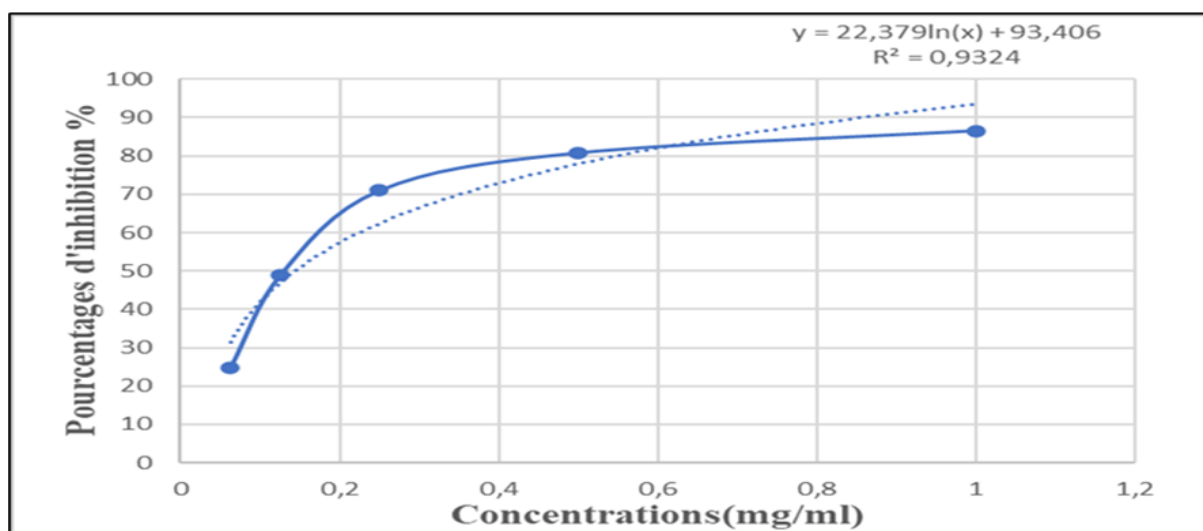


Figure 10. Pourcentages d'inhibition de la dénaturation des protéines de l'extrait terpénique des racines d'*Echium plantagineum* L.

Résultats et discussion

La figure 11 illustre la variation du pourcentage de protection contre la dénaturation thermique de la BSA en fonction de différentes concentrations de l'extrait de racine d'*Echium plantagineum* L. en comparaison avec le diclofénac, qui sert de référence dans ce test.

Les résultats indiquent que l'extrait possède une activité anti-inflammatoire significative, comme en témoigne sa capacité à inhiber la dénaturation des protéines.

À la plus forte concentration testée d'1 mg/ml, *Echium plantagineum* L. a atteint un pourcentage d'inhibition de 86,51% comparable à celui du diclofénac avec 84,44%.

Aux concentrations 0,5 et 0,25 mg/ml, les résultats montrent des valeurs de 80,73 % et 70,93% supérieur à celles du diclofénac qui était respectivement de 75,24% et de 58,84%.

Aussi, à la concentration de 0,125 mg/ml les terpénoides d'EP et le diclofénac étaient stables et présentaient des pourcentages très proches de 48,85 % 53,32%.

Cela indique que l'extrait possède un puissant effet protecteur contre la dégradation des protéines, peut-être en raison de la présence de composés biologiquement actifs tels que les terpénoïdes, connus pour leurs propriétés anti-inflammatoires.

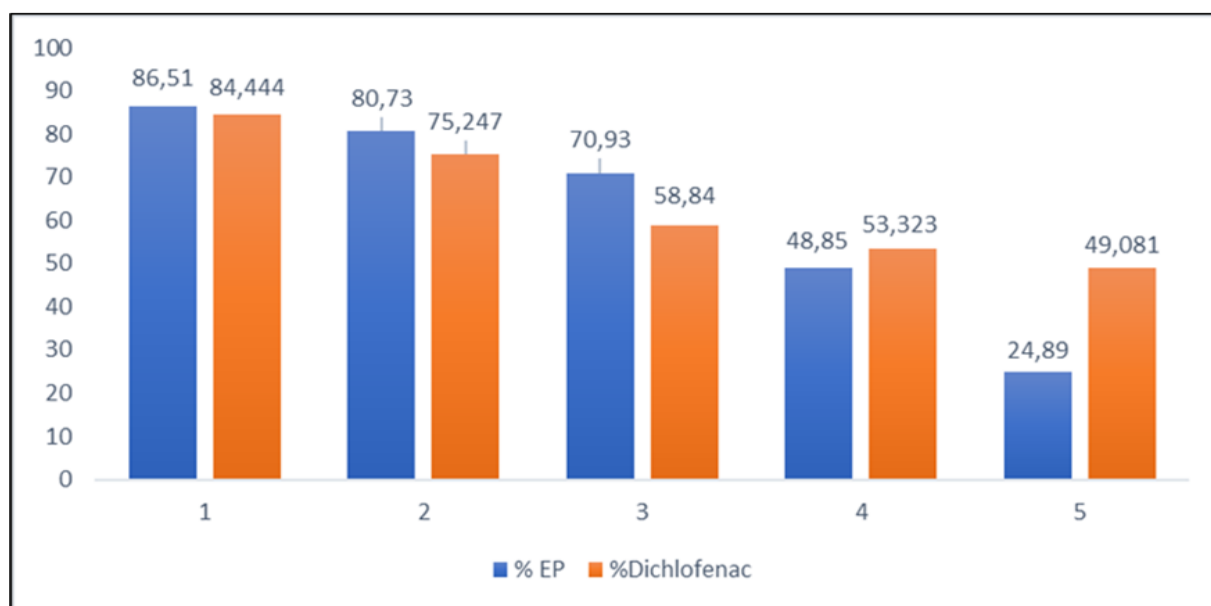


Figure 11 : Pourcentages d'inhibition de la dénaturation des protéines desterpénoides des racines d'*Echium plantagineum* L. et du dichlofenac.

L'activité anti-inflammatoire peut aussi être exprimée en valeurs de concentrations inhibitrices CI_{50} .

Les valeurs du **tableau 05** présentent l'activité anti-inflammatoire de l'extrait d'EP, évaluée à partir de la CI_{50} , correspondant à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % de la dénaturation de la BSA égale à 0,14 mg/ml, tout à fait comparable à celle du diclofénac qui a une CI_{50} de l'ordre de 0,11 mg/ml.

Tableau 05 : Valeurs des IC_{50} des extraits des racines *d'Echium plantagineum* L. et du diclofénac

	CI_{50} (mg/mL)
<i>Echium plantagineum</i> L.	0,14
Diclofénac	0,11

Après interprétation de ce tableau nous constatons que l'extrait de racines *d'Echium plantagineum* L. possède une activité anti-inflammatoire comparable à celle du diclofénac.

On peut donc en conclure, compte tenu de la proximité des deux valeurs, que l'extrait *d'Echium plantagineum* L. possède une activité anti-inflammatoire intéressante et non négligeable. Cette activité pourrait s'expliquer par la présence de composés bioactifs tels que les terpénoides.

En comparaison avec les résultats de **Harouat et Hattab (2024)** rapportés sur l'extrait phénolique des feuilles d'EP, une valeur de CI_{50} de 1,44 mg/ml a été enregistrée pour l'activité anti-inflammatoire *in vitro*, mesurée par l'inhibition de la dénaturation de la protéine d'albumine sérique bovine (BSA). Ces résultats montrent que l'extrait terpénique des racines possède une activité anti-inflammatoire nettement supérieure à celle de l'extrait phénolique des feuilles. D'autre part, les résultats de l'analyse de l'extrait de feuilles d'EP ont montré qu'il était particulièrement riche en polyphénols, en flavonoïdes et en tanins. Les auteurs ont attribué l'activité anti-inflammatoire observée principalement à ces composés phénoliques. Cependant, malgré cette richesse en polyphénols, l'activité anti-inflammatoire obtenue reste inférieure à celle présente dans l'extrait de terpène issu des racines.

Nos résultats indiquent que les racines de *Echium plantagineum* L. constituent une source naturelle prometteuse de composés anti-inflammatoires, et que l'extrait terpénique obtenu par macération présente une efficacité notable, comparable à celle du diclofénac. Cette observation renforce l'intérêt pharmacologique des racines de cette espèce.

A decorative border in a light green color, shaped like a scroll. It has a vertical section on the left and horizontal sections at the top and bottom, with rounded, scroll-like ends at the corners.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Cette étude a permis de mettre en évidence le potentiel biologique de l'extrait terpénique obtenu à partir des racines d'*Echium plantagineum* L. L'extraction réalisée par macération successive à l'hexane puis à l'acétone a conduit à l'obtention d'un extrait présentant un rendement relativement faible à hauteur de 0,24 %, ce qui pourrait s'expliquer par la faible teneur des racines en composés terpéniques. Toutefois, malgré ce rendement limité, l'extrait obtenu a révélé des activités biologiques très importantes.

D'une part, l'évaluation de l'activité antioxydante par le test du DPPH a montré une forte capacité de piégeage des radicaux libres, avec un pourcentage d'inhibition atteignant 96,88 % à la concentration de 0,5 mg/mL. La valeur de la CI_{50} obtenue de l'ordre de 0,08 mg/mL, témoigne d'un pouvoir antioxydant puissant de l'extrait terpénique des racines d'*Echium plantagineum* L. Ces résultats suggèrent que les terpénoïdes présents dans les racines jouent un rôle important dans la neutralisation des espèces réactives de l'oxygène et la réduction du stress oxydatif.

D'autre part, en ce qui concerne l'activité anti-inflammatoire, testée par l'inhibition de la dégradation thermique de l'albumine (BSA), nos résultats rapportent une relation dose-effet claire, l'inhibition augmentant progressivement avec la concentration pour atteindre 86,51 % à 1 mg/ml avec une CI_{50} de l'extrait terpénique d'une valeur de 0,14 mg/ml, comparable à 0,11 mg/ml pour le diclofénac.

En conclusion, ces résultats confirment que les racines d'*Echium plantagineum* L. contiennent des métabolites secondaires, notamment des terpénoïdes, capables de neutraliser les radicaux libres et de stabiliser les protéines contre la dénaturation, un mécanisme clé de l'inflammation et appuient l'intérêt pharmacologique des racines d'*Echium plantagineum* L. et valorise leur utilisation potentielle comme source naturelle de molécules bioactives.

Comme perspectives il serait judicieux d'effectuer d'autres études, telles que :

- ✓ Réaliser une caractérisation plus fine des composés terpéniques par des méthodes chromatographiques (CPG/SM ou HPLC).
- ✓ Étudier l'activité biologique sur d'autres parties de la plante pour comparer les rendements et l'efficacité.
- ✓ Envisager des tests *in vivo* pour confirmer le potentiel thérapeutique de ces extraits dans le traitement des maladies inflammatoires.

Références bibliographiques

-A-

Aber, R., & bouabdallah, L. (2025). Évaluation des activités biologiques des polyphénols extraits des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L. (Mémoire de master, Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen, Algérie).

Antioxidant activities of five Chinese rice wines and the involvement of phenolic compounds. *Food Research International*, 39(5), 581–587. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.12.001>.

-B-

Bardaji, D. K. R., Silva, N. B. S., Miranda, R. R., Martins, C. H. G., Savka, M. A., & Hudson, A. O. (2025). Unlocking the potential of Brazilian plant terpenes to combat antimicrobial resistance. *ACS Bio & Med Chem Au*, 5(3), 365–378. <https://doi.org/10.1021/acsbiomedchemau.5c00069>

Baudin, B. (2020). Stress oxydant et protections antioxydantes. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2020(522), 22–30. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(20\)30159-3](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(20)30159-3)

Boulguendoul, M., & Remouche, C. (2024). Enquête ethnobotanique quantitative sur les plantes médicinales utilisées dans la ville de Constantine [Mémoire de master, Université Frères Mentouri Constantine 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie].

Boutoumou, F., & Foughali, I. (2022). L'inflammation colique (Mémoire de master en biochimie). Université Frères Mentouri Constantine 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biochimie et Biologie Cellulaire et Moléculaire, Constantine, Algérie.

Byng, J. W., Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Fay, M. F., Judd, W. S., Soltis, D. E., Mabberley, D. J., Sennikov, A. N., Soltis, P. S., & Stevens, P. F. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>

-C-

Câmara, J. S., Perestrelo, R., Ferreira, R., Berenguer, C. V., Pereira, J. A. M., & Castilho, P. C. (2024). Plant-derived terpenoids: A plethora of bioactive compounds with several health

functions and industrial applications—A comprehensive overview. *Molecules*, 29, 3861. <https://doi.org/10.3390/molecules29163861> □

Cheng, R., Yang, S., Wang, D., Qin, F., Wang, S., & Meng, S. (2025). Advances in the biosynthesis of plant terpenoids: Models, mechanisms, and applications. *Plants*, 14(10), Article 1428. <https://doi.org/10.3390/plants14101428>

Chrzanowska, E., Denisow, B., Ekiert, H., & Pietrzyk, Ł. (2024). Metabolites obtained from Boraginaceae plants as potential cosmetic ingredients—A review. *Molecules*, 29, 5088. <https://doi.org/10.3390/molecules29215088> □

-D-

Références bibliographiques

Danae K. R. Bardaji, Silva, N. B. S., Miranda, R. R., Martins, C. H. G., Savka, M. A., & Hudson, A. O. (2025). Unlocking the Potential of Brazilian Plant Terpenes to Combat Antimicrobial Resistance. *ACS Bio & Med Chem Au*, 5(3), 365–378. <https://doi.org/10.1021/acsbiomedchemau.5c00069>

-E-

Ewelina Chrzanowska, Denisow, B., Ekiert, H., & Pietrzyk, L. (2024). Metabolites Obtained from Boraginaceae Plants as Potential Cosmetic Ingredients—A Review. *Molecules*, 29(21), 5088. <https://doi.org/10.3390/molecules29215088>

-F-

Fritsch, J., & Abreu, M. T. (2019). The microbiota and the immune response: what is the chicken and what is the egg? *Gastrointestinal Endoscopy Clinics*, 29(3), 381-393.

-G-

Gecer, E. N., & Erenler, R. (2023). Biogenic synthesis of silver nanoparticles using *Echium vulgare*: Characterisation, quantitative analysis of bioactive compounds, an-tioxidant activity And catalytic degradation. *Journal of the Indian Chemical Society*, 100(5), 101003. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jics.2023.101003>

Glensk, M., Dudek, M.K., Kinkade, P., Santos, E. C. S., Glinski, V. B., Ferreira, D., Seweryn, E., Kaźmierski, S., Calixto, J. B., & Glinski, J. A. (2022). Isolation of echimidine and its C-7 isomers from *Echium plantagineum* L. and their hepatotoxic effect on rat hepatocytes. *Molecules*, 27(9), 2869. <https://doi.org/10.3390/molecules27092869>.

Gülçin, İ. (2025). Antioxidants: A comprehensive review. *Archives of Toxicology*, 99, 1893–1997. <https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2>.

-H-

Hannoodee, S., & Nasuruddin, D. N. (2024). Acute inflammatory response. In StatPearls. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556083/>

Harouat, K., & Hattab, I. (2024). Évaluation in vitro et in vivo des activités biologiques des composés bioactifs des feuilles de *Echium plantagineum* L. Mémoire de master en sciences alimentaires, Université Aboubekr Belkaid Tlemcen.

-J-

Jin, J., Boersch, M., Nagarajan, A., Davey, A. K., & Zunk, M. (2020). Antioxidant Properties and Reported Ethnomedicinal Use of the Genus *Echium* (Boraginaceae). *Antioxidants*, 9(8),722. <https://doi.org/10.3390/antiox9080722>

-K-

Références bibliographiques

Karthik, K., Kumar, P. B. R., Priya, R. V., Kumar, K. S., & Rathore, R. S. B. (2013). Evaluation of anti-inflammatory activity of *Canthium parviflorum* by in-vitro method. *Indian Journal of Research in Pharmacy and Biotechnology*, 1(5), 729–730.

Kefi, R., Haddad, K., Hamza, A., Ben Jannet, H., Mighri, Z., & Aouni, M. (2018). Phytochemical investigation and biological activities of *Echium arenarium* extracts. *Journal of Microbial Pathogenesis*, 123, 286-296. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.02.050>

Khanam, S., Mishra, P., Faruqui, T., Alam, P., Albalawi, T., Siddiqui, F., Rafi, Z., & Khan, S. (2025). Plant-based secondary metabolites as natural remedies: a comprehensive review on terpenes and their therapeutic applications. *Frontiers in Pharmacology*, 16, 1587215. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1587215>

-L-

Letsyo, E., Dzikunoo, J., Dzah, C. S., Adams, Z. S., & Asante-Donyinah, D. (2023). Hepatic phytotoxins in herbal medicines: A review of Africa's pyrrolizidine alkaloid-containing plants, their traditional uses, contamination pathways and associated health risks. *South African Journal of Botany*, 161, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.08.011>

-M-

Maddipati, K. R. (2024). Distinct etiology of chronic inflammation - implications on degenerative diseases and cancer therapy. *Frontiers in Immunology*, 15, 1460302. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1460302>

Masyita, A., Sari, R. M., Astuti, A. D., Yasir, B., Rumata, N. R., Emran, T. B., Nainu, F., & Simal-Gandara, J. (2022). Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry: X*, 13, 100217. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>

Moita, E., Gil-Izquierdo, A., Sousa, C., Ferreres, F., Silva, L. R., Valentão, P., Domínguez-Perles, R., Baenas, N., & Andrade, P. B. (2013). Integrated analysis of COX-2 and iNOS derived inflammatory mediators in LPS-stimulated RAW macrophages pre-exposed to *Echium plantagineum* L. bee pollen extract. *PLoS ONE*, 8(3), e59131. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059131>

Moussaoui, M. (2017). Étude de l'activité anti-inflammatoire in vitro de l'extrait méthanolique d'une plante médicinale « *Globularia alypum* » (Mémoire de master, Université Abbes Laghrou-Khenchela, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie Moléculaire et Cellulaire, Algérie).

-P-

Pękal A., Pyrzynska K. (2015). Effect of pH and metal ions on DPPH radical scavenging activity of tea. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 66(1): 58-62.

Pilerood, S.A.; Prakash, J. (2014). Evaluation of nutritional composition and antioxidant activity of Borage (*Echium plantagineum*) and Valerian (*Valerian officinalis*). *Int. J. Food Sci. Technol*, 51, 845–854.

-Q-

Références bibliographiques

Que, F., Mao, L., & Pan, X. (2006). Antioxidant activities of five Chinese rice wines and the involvement of phenolic compounds. *Food Research International*, 39(5), 581–587. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.12.001>.

-R-

Reguia, O., & Zekraoui, A. (2019). Activité biologique de quelques plantes médicinales dans la région de M'sila : *Echium aspernum* L., *Phlomis crinita* Cav. et *Dittrichia viscosa* L. Mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf de M'sila.

Reuter, S., Gupta, S. C., Chaturvedi, M. M., & Aggarwal, B. B. (2010). Oxidative stress, inflammation, and cancer: How are they linked? *Free Radical Biology & Medicine*, 49(11), 1603–1616. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.09.006>

-S-

Satapathy, T., Patel, N., Sahu, P., & Satapathy, A. (2025). Decoding inflammatory signaling networks: From molecular mechanisms to therapeutic targets. *Advances in Biomarker Sciences and Technology*, 7, 204–221. <https://doi.org/10.1016/j.abst.2025.07.002>

Sheydaei, P., Amaral, M. E., & Duarte, A. P. (2025). Genus *Echium* L.: Phytochemical characterization and bioactivity evaluation for drug discovery. *Plants journal*, 14(16), 2548. <https://doi.org/10.3390/plants14162548>

Stevens P F., 2001. Onwards, AP-Websit : <http://hortical.com/mot691.html> (consulté le 13 Mai 2019).

Singh, B., & Sharma, R. A. (2015). Plant terpenes: defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications. 3 *Biotech*, 5(2), 129–151. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0220-2>

-T-

Terzieva, S., Grozeva, N., & Tzanova, M. (2025). A review of the main biologically active compounds of the genus *Echium* L., naturally distributed in Bulgaria, and their pharmacological potential. *Pharmaceuticals*, 18(11), 1618. <https://doi.org/10.3390/ph18111618>

Tholl, D. (2015). Biosynthesis and Biological Functions of Terpenoids in Plants. In *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 148, 63–106.

Truong, D.-H., Ta, N. T. A., Pham, T. V., Huynh, T. D., Do, Q. T. G., Dinh, N. C. G., Dang, C. D., Nguyen, T. K. C., & Bui, A. V. (2021). Effects of solvent–solvent fractionation on the total terpenoid content and in vitro anti-inflammatory activity of *Severinia buxifolia* bark extract. *Food Science & Nutrition*, 9(4), 1720–1735. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2149>

-U-

Ünsal, Ç., Vural, H., Sariyar, G., Özbek, B., & Ötük, G. (2010). Traditional Medicine in Bilecik Province (Turkey) and Antimicrobial Activities of Selected Species. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, 7(2), 139–150.

Résumé : Ces dernières années, la recherche de sources végétales naturelles riches en composés bioactifs aux propriétés thérapeutiques a suscité un intérêt croissant, en raison des effets secondaires associés à de nombreux médicaments traditionnels. Parmi les plantes prometteuses, *Echium plantagineum* L. se distingue par sa richesse en métabolites secondaires, notamment en composés terpéniques connus pour leurs multiples activités biologiques. Cette étude a pour objectif d'extraire et d'étudier les composés terpéniques présents dans les racines d'*Echium plantagineum* L., ainsi que d'évaluer certaines de leurs propriétés biologiques à savoir ; antioxydante et anti-inflammatoire. Dans un premier temps, l'extraction et l'isolement des terpénoides a été réalisé par macération, dans le but de mettre en évidence leur importance biologique et leur potentiel thérapeutique dans la lutte contre le stress oxydatif et les processus inflammatoires. Les résultats de l'analyse des composés terpéniques présents dans les racines d'*Echium plantagineum* L. ont révélé une teneur en terpénoides estimée à 0,24 %, ce qui confère à l'extrait une composition moyenne en ces composés. L'activité antioxydante a été déterminée par le test de piégeage du DPPH et comparée à l'acide ascorbique utilisé comme référence. Les résultats obtenus ont révélé une activité antioxydante significative avec une valeur de IC_{50} de l'ordre de 0,08 mg/ml pour l'extrait terpénique des racines, indiquant un potentiel antioxydant remarquable. Par ailleurs, l'activité anti-inflammatoire des terpénoides des racines d'*Echium plantagineum* L. a été évaluée à l'aide d'un test d'inhibition de la dénaturation des protéines. L'extrait a montré une activité anti-inflammatoire très intéressante avec une IC_{50} égale à 0,14 mg/ml, proche de celle enregistrée pour le diclofénac 0,11 mg/ml utilisé comme référence. En conséquence, ces résultats indiquent la présence de composés terpéniques bioactifs capables de neutraliser les radicaux libres et de réduire le stress oxydatif, de lutter contre les inflammations et appuient la possibilité d'utiliser les racines de l'*Echium plantagineum* L. comme source naturelle de composés biologiquement actifs, en particulier les terpénoides, en raison de leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires.

Mots clés : *Echium plantagineum* L., composés terpéniques, racines, activité anti oxydante, activité anti inflammatoire.

Abstract: In recent years, the search for natural plant sources rich in bioactive compounds with therapeutic properties has generated increasing interest due to the side effects associated with many conventional medications. Among the promising plants, *Echium plantagineum* L. stands out for its richness in secondary metabolites, particularly terpene compounds known for their multiple biological activities. This study aims to extract and study the terpene compounds present in the roots of *Echium plantagineum* L., as well as to evaluate some of their biological properties, namely antioxidant and anti-inflammatory. Initially, the extraction and isolation of terpenoids was carried out by maceration, in order to highlight their biological importance and therapeutic potential in combating oxidative stress and inflammatory processes. The results of the analysis of terpene compounds present in the roots of *Echium plantagineum* L. revealed an estimated terpenoid content of 0.24%, giving the extract an average composition of these compounds. Antioxidant activity was determined by the DPPH scavenging assay and compared to ascorbic acid, used as a reference. The results obtained revealed significant antioxidant activity with an IC_{50} value of approximately 0.08 mg/ml for the terpene extract of the roots, indicating remarkable antioxidant potential. Furthermore, the anti-inflammatory activity of the terpenoids from the roots of *Echium plantagineum* L. was evaluated using a protein denaturation inhibition assay. The extract showed very promising anti-inflammatory activity with an IC_{50} of 0.14 mg/ml, close to that recorded for diclofenac (0.11 mg/ml), used as a reference. Consequently, these results indicate the presence of bioactive terpene compounds capable of neutralizing free radicals and reducing oxidative stress, combating inflammation, and supporting the potential use of *Echium plantagineum* L. roots as a natural source of biologically active compounds, particularly terpenoids, due to their antioxidant and anti-inflammatory properties.

Keywords: *Echium plantagineum* L., terpene compounds, roots, antioxidant activity, anti-inflammatory activity.

ملخص: في السنوات الأخيرة، ازداد الاهتمام بالبحث عن مصادر نباتية طبيعية غنية بالمركبات النشطة بيولوجيًا ذات الخصائص العلاجية، وذلك بسبب الآثار الجانبية المصاحبة للعديد من الأدوية التقليدية. ومن بين النباتات الواعدة، يبرز نبات *Echium plantagineum* L. لغناه بالمستقلبات الثانوية، ولا سيما مركبات التربين المعروفة بنشاطها البيولوجي المتعدد. تهدف هذه الدراسة إلى استخلاص ودراسة مركبات التربين الموجودة في جذور نبات *Echium plantagineum* ، بالإضافة إلى تقييم بعض خصائصها البيولوجية، وتحديدًا خصائصها المضادة للأكسدة والالتهابات. في البداية، تم استخلاص وعزل التربينويدات عن طريق النقع، وذلك لإبراز أهميتها البيولوجية وإمكاناتها العلاجية في مكافحة الإجهاد التأكسدي والعمليات الالتهابية. أظهرت نتائج تحليل مركبات التربين الموجودة في جذور نبات *Echium plantagineum* L. أن محتوى التربينويدات يُقدر بنسبة 0.24%، مما يُعطي المستخلص تركيبة متوسطة لهذه المركبات. تم تحديد النشاط المضاد للأكسدة باستخدام اختبار إزالة الجذور الحرة DPPH ومقارنته بحمض الأسكوربيك، المستخدم كمرجع. وكشفت النتائج عن نشاط مضاد للأكسدة ملحوظ بقيمة IC_{50} تقارب 0.08 ملغم/مل لمستخلص التربينات من الجذور، مما يدل على إمكانات مضادة للأكسدة فائقة علاوة على ذلك، تم تقييم النشاط المضاد للالتهابات للتربينويدات المستخلصة من جذور نبات *Echium plantagineum* L. باستخدام اختبار تثبيط تمسخ البروتين. وأظهر المستخلص نشاطًا واعدًا للغاية مضادًا للالتهابات بقيمة IC_{50} تبلغ 0.14 ملغم/مل، وهي قريبة من القيمة المسجلة للدائيكلوفيناك (0.11 ملغم/مل)، المستخدم كمرجع. وبالتالي، تشير هذه النتائج إلى وجود مركبات تربينية نشطة بيولوجيًا قادرة على معادلة الجذور الحرة وتقليل الإجهاد التأكسدي، ومكافحة الالتهابات، مما يدعم إمكانية استخدام جذور نبات *Echium plantagineum* L. كمصدر طبيعي للمركبات النشطة بيولوجيًا، وخاصة التربينويدات، نظرًا لخصائصها المضادة للأكسدة والالتهابات.

الكلمات المفتاحية: نبات *Echium plantagineum* L.، مركبات التربين، الجذور، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للالتهابات.