



**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**



**Université ABOUBEKR BELKAID**

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

**Et de l'Univers**

**Département de Biologie**

**Laboratoire des Produits Naturels «LAPRONA »**

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

**Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences Biologiques**

Présenté par :

***ABER Roufaïda***

***BOUABDALLAH Lyliã***

*Thème :*

**Evaluation des activités biologiques des composés phénoliques des  
feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L.**

Soutenu le 30/06/2025, devant le jury composé de :

Présidente	M <sup>me</sup> SOUALEM-MAMI Z	MCA	Université de Tlemcen
Examinatrice	M <sup>me</sup> BEKKARA-SELADJI M	MCA	Université de Tlemcen
Encadrante	M <sup>me</sup> BENAMAR-DIB H	MCA	Université de Tlemcen

**Année universitaire : 2024/2025**

## *REMERCIEMENTS*

Avant toute chose, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

Nous remercions tout particulièrement **Madame BENAMA- DIB Hanane**, notre encadrante de mémoire, pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité, ses conseils éclairés et sa rigueur scientifique, qui ont grandement enrichi notre réflexion et orienté nos recherches.

Mes sincères remerciements vont à **Madame SOAULEM-MAMI Zoubida**, pour avoir accepté de présider ce jury, c'est un honneur de pouvoir profiter de ses précieux conseils.

Nous remercions également l'ensemble des enseignants et intervenants, plus spécialement **Mme BEKKARA-SELADJI Meryem** qui nous a été d'une aide précieuse tout au long de ce travail.

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 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.

## Résumé

Depuis toujours, les plantes jouent un rôle essentiel dans la vie humaine, en tant que source de nutriments et de composés bioactifs. Riches en métabolites secondaires tels que les polyphénols, flavonoïdes et huiles essentielles, elles possèdent des propriétés pharmacologiques précieuses, notamment antioxydantes et antimicrobiennes.

Dans le cadre de cette étude, *Echium plantagineum* L. a été sélectionnée parmi un ensemble de plantes d'intérêt, en vue d'évaluer les propriétés biologiques de ses feuilles et ses racines. Les objectifs spécifiques de ce travail consistaient à quantifier les teneurs en composés phénoliques totaux, flavonoïdes, tanins condensés et terpénoïdes, évaluer le potentiel antioxydant des extraits phénoliques à l'aide de deux approches colorimétriques *in vitro*, à savoir les méthodes DPPH et FRAP, et examiner l'activité antimicrobienne par la méthode de diffusion sur disque, afin de déterminer leur efficacité contre diverses souches microbiennes.

Les résultats des dosages des composés phénoliques ont révélé que les racines d'*Echium plantagineum* L. présentaient une teneur plus élevée en phénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés comparativement aux feuilles avec des valeurs de 94,1401mgEAG/gE, 69,75mgEC/gE, 24,642mgEC/gE respectivement. En revanche, les feuilles se sont avérées plus riches en terpénoïdes avec une valeur importante de 696,4838mgEL/gE.

De plus, les racines ont présenté un pouvoir antioxydant plus important avec une  $CI_{50}$  de 0,28 mg/mL et  $CE_{50}$  de 0,36 mg/mL, confirmant leur potentiel thérapeutique. Enfin, la détermination du pouvoir antimicrobien a démontré que l'extrait phénolique racinaire d'*Echium plantagineum* L. (EPR) a enregistré une activité plus marquée contre les bactéries Gram positives, particulièrement *Micrococcus luteus* (22,3 mm) et *Enterococcus faecalis* (16,8 mm). À l'inverse, l'extrait phénolique des feuilles (EPF) s'est montré plus efficace contre les bactéries Gram négatives, notamment *Klebsiella pneumoniae* (13,5mm) et *Pseudomonas aeruginosa* (12,5 mm).

Globalement, l'extrait des racines d'*Echium plantagineum* L. s'est révélé plus efficace, avec une plus grande richesse en composés phénoliques, une meilleure activité antioxydante et une action antimicrobienne marquée. En revanche, les feuilles, plus riches en terpénoïdes ont montré une meilleure efficacité contre certaines souches Gram négatives, soulignant la complémentarité des deux extraits.

**Mots-clés :** *Echium plantagineum* L., composés phénoliques, activité anti oxydante, activité antimicrobienne, feuilles, racines.

## ملخص

لطالما لعبت النباتات دورًا أساسيًا في حياة الإنسان كمصدر للمغذيات والمركبات النشطة بيولوجيًا. لغناها بالمستقبلات الثانوية، مثل البوليفينولات والفلافونويدات والزيوت العطرية، تتمتع بخصائص دوائية قيّمة، بما في ذلك خصائص مضادة للأكسدة ومضادة للميكروبات.

في هذه الدراسة، تم اختيار نبات *Echium plantagineum* L. من مجموعة نباتات ذات أهمية لتقييم الخصائص البيولوجية لأوراقه وجذوره. وتتمثل الأهداف المحددة لهذا العمل في تحديد محتوى المركبات الفينولية الكلية، والفلافونويدات، والعفص المكثف، والترينويدات، وتقييم إمكانات مضادات الأكسدة في المستخلصات الفينولية باستخدام طريقتين لقياس الألوان في المختبر، وهما طريقتا DPPH وFRAP، وفحص نشاطها المضاد للميكروبات باستخدام طريقة انتشار القرص لتحديد فعاليتها ضد سلالات ميكروبية مختلفة.

أظهرت نتائج تحاليل المركبات الفينولية أن جذور نبات *Echium plantagineum* L. تحتوي على مستويات أعلى من البوليفينولات الكلية والفلافونويدات والعفص المكثف مقارنةً بالأوراق، حيث بلغت قيمها 94.1401 ملغ EAG غ/ E ، و 69.75 ملغ EC/ غ E ، و 24.642 ملغ EC/ غ E ، على التوالي. في المقابل، وُجد أن الأوراق أغنى بالترينويدات، حيث بلغت قيمتها 696.4838 ملغ EL/ غ E. علاوة على ذلك، أظهرت الجذور نشاطًا مضادًا للأكسدة أكبر، حيث بلغ  $CI_{50}$  بقيمة تقدر بـ: 0.28 ملغ/مل و  $CE_{50}$  بقيمة تقدر بـ: 0.36 ملغ/مل، مما يؤكد فاعليتها العلاجية. أخيرًا، أظهر تحديد القوة المضادة للميكروبات أن مستخلص جذور نبات *Echium plantagineum* L. الفينوليّ سجّل نشاطًا أكثر وضوحًا ضد البكتيريا موجبة الجرام، وخاصةً *Micrococcus Luteus* (22.3 مم) و *Enterococcus faecalis* (16.8 مم). في المقابل، كان مستخلص الأوراق الفينوليّ أكثر فعالية ضد البكتيريا سالبة الجرام، وخاصةً *Klebsiella pneumoniae* (13.5 مم) و *Pseudomonas aeruginosa* (12.5 مم).

بشكل عام، كان مستخلص جذور *Echium plantagineum* L. أكثر فعالية، إذ احتوى على نسبة أعلى من المركبات الفينولية، ونشاط مضاد للأكسدة أفضل، وتأثير مضاد للميكروبات ملحوظ. في المقابل، أظهرت الأوراق، الغنية بالترينويدات، فعالية أكبر ضد بعض سلالات البكتيريا سالبة الجرام، مما يُبرز تكامل المستخلصين.

الكلمات المفتاحية: *Echium plantagineum* L. ، مركبات فينولية، نشاط مضاد للأكسدة، نشاط مضاد للميكروبات، أوراق، جذور.

## Abstract

Plants have always played an essential role in human life, as a source of nutrients and bioactive compounds. Rich in secondary metabolites such as polyphenols, flavonoids and essential oils, they possess valuable pharmacological properties, notably antioxidant and antimicrobial.

In this study, *Echium plantagineum* L. was selected from a group of plants of interest, with a view to assessing the biological properties of its leaves and roots. The specific objectives of this work are to quantify the contents of total phenolic compounds, flavonoids, condensed tannins and terpenoids, to assess the antioxidant potential of phenolic extracts using two in vitro colorimetric approaches, namely the DPPH and FRAP methods, and to examine antimicrobial activity using the disk diffusion method, in order to determine their efficacy against various microbial strains.

The results of phenolic compound assays revealed that *Echium plantagineum* L. roots had a higher content of total polyphenols, flavonoids and condensed tannins compared with leaves, with values of 94,1401mgEAG/gE, 69,75mgEC/gE, 24,642mgEC/gE respectively. Leaves, on the other hand, were richer in terpenoids, with a value of 696,4838mgEL/gE.

Furthermore, the roots exhibited greater antioxidant power with an  $IC_{50}$  of 0.28 mg/mL and  $EC_{50}$  of 0.36 mg/mL, confirming their therapeutic potential. Finally, determination of antimicrobial potency showed that the phenolic root extract of *Echium plantagineum* L. recorded more marked activity against Gram-positive bacteria, particularly *Micrococcus luteus* (22,3 mm) and *Enterococcus faecalis* (16,8 mm). Conversely, phenolic leaf extract was more effective against Gram-negative bacteria, notably *Klebsiella pneumoniae* (13,5 mm) and *Pseudomonas aeruginosa* (12,5 mm).

Overall, the *Echium plantagineum* L. root extract proved more effective, with a higher phenolic compound content, better antioxidant activity and marked antimicrobial action. On the other hand, the leaves, richer in terpenoids, were more effective against certain Gram-negative strains, underlining the complementary nature of the two extracts.

**Key-words:** *Echium plantagineum* L., phenolic compounds, antioxidant activity, antimicrobial activity, leaves, roots

## Table des matières

Remerciements	
Résumé .....	
ملخص .....	
Abstract .....	
Liste des abréviations.....	
Liste des figures.....	
Liste des photos .....	
Liste des tableaux.....	
Introduction .....	1

### Partie 1. Synthèse bibliographique

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

I.	Famille des Boraginacées .....	5
II.	Description et classification botanique d' <i>Echium Plantagineum</i> L. ....	5
III.	Répartition géographique d' <i>Echium Plantagineum</i> L. ....	7
IV.	Principes actifs d' <i>Echium Plantagineum</i> L. ....	7
V.	Composition chimique d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	8
VI.	Utilisation traditionnelle d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	10
VII.	Toxicité d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	10
VIII.	Travaux antérieurs.....	10

#### Chapitre 2. Métabolites secondaires et activités biologiques

I	Définition des métabolites secondaires.....	13
I.1.	Définition et classification des composés phénoliques .....	13
I.1.1	Définition et structure des acides phénoliques .....	14
I.1.2	Définition et structure des flavonoïdes.....	15
I.1.3	Définition et structure des tanins.....	16
I.2.	Définition et classification des terpénoïdes.....	18
II.	Stress oxydatif et pouvoir anti oxydant.....	20
II.1.	Stress oxydatif.....	20
II.2	Effets du stress oxydatif .....	20
II.3	Pouvoir anti oxydant .....	20
II.3.1	Types d'antioxydants .....	20
III.	Activité antibactérienne.....	22
III.1	Antibiotiques .....	22

III.2. Mode d'action des antibiotiques .....	22
III.3. Mécanisme d'action des antibiotiques végétaux contre les bactéries .....	23
III.4. Activité antifongique.....	23

## **Partie 2. Partie expérimentale**

### **Matériel et méthodes**

I Origine et préparation du matériel végétal.....	26
II Extraction des composés phénoliques.....	27
II.1. Extraction des polyphénols des feuilles d' <i>Echium plantaginum</i> L.....	27
II.2. Extraction des polyphénols des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	29
III Dosage des composés phénoliques .....	30
III.1. Dosage des polyphénols .....	30
III.2. Dosage des flavonoïdes .....	31
III.3. Dosage des tanins condensés.....	32
III.4. Dosage des terpénoïdes .....	32
IV Evaluation de l'activité antioxydante d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	33
IV.1. Méthode de piégeage du radical libre DPPH .....	33
IV.2. Test de réduction du fer FRAP.....	34
V. Evaluation du pouvoir antimicrobien des extraits d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	34
V.1. Méthode de diffusion sur disque .....	36
V.2. Méthode de micro-dilution en milieu liquide.....	37

### **Résultats et discussion**

I. Rendement des extraits phénoliques .....	40
II. Teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes ,tanins condensés et terpénoïdes .....	40
III. Evaluation de l'activité antioxydante des feuilles et des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	42
III.1. Piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) .....	42
III.2. Test de réduction du fer FRAP.....	44
IV. Evaluation de l'activité anti microbienne des feuilles et racines d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	47

### **Conclusion et perspectives**

Conclusion et perspectives.....	51
Références bibliographiques .....	53
Annexes.....	63

## *Liste des abréviations*

**ADN** : acide désoxyribonucléique

**ARN** : acide ribonucléique

**BHT** : butylhydroxytoluène

**BMH** : bouillon Mueller-Hinton

**BS** : bouillon Sabouraud

**C°** : degrés Celsius

**CE<sub>50</sub>** : concentration efficace

**CI<sub>50</sub>** : concentration inhibitrice

**CMI** : concentration minimale inhibitrice

**DO** : densité optique

**DMSO** : diméthylsulfoxyde

**EAT** : équivalent acide tannique

**EPF** : extrait phénolique des feuilles

**EPR** : extrait phénolique des racines

**EQ** : équivalent quercétine

**MV** : matériel végétal

**m/v** : masse/volume

**UFC/ml** : unités formant colonie par millilitre



## *Liste des figures*

<b>Figure 1.</b> Répartition géographique d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	7
<b>Figure 2.</b> Classification des métabolites secondaires .....	13
<b>Figure 3.</b> Classification des composés phénoliques .....	14
<b>Figure 4.</b> Structure de base des flavonoïdes .....	16
<b>Figure 5.</b> Structure des tanins hydrolysables.....	17
<b>Figure 6.</b> Structure des tanins condensés .....	17
<b>Figure 7.</b> Structure de base des terpènes (isoprène) .....	19
<b>Figure 8.</b> Classification des terpénoïdes .....	19
<b>Figure 9.</b> Classification des caroténoïdes .....	21
<b>Figure 10.</b> Protocole d'extraction des polyphénols des feuilles d' <i>Echium plantagineum</i> L...	28
<b>Figure 11.</b> Protocole d'extraction des polyphénols des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L ...	30
<b>Figure 12.</b> Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait phénolique des feuilles d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	43
<b>Figure 13.</b> Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait phénolique des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	43
<b>Figure 14.</b> Pouvoir réducteur du fer de l'extrait phénolique des feuilles d' <i>Echium plantagineum</i> L .....	45
<b>Figure 15.</b> Pouvoir réducteur du fer de l'extrait phénolique des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	46

## *Liste des photos*

<b>Photo 1.</b> Feuilles d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	5
<b>Photo 2.</b> Fleurs d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	6
<b>Photo 3.</b> Tige d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	6
<b>Photo 4.</b> Feuilles séchées d' <i>Echium plantagineum</i> L .....	26
<b>Photo 5.</b> Poudre de feuilles d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	26
<b>Photo 6.</b> Racines séchées d' <i>Echium plantagineum</i> L .....	27
<b>Photo 7.</b> Poudre de racines d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	27
<b>Photo 8.</b> Centrifugation de la solution .....	28
<b>Photo 9.</b> Filtration de la solution .....	28
<b>Photo 10.</b> Evaporation de la phase organique .....	29
<b>Photo 11.</b> Extrait phénolique des feuilles d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	29
<b>Photo 12.</b> Extrait phénolique des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	30
<b>Photo 13.</b> Imprégnation des disques d'extraits phénoliques des feuilles et des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	36
<b>Photo 14.</b> Incubation des boîtes de Pétri.....	37

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1:</b> Classification botanique d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	6
<b>Tableau 2:</b> Profil phytochimique des extraits bruts d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	8
<b>Tableau 3:</b> Propriétés biologiques des différentes parties d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	11
<b>Tableau 4:</b> Dérivés des acides phénoliques. ....	15
<b>Tableau 5:</b> Les différentes souches microbiennes testées.....	35
<b>Tableau 6:</b> Rendements en (%) des extraits phénoliques des feuilles et des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	40
<b>Tableau 7:</b> Teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes, tanins condensés et terpénoïdes des feuilles et des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	41
<b>Tableau 8 :</b> Valeurs des CI50 de l'acide ascorbique et des extraits phénoliques des feuilles et des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	44
<b>Tableau 9:</b> Valeurs des CE50 des extraits phénoliques des feuilles et des racines.....	46
<b>Tableau 10 :</b> Diamètres des zones d'inhibition en (mm) des extraits phénoliques des feuilles et des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L. ....	47
<b>Tableau 11 :</b> Concentrations minimales inhibitrices (CMI) des extraits phénoliques des feuilles et des racines d' <i>Echium plantagineum</i> L.....	49

---

# **Introduction**

---

## **Introduction**

---

Depuis l'Antiquité, les plantes médicinales sont exploitées à des fins thérapeutiques, et les traitements à base de plantes occupent une place importante dans les pratiques de soins traditionnels à travers le monde. En raison des effets indésirables liés aux médicaments de synthèse, l'étude de la chimie des plantes demeure un domaine de recherche d'une grande actualité en raison de leur richesse en molécules bioactives qui sont les métabolites secondaires. Les produits d'origine végétale suscitent un intérêt croissant et sont de plus en plus valorisés dans des domaines variés tels que la pharmacie, l'agroalimentaire et la cosmétique (**Latifian & Arslanoğlu, 2018**).

Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), environ 65 à 80 % de la population mondiale fait appel à la médecine traditionnelle pour répondre à ses besoins en soins de santé primaire, principalement en raison de la pauvreté et de l'accès limité aux services de médecine moderne (**Ang-Lee et al., 2006 ; Palomo, 2010 ; OMS, 2013 ; Boissière, 2018**).

Avec une superficie de 2 381 741 km<sup>2</sup>, l'Algérie est le plus grand pays riverain de la Méditerranée. Il est reconnu par sa diversité variétale en plantes médicinales et aromatiques, ainsi que leurs diverses utilisations populaires dans l'ensemble des terroirs du pays (**Hadjadj et al., 2019**).

Originnaire des régions méditerranéennes d'Europe et d'Afrique du Nord, *Echium plantagineum* L. est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des Boraginacées. Elle est particulièrement valorisée pour ses usages variés, notamment en tant que plante ornementale, mellifère et médicinale (**Comunian et al., 2016**).

Les métabolites secondaires contenus dans les végétaux sont largement reconnus pour leurs propriétés biologiques, en particulier leur potentiel antioxydant, qui leur permet de lutter contre le stress oxydatif qui est à l'origine du vieillissement prématuré, des cancers ou encore des maladies cardiovasculaires (**Salhi, 2017**).

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont générées au cours du métabolisme cellulaire normal et interviennent, à faibles concentrations, dans divers processus physiologiques. Toutefois, une production excessive de ces espèces, associée à une défaillance des mécanismes antioxydants de l'organisme, conduit à un déséquilibre entre oxydants et antioxydants, connu sous le nom de stress oxydatif. Les ERO peuvent alors altérer des biomolécules essentielles telles que les protéines, les lipides et les acides nucléiques, contribuant ainsi à l'apparition ou à l'aggravation de nombreuses pathologies (**Benbrinis, 2023**).

## Introduction

---

D'autre part, l'émergence croissante de la résistance bactérienne aux antibiotiques à l'échelle mondiale rend la découverte de nouveaux agents antimicrobiens essentielle dans la lutte contre les infections provoquées par des souches bactériennes résistantes (**Benguesmia et Chellouf, 2024**).

En réponse au problème croissant de la résistance aux antibiotiques, un intérêt scientifique considérable s'est porté sur l'exploration d'alternatives thérapeutiques efficaces contre les maladies infectieuses. Les plantes et leurs extraits, riches en métabolites secondaires, sont largement utilisés dans les pratiques de médecine traditionnelle (**Bouyahya et al., 2017**).

L'évaluation des propriétés phytopharmaceutiques, notamment les activités antioxydante et antimicrobienne, constitue une démarche à la fois pertinente et précieuse, en particulier lorsqu'il s'agit de plantes peu utilisées, rares ou encore méconnues en médecine traditionnelle. Ces espèces végétales peuvent en effet représenter une source potentielle de nouveaux composés bioactifs (**Pospíšilová, 2007**).

La présente étude s'inscrit dans une démarche de valorisation des propriétés biologiques de cette espèce médicinale. Avec pour objectif de déterminer les teneurs en composés bioactifs tels que les phénols totaux, les flavonoïdes, les tanins condensés et les terpénoïdes contenus dans les feuilles et les racines d'*Echium plantagineum* L.

Elle vise également à évaluer l'activité antioxydante ainsi que le potentiel antimicrobien des extraits phénoliques de ces mêmes parties.

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 vient clore, accompagnée de perspectives pour de futures recherches.

---

## **Partie 1.**

# **Synthèse bibliographique**

---

---

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

---

Le règne végétal se caractérise par une immense diversité, regroupant un grand nombre de familles de plantes aux caractéristiques variées et aux adaptations multiples. Parmi cette richesse botanique, on trouve la famille des Boraginacées.

### I. Famille des Boraginacées

Les boraginacées également connus sous le nom de « famille de la bourrache » regroupent environ 100 genres et 1800 espèces principalement répandus dans les zones tempérées du globe ce qui en fait une famille à distribution cosmopolite. Il s'agit majoritairement de plantes herbacées, annuelles ou vivaces, rarement ligneuses. Elles se reconnaissent facilement grâce à leur indument dense, c'est-à-dire leur revêtement de poils souvent rêches au toucher.

Parmi la diversité des espèces appartenant à la famille des Boraginacées, *Echium plantagineum* L. se distingue comme l'une des plus représentatives (Hilger et al., 2020).

### II. Description et classification botanique d'*Echium Plantagineum* L.

*Echium plantagineum* L., communément connue sous les noms de vipérine, herbe bleue ou fleur de serpent, et est désignée localement sous le nom de « Hachichat al-afaa » dans la région de Sétif, en Algérie (Berti et al., 2007). Elle est souvent annuelle, parfois bisannuelle appartenant à la famille des boraginacées. Elle possède une taille allant de 20 à 60cm de haut avec des tiges vertes, ascendantes et ramifiées à poils étalés (Cohen, 2013).

Les feuilles sont molles, grandes et ovales formant une rosette à nervures saillantes (Photo1). Les fleurs bleues ou violacées, sont grandes avec une corolle atteignant les 25-30mm, dressées en panicule à rameaux écartés (Photo 2). Elles contiennent cinq pétales et cinq sépales. Le fruit de cette plante porte le nom d'akène (Coste, 2011).



**Photo 1 :** Feuilles d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen, 2025).

Elle est caractérisée par des racines pivotantes qui sont particulièrement intéressantes en raison de leur capacité à produire des shikonines qui sont des composés bioactifs aux propriétés médicinales (Fu et al., 2020).



**Photo 2:** Fleur d'*Echium plantagineum* L.  
(Kourtes, 2010).



**Photo 3:** Tige d'*Echium plantagineum* L.  
(Tlemcen, 2025)

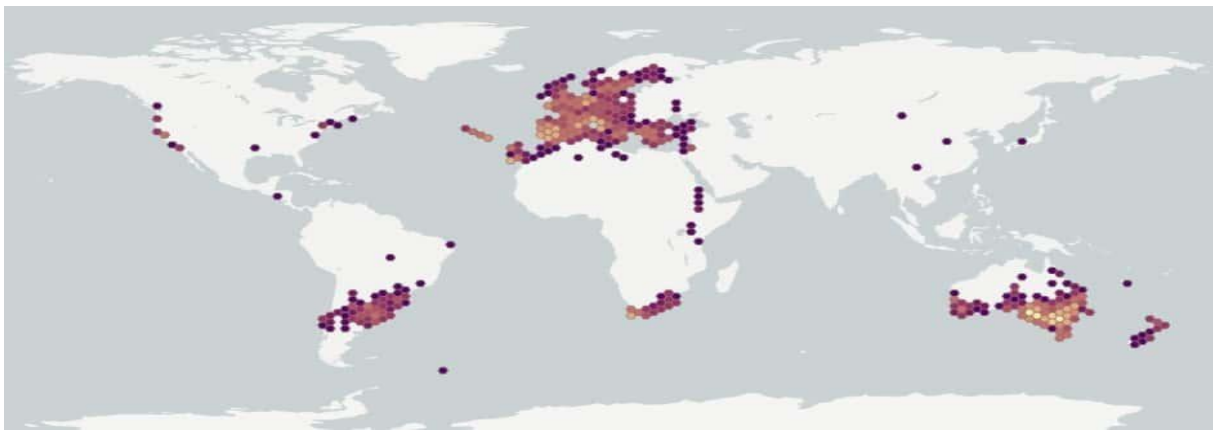
La classification botanique d'*Echium plantagineum* L. est représentée dans le tableau 1.

**Tableau 1:** Classification botanique d'*Echium plantagineum* L. (APG II, 2003).

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

### III. Répartition géographique d'*Echium plantagineum* L.

*Echium plantagineum* L. est une plante qui se développe principalement dans la région méditerranéenne comme le montre la figure 1. Elle est originaire de plusieurs régions d'Europe, notamment du Royaume-Uni, de la France, du Portugal, de l'Espagne, de l'Albanie, de la Bulgarie, de la Grèce, de l'Italie, de l'ex-Yougoslavie et de l'Ukraine. On la trouve également dans les Açores, les îles de Madère, les îles Canaries, en Afrique du Nord (nord de l'Algérie, Égypte, Libye, Maroc et Tunisie), ainsi qu'en Asie occidentale. Cette espèce préfère généralement des milieux sablonneux et rudéralisés, dont la floraison se fait entre les mois de juin et septembre (Lambinon et al., 2015).



**Figure 1:** Répartition géographique d'*Echium plantagineum* L. (Lambinon et al., 2015).

### IV. Principes actifs d'*Echium plantagineum* L.

*Echium plantagineum* L. est une source naturelle d'acides gras polyinsaturés essentiels tels que l'acide linoléique (oméga-6), et l'acide alpha linoléique (oméga-3) qui jouent un rôle important dans l'inflammation, la santé cardiaque et la régulation du cholestérol (Rashid et Mohd, 2016). Aussi, des flavonoïdes incluant la quercétine qui sont connues pour leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires protégeant les cellules contre le stress oxydatif, et réduisant l'inflammation et les risques de maladies cardiovasculaires (Tadi et Lall, 2018).

*Echium plantagineum* L. contient des saponines qui sont des molécules amphiphiles aux propriétés immunomodulatrices, antimicrobiennes et antioxydantes. Elles ont la capacité de réduire le cholestérol et améliorer la santé intestinale (Rahman et Rahman, 2017).

Les tannins sont des composés polyphénoliques connus pour leurs propriétés astringentes et antimicrobiennes. Ils agissent de manière bénéfique sur le système digestif en réduisant l'irritation et en favorisant la guérison des tissus. (Liu et Shi, 2015).

Les alcaloïdes non perrolyzidiniques sont également présents mais en plus petite quantité et peuvent représenter des effets psychotropes ou stimuler le système nerveux avec une toxicité (Saha et Sarker, 2019).

#### V. Composition chimique d'*Echium plantagineum* L.

À ce jour, les propriétés médicinales et les avantages potentiels du genre *Echium* demeurent largement sous-explorés (Jin et al., 2020). Pourtant, plusieurs composés biologiquement actifs ont été isolés chez différentes espèces du genre, notamment des naphtoquinones, des flavonoïdes, des terpènes et des composés phénoliques, reconnus pour leurs effets anxiolytiques, antioxydants, anti-inflammatoires, antibactériens et antiviraux (Jin et al., 2020).

Les composés phénoliques présents dans l'huile de graines d'*Echium plantagineum* L. ont été largement étudiés. En revanche, les recherches portant sur les flavonoïdes et autres composés phénoliques issus des extraits de la partie aérienne de cette espèce restent à ce jour très limitées (Jin et al., 2022).

Le tableau ci-dessous représente les composés phytochimiques présents dans les différentes parties d'*Echium plantagineum* L.

**Tableau 2:** Profil phytochimique des extraits bruts d'*Echium plantagineum* L.  
(Jin et al., 2022).

Catégorie des composés phénoliques	Composés phénoliques	Partie de la plante
Flavonoïdes	kaempférol-3-O-(3 /4 acétyl)néohespéridoside	Racines
	quercetin-3-Oneohesperidoside	Feuilles, fleurs, tiges
	kaempferol-3-Oneohesperidoside	Feuilles, fleurs, tiges
	kaempferol-3-O-(4 rhamnosyl)néohespéridoside	Tiges
	kaempferol-3-Oneohesperidoside-7Orhamnoside	Racines
	kaempferol-3-O-rutinoside	Feuilles, fleurs, racines et tiges

	quercétine-3-O-sophoroside	Feuilles, fleurs, racines et tiges
<b>Anthocyanes</b>	Delphinidin-3-O-glucoside	Feuilles et tiges
	Cyanidin-3-O-rutinoside	Feuilles, fleurs et tiges
	Pétunidine 3-glucoside	Fleurs
	Pétunidine 3 – Rutinoside	Feuilles
	Malvidin 3 – rutinoside	Feuilles, fleurs et tiges
<b>Autres composés phénoliques</b>	Acide caféique	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Trigonotine A	Racines
	Acide salvianolique A	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Acide viridiflorique	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Acide p-coumarique	Fleurs
	Globoïdane B	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Acide lithospermique	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Mbdosiine	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Acide lithospermique B	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Acide rosmarinique	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Acide sagérinique	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Echiumine B	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Globoïdane A (érythrosine)	Feuilles, fleurs, tiges et racines
	Ester méthylique de l'acide rosmarinique	Fleurs
	Echiumine D	Feuilles et tiges
Echiumine C	Feuilles et fleurs	

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

Les espèces du genre *Echium* sont utilisées depuis l'Antiquité dans la région méditerranéenne en tant que remèdes traditionnels, notamment pour leurs propriétés dépuratives, sudorifiques, diurétiques et légèrement euphorisantes. Plusieurs d'entre elles ont également été employées dans le traitement de diverses affections telles que les gerçures des mains, les abrasions cutanées, voire les morsures de serpent. *Echium plantagineum* L. a été utilisée en médecine traditionnelle Turque. Les parties aériennes de cette dernière sont préparées par décoction sous forme de thé aux effets diaphorétiques et diurétiques (Jin et al., 2020).

Aussi, la composition de l'huile végétale des graines d'*Echium plantagineum* L. en acides gamma-linolénique (GLA) et stéaridonique (SDA) joue un rôle clé dans ses effets anti-inflammatoires, ce qui en fait un allié potentiel dans la gestion de maladies inflammatoires et cardiovasculaires (Kitessa et al., 2011).

## VII. Toxicité d'*Echium plantagineum* L.

Les pyrrolizidines alcaloïdes présents dans *Echium plantagineum* L. sont des composés chimiques potentiellement dangereux et principalement toxiques. Et bien que les effets sur l'homme ne soient pas aussi fréquemment observés que chez les animaux, une exposition prolongée ou une ingestion accidentelle pourrait poser des risques.

Lorsque les principes actifs sont ingérés, ils sont métabolisés par le foie et transformés en métabolites toxiques pouvant endommager les cellules hépatiques entraînant une inflammation, une fibrose hépatique, et dans des cas plus graves, une insuffisance hépatique et un cancer du foie (McLean et Dorne, 2012). Ces substances toxiques ont un fort potentiel cancérigène, elles entraînent des mutations génétiques et provoquent des altérations de l'ADN, ce qui conduit à la perturbation de la fonction cellulaire et l'augmentation du risque de cancer du foie (Bermúdez et al., 2002).

## VIII. Travaux antérieurs

*Echium plantagineum* L. présente de multiples propriétés bénéfiques pour la santé que nous avons résumées dans le tableau 03.

**Tableau 3:** Propriétés biologiques des différentes parties d'*Echium plantagineum* L.

<b>Activités biologiques</b>	<b>Partie de la plante</b>	<b>Références</b>
Anti oxydante	Racines et rhizosphère	(Durán et al., 2017)
Anti inflammatoire	Graines	(Harris et al., 2008)
Anti cicatrisante	Partie aérienne	(Jin et al., 2020)
Anti cancéreuse	Racines et rhizosphère	(Sousa et al., 2015)
Anti microbienne	Racines et rhizosphère	(Zhu et al., 2016)
Anti diaphorétique	Partie aérienne	(Jin et al., 2020)
Anti diurétique	Partie aérienne	(Ünsal et al., 2010)
Anti toux	Partie aérienne	(Ünsal et al., 2010)
Anti arthrite	Graines	(Berti et al., 2007)
Anti rides	Graines	(Eberle et al., 2014)
Anti hypercholestérolémique	Graines	(Eberle et al., 2014)
Contre les maladies cardiovasculaires	Graines	(Garcia et al., 2021)
Contre les maladies auto immunes	Graines	(Garcia et al., 2021)

---

## **Chapitre 2.**

# **Métabolites secondaires et activités biologiques**

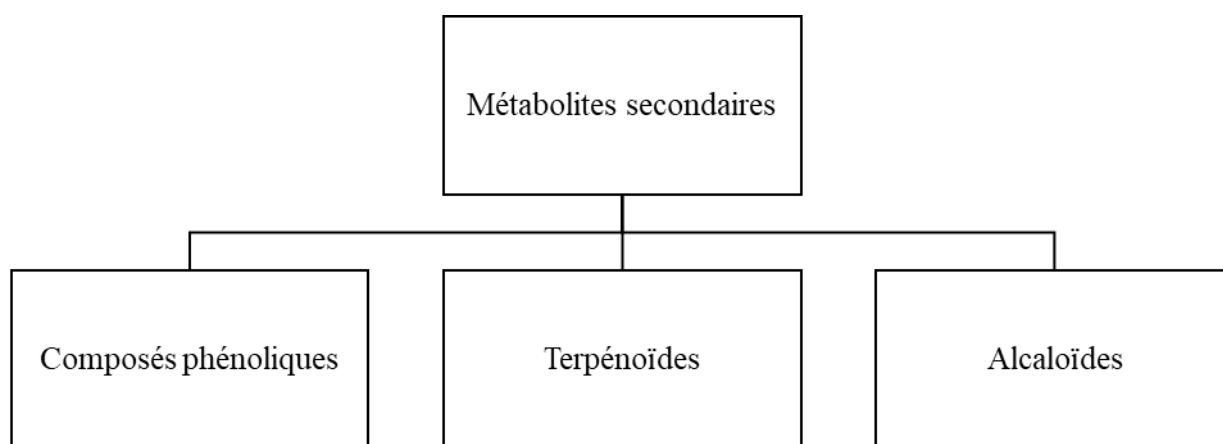
---

## I Définition des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques complexes synthétisés et accumulés en petites quantités par les plantes autotrophes (**Lutge et al., 2002 ; Marouf et Reynaud, 2007**). Contrairement aux métabolites primaires, ces composés n'exercent pas de fonctions fondamentales pour la plante mais ils jouent un grand rôle dans sa relation avec son environnement (**Verpoorte et Alfermann, 2000**).

Les critères qui définissent les différentes classes de métabolites secondaires sont : la structure chimique, la composition, leur solubilité dans divers solvants ou encore leur voie de synthèse (**Kabera et al., 2014**).

On distingue trois grandes familles de métabolites secondaires (**Figure 2**).



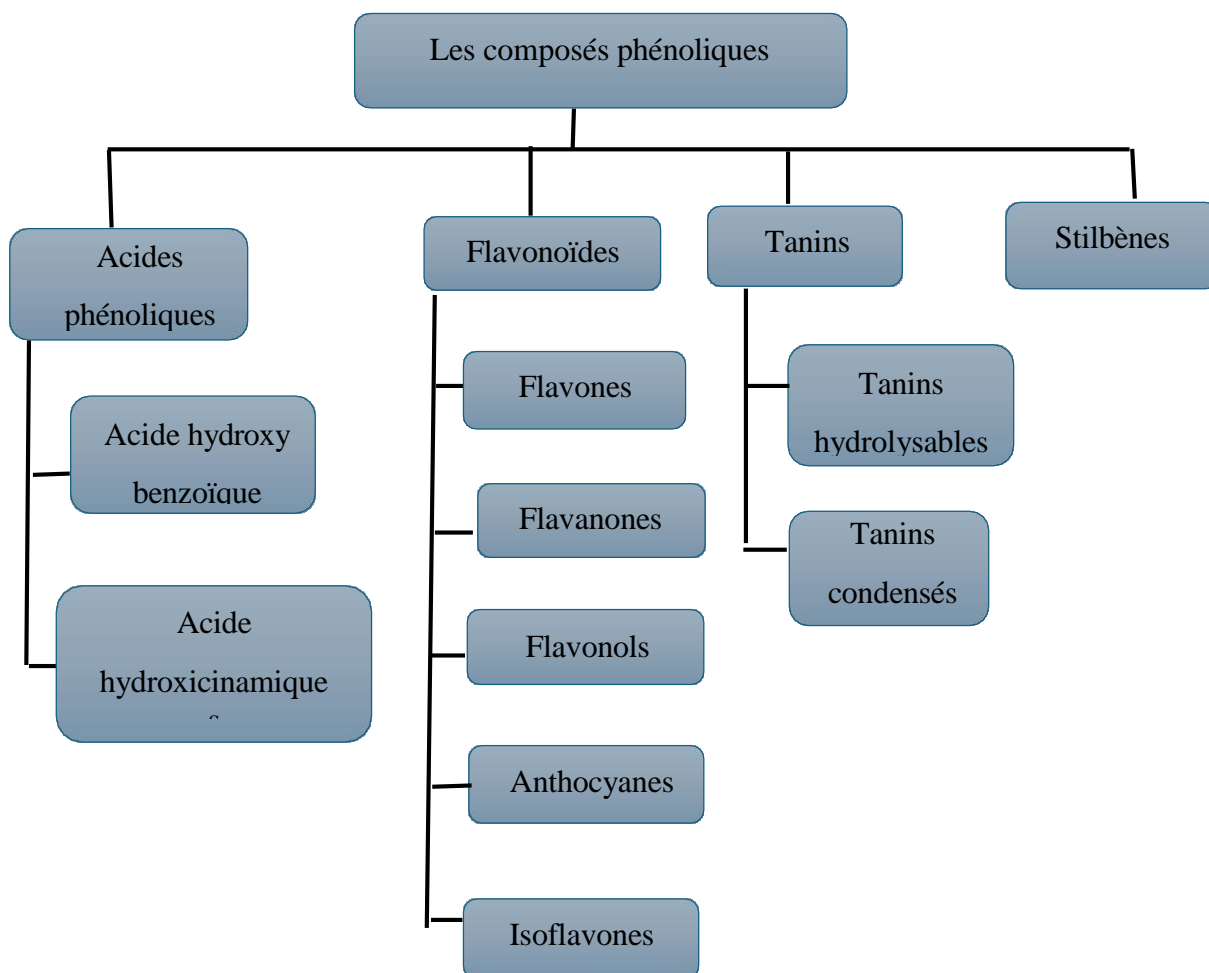
**Figure 2:** Classification des métabolites secondaires (**Merghem, 2009**).

Les métabolites secondaires présentent un intérêt majeur dans divers domaines. En agronomie, en tant qu'agents protecteurs des cultures (**Raven et al., 2000**), en pharmacologie, 1/3 des médicaments contiennent au moins une telle substance végétale (**Newman et Cragg, 2012**). En alimentation, on retrouve ces métabolites dans les épices et les herbes aromatiques. Enfin, en cosmétique, ces substances sont largement présentes dans les produits de beauté etc... (**Ghasemzadeh et Ghasemzadeh, 2011**).

### I.1. Définition et classification des composés phénoliques

Les composés phénoliques, autrement connus sous le nom de polyphénols, sont des métabolites secondaires largement présents dans le règne végétal. On les retrouve dans tous les fruits et légumes. À ce jour, plus de 8000 structures différentes ont été identifiées, allant de molécules simples comme les acides phénoliques à des composés très polymérisés tels que les tanins (**Figure3**).

Ils sont synthétisés par l'ensemble des plantes et jouent un rôle essentiel dans les mécanismes de défense face à divers stress, qu'ils soient biotiques ou abiotiques (**Dai et Mumper, 2010**). Les qualités organoleptiques des aliments d'origine végétale telles que la couleur, l'astringence, l'arôme et l'amertume sont influencées par les polyphénols. Les composés phénoliques sont caractérisés par la présence d'un ou plusieurs cycles aromatiques associés à un ou plusieurs groupes hydroxyle dans leur structure de base. Ils se répartissent en différentes classes, notamment les flavonoïdes, les tanins, les stilbènes, les acides phénoliques et les lignanes (**Dragović et al., 2020**). Ces composés jouent également un rôle clé dans la protection des plantes, en les aidant à se défendre contre les micro-organismes nuisibles, les ravageurs et les différents stress environnementaux (**Boubekri, 2014**).



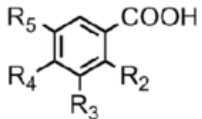
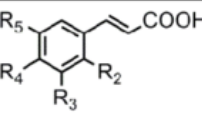
**Figure 3:** Classification des composés phénoliques (**Boros et al., 2010**).

### I.1.1 Définition et structure des acides phénoliques

Parmi les différentes familles de polyphénols, les acides phénoliques occupent une place de choix, se classant juste après les flavonoïdes en termes d'abondance dans le règne végétal (**Amawi et al., 2017**).

Puissants antioxydants, ces composés sont omniprésents dans de nombreuses plantes, où ils jouent un rôle clé dans la protection cellulaire. On les retrouve en forte concentration dans les graines, la peau des fruits, ainsi que dans les légumes à feuilles, qui en sont les principales sources alimentaires (Prabhu et al., 2021). Sur le plan structurel, ils se divisent en deux classes : les dérivés de l'acide benzoïque (les acides hydroxycinnamiques) et les dérivés de l'acide cinnamique (les acides hydroxybenzoïques) (Pandey et Rizvi, 2009), (Tableau 4).

**Tableau 4:** Dérivés des acides phénoliques (Rousserie, 2019).

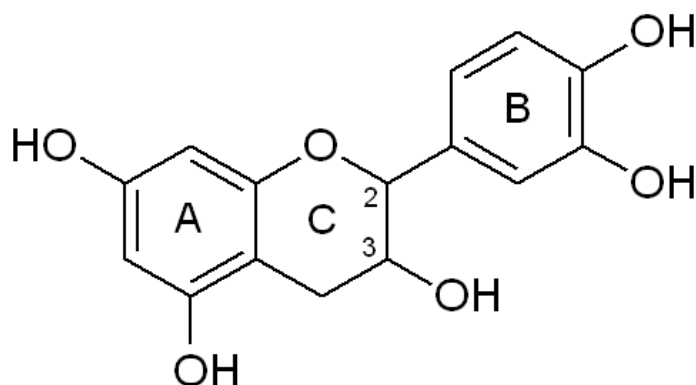
Structure	Nom	R2	R3	R4	R5
 Acide benzoïque	Acide <i>p</i> -hydroxybenzoïque	H	H	OH	H
	Acide protocatéchique	H	OH	OH	H
	Acide vanilique	H	OCH <sub>3</sub>	OH	H
	Acide gallique	H	OH	OH	OH
	Acide syringique	H	OCH <sub>3</sub>	OH	OCH <sub>3</sub>
	Acide salicylique	OH	H	H	H
	Acide gentsique	OH	H	H	OH
 Acide hydroxycinnamique	Acide <i>p</i> -coumarique	H	H	OH	H
	Acide caféique	H	OH	OH	H
	Acide férulique	H	OCH <sub>3</sub>	OH	H
	Acide sinapique	H	OCH <sub>3</sub>	OH	OCH <sub>3</sub>

Les polyphénols sont les antioxydants les plus abondants dans l'alimentation humaine (~1 g/j), largement présents dans les fruits, les légumes, le café, le thé et les céréales (Ignarro et al., 2007). Des études épidémiologiques ont montré une réduction significative du risque de maladies cardiovasculaires avec un apport plus élevé en polyphénols (Vita, 2005). En raison de leur richesse en propriétés anti-oxydantes, ils ont la capacité d'éliminer et/ou piéger les radicaux libres et des formes réactives de l'oxygène et de moduler l'expression des enzymes antioxydantes (Frątczak et al., 2015). Les polyphénols possèdent également une activité anticancéreuse contre les cancers du poumon, du sein, de la langue, de l'estomac, du larynx, du côlon et de la prostate (Manikandan et al., 2012 ; Sak, 2014).

### I.1.2 Définition et structure des flavonoïdes

Les flavonoïdes représentent un élément central tant par leur abondance que par leur diversité. Chimiquement, ils sont divisés en six grandes familles selon les variations de leur structure de base : les flavones, flavonols, flavanols, flavanones, isoflavones et anthocyanes (Dai et Mumper, 2010). À ce jour, plus de 6 000 composés flavonoïdiques naturels ont été identifiés, illustrant leur richesse structurelle et fonctionnelle. Très répandus chez les plantes vasculaires,

ces derniers sont composés de quinze atomes de carbone : deux cycles aromatiques (A et B) (**Figure 4**), chacun constitué de six atomes de carbone, reliés par une chaîne centrale de trois atomes de carbone (**Boubekri, 2014**). Au-delà de leur structure, les flavonoïdes jouent un rôle esthétique essentiel dans le règne végétal. Ce sont eux qui confèrent aux fleurs, fruits et feuilles leurs nuances éclatantes de jaune, d'orange ou de rouge, contribuant ainsi à la séduction des pollinisateurs et à la dispersion des graines. Leur présence est tout aussi remarquable dans notre alimentation quotidienne : fruits, légumes, mais aussi boissons fermentées ou infusées telles que le thé et le café en sont de riches sources (**Ghedira, 2005**).



**Figure 4:** Structure de base des flavonoïdes (**Coste, 2015**).

### I.1.3 Définition et structure des tanins

Les tanins sont des composés phénoliques complexes, solubles dans l'eau, de haut poids moléculaire variant généralement entre 500 et 3 000 daltons (**Kamra et al., 2006**). Leur structure, particulièrement complexe, est constituée d'unités monomériques répétées, dont la configuration varie selon la présence de centres asymétriques et le degré d'oxydation. Ces composés ont la capacité remarquable de se lier à diverses macromolécules, notamment les protéines, ainsi que de créer des liaisons avec les fibres de collagène. Bien que leur structure chimique puisse présenter une grande diversité, elle possède systématiquement un noyau polyphénolique (**Paolini et al., 2003**).

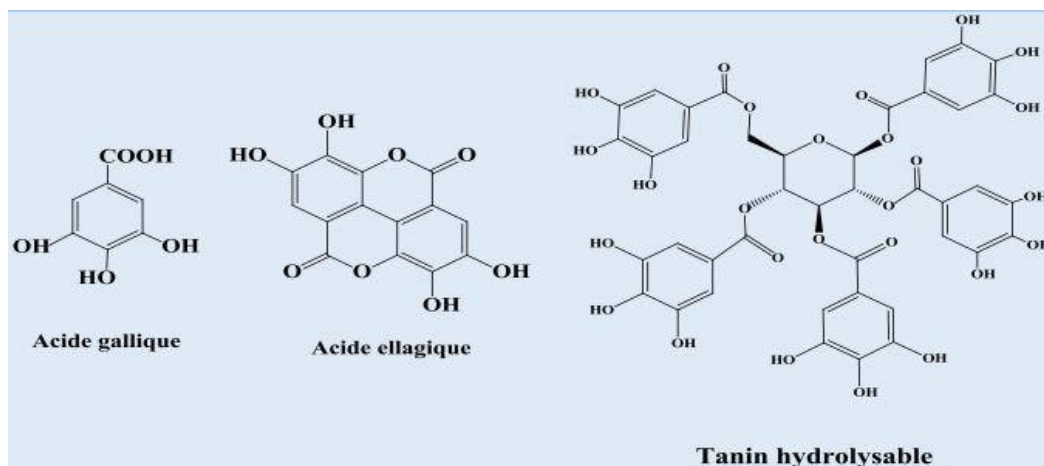
Historiquement, ils étaient connus et employés pour le tannage des peaux en raison de leur capacité à se fixer sur les protéines et à réticuler les peaux (**McMahon et al., 2000**).

La classification des tanins se fait en fonction du type de l'acide phénolique et du type de liaisons qui déterminent la taille et la réactivité chimique de la molécule (**Rira, 2006**).

Les tanins sont divisés en deux sous-groupes : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (**Bhuyan et Basu, 2017**).

### ➤ Tanins hydrolysables

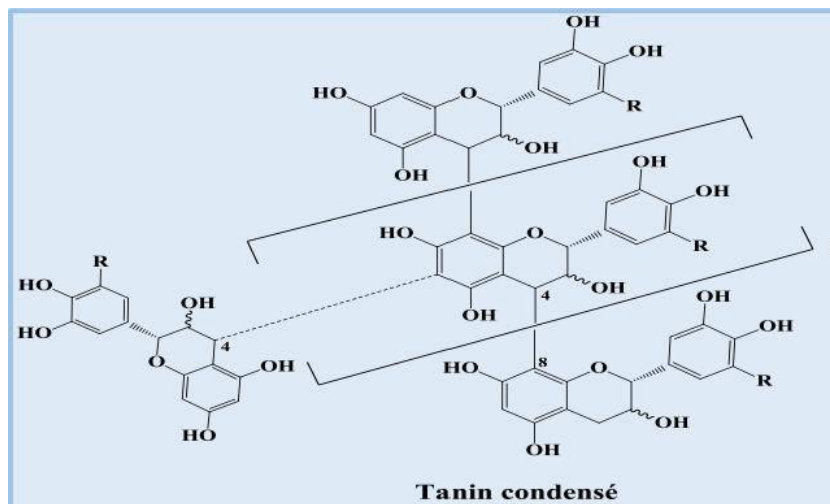
Les tanins hydrolysables sont des esters de glucose. Comme leur nom l'indique, ils peuvent être dégradés par hydrolyse qu'elle soit chimique ou enzymatique libérant ainsi deux parties distinctes : une fraction non phénolique le plus souvent du glucose ou de l'acide quinique et une fraction phénolique (**Figure 5**). En fonction de la nature de cette dernière, on distingue deux types principaux : les tanins galliques et les tanins ellagiques (**Macheix et al., 2005**).



**Figure 5:** Structure des tanins hydrolysables (**Macheix et al., 2005**)

### ➤ Tanins condensés

Généralement les tanins condensés sont des molécules issues de la polymérisation des flavanols, sous-classe des flavonoïdes (**Roussiere, 2019**). Contrairement aux tanins hydrolysables, en raison de leur poids moléculaire important, ils présentent une grande résistance à l'hydrolyse et nécessitent des attaques chimiques plus intenses (**Naumann et al., 2017**).



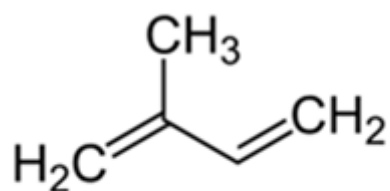
**Figure 6:** Structure des tanins condensés (**Boudjouref, 2011**)

Les tanins se distinguent par la diversité de leurs propriétés biologiques :

- Ils contribuent au recyclage de l'urée en réduisant la concentration d'ammoniac dans le rumen.
- Ils ont la capacité de précipiter les protéines afin de protéger les micro-organismes du rumen contre leurs effets potentiellement toxiques.
- Ils sont responsables de l'activité anti diarrhéique en imperméabilisant les couches externes de la peau, des muqueuses, et en particulier de la muqueuse intestinale, ils offrent une barrière protectrice contre les agressions extérieures.
- Ils possèdent des propriétés cicatrisantes, ce qui leur confère la possibilité de régénérer les tissus lors de blessures superficielles (**Bruneton, 2008**).
- Grâce à leur noyaux phénols, ils ont la capacité d'exercer une activité anti oxydante (**Perret, 2001**).

## I.2. Définition et classification des terpénoïdes

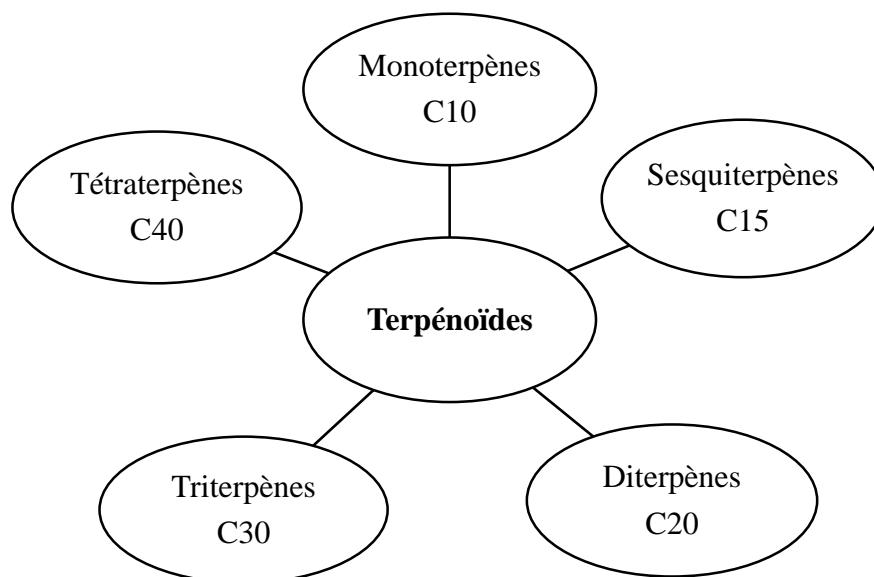
Produits par les plantes, les organismes marins, les champignons et même les animaux, les terpénoïdes, également connus sous le nom de terpènes, représentent une catégorie importante appartenant aux métabolites secondaires (**Hellal, 2011**). Leur structure moléculaire repose sur un monomère fondamental à cinq atomes de carbone, l'isoprène ( $C_5H_8$ ), auquel s'ajoutent une ou plusieurs fonctions chimiques telles qu'un alcool, un aldéhyde, une cétone, un acide ou encore une lactone. Ces composés, qualifiés d'hydrocarbures naturels, peuvent adopter soit une structure cyclique, soit une configuration à chaîne ouverte (**Figure 7**). Leur formule générale s'exprime sous la forme  $(C_5H_x)_n$ , où x varie selon le degré d'insaturation de la molécule, tandis que n indique le nombre d'unités isopréniques, allant généralement de 1 à 8. Toutefois, dans le cas des polyterpènes tels que le caoutchouc, cette valeur peut dépasser la centaine (**Malecky, 2005**).



Isoprène

**Figure 7:** Structure de base des terpènes (isoprène) (Labadie, 2015).

Les terpénoïdes sont classés selon le nombre de répétitions de l'unité de base isoprénique qui les constituent (**Figure 8**).

**Figure 8:** Classification des terpénoïdes (Guignard, 1996).

Au-delà de leurs fonctions vitales, les plantes synthétisent une multitude de métabolites secondaires, souvent spécifiques à chaque espèce. Ces composés, bien que non essentiels à la croissance ou au développement, jouent un rôle clé dans la défense, l'adaptation et les interactions avec leur environnement. Ce sont eux qui confèrent aux plantes leurs diverses activités biologiques, telles que les propriétés antimicrobiennes, antioxydantes ou encore anti-inflammatoires.

## **II. Stress oxydatif et pouvoir antioxydant**

### **II.1. Stress oxydatif**

Le stress oxydatif est un phénomène très répandu à travers le monde entier et ne cesse de susciter l'intérêt des chercheurs et des spécialistes dans divers domaines. C'est un état de déséquilibre dans l'organisme où la production de radicaux libres et d'espèces réactives d'oxygènes (ERO) excède la capacité du système antioxydant à neutraliser ces molécules (Sies, 2015).

### **II.2 Effets du stress oxydatif**

Les radicaux libres produits lors du stress oxydatif vont endommager diverses structures cellulaires telles que l'ADN, en y induisant des mutations génétiques, des cassures et des modifications dans la structure des bases nucléotidiques favorisant la formation de cellules cancéreuses, les lipides en oxydant les acides gras ce qui conduit à une altération de la structure des membranes et à une déstabilisation des cellules, ainsi que les protéines, suite à leur oxydation, leur structure et leur fonction seront perturbées causant le vieillissement cutané, des dysfonctionnements cellulaires en plus de certaines maladies neurodégénératives comme l'Alzheimer et le Parkinson, sans compter le vieillissement prématuré dont le stress oxydatif est l'un des principaux contributeurs. Les dommages accumulés sur l'ADN, les protéines et les lipides au fil du temps affectent la capacité des cellules à se réparer et à fonctionner correctement en ralentissant le renouvellement cellulaire et en accélérant l'apparition des signes visibles du vieillissement. Les radicaux libres activent des voies de signalisation comme le NF- $\kappa$ B qui stimulent la production de cytokines pro-inflammatoires, ce qui contribue à des pathologies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, l'arthrite et des troubles métaboliques (Halliwell et Gutteridge, 2015).

### **II.3 Pouvoir antioxydant**

L'organisme humain possède une défense naturelle contre le stress oxydatif, principalement via des antioxydants qu'ils soient produits par le corps lui-même ou provenus de l'extérieur c'est pourquoi un bon équilibre entre ces derniers et la production de radicaux libres est crucial pour maintenir la santé cellulaire (Halliwell et Gutteridge, 2015).

#### **II.3.1 Types d'antioxydants**

##### **❖ Antioxydants endogènes (enzymatiques)**

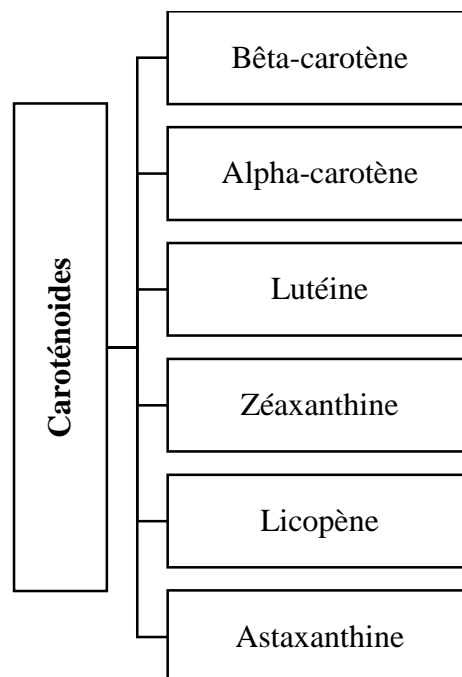
Ce type d'antioxydants est produit par le corps lui-même :

- **Superoxyde dismutase (SOD)** : Catalyse la conversion des radicaux superoxyde en peroxyde d'hydrogène.
- **Catalase** : Décompose le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène, ce qui réduit les risques de dommages cellulaires.
- **Glutathion peroxydase** : Réduit les peroxydes en utilisant le glutathion, un antioxydant puissant dans les cellules.
- ❖ **Antioxydants exogènes (non enzymatiques)**

Ce type d'antioxydants est d'origine externe, via l'alimentation :

❖ **Vitamines**

- **Vitamine C (Acide ascorbique)** : issu des fruits et légumes, est un antioxydant hydrosoluble qui neutralise les radicaux libres dans les milieux aqueux, comme le plasma sanguin.
- **Vitamine E (Tocophérol)** : issu des huiles végétales, noix, graines, légumes à feuilles vertes et céréales complètes, est un anti oxydant liposoluble qui protège les membranes cellulaires en neutralisant les radicaux libres dans les lipides.
- ❖ **Caroténoïdes** : pigments naturels que l'on trouve en abondance dans de nombreux fruits, légumes et plantes, responsables de leurs couleurs vives (**Figure 9**). En plus de posséder des effets antioxydants, certains caroténoïdes sont des précurseurs de la vitamine A (provitamine A).



**Figure 9:** Classification des caroténoïdes (Halliwell et Gutteridge, 2015).

### III. Activité antibactérienne

Les infections bactériennes provoquées par divers micro-organismes, comptent parmi les principales causes de maladies graves et d'épidémies majeures.

Les substances antimicrobiennes désignent des agents utilisés pour éliminer les micro-organismes ou inhiber leur développement, tel que les antibiotiques. Toutefois, une utilisation excessive de ces substances peut entraîner des effets indésirables, notamment la multi résistance bactérienne.

Il devient donc essentiel de développer des produits naturels dotés d'une activité antimicrobienne, afin d'offrir une alternative aux antioxydants synthétiques et aux antibiotiques **(Ben abdallah et al., 2019)**.

#### III.1. Antibiotiques

Le terme "antibiotique" provient du grec "anti", signifiant "contre", et "bios", signifiant "la vie". Les antibiotiques se définissent comme des molécules capables de tuer ou d'inhiber la prolifération des microorganismes pathogènes. Les sources principales d'antibiotiques sont les champignons, mais parfois aussi les bactéries. Contrairement aux antiseptiques, l'antibiotique possède une toxicité sélective contre la bactérie et non contre l'hôte **(Brigitte, 2006)**.

Les cibles sur lesquelles les antibiotiques agissent jouent un rôle dans les fonctions physiologiques ou métaboliques des bactéries. Les antibiotiques inhibent la synthèse des acides nucléiques (ADN et ARN), mais leurs cibles principales restent la paroi cellulaire et les ribosomes des bactéries **(Singh et Barrett, 2006)**.

#### III.2. Mode d'action des antibiotiques

Les antibiotiques peuvent agir de deux façons différentes sur les bactéries, soit comme bactéricides en les tuant tels que les bêta-lactamines, les aminosides et les polypeptides, soit comme bactériostatiques en inhibant seulement leur croissance tels que les tétracyclines, les phénicolés et les macrolides **(Chetley, 2000)**.

Selon leur mode d'action, les antibiotiques sont classés en :

- Antibiotiques inhibiteurs de la synthèse des parois.
- Antibiotiques actifs sur les enveloppes membranaires.
- Antibiotiques inhibiteurs des synthèses protéiques.
- Antibiotiques inhibiteurs des acides nucléiques **(Coulibaly, 2022)**.

### III.3. Mécanisme d'action des antibiotiques végétaux contre les bactéries

Les extraits végétaux peuvent avoir un grand effet sur les différentes souches bactériennes notamment contre un bon nombre de microorganismes pathogènes et non pathogènes en passant par trois phases :

- **1<sup>ère</sup> phase** : une fois l'extrait végétal en contact avec la paroi bactérienne, il provoque une augmentation de sa perméabilité causant ainsi la perte des constituants cellulaires.
- **2<sup>ème</sup> phase** : l'extrait végétal acidifie l'intérieur de la cellule bloquant la production de l'énergie cellulaire et la synthèse des composants de structure.
- **3<sup>ème</sup> phase** : Destruction du matériel génétique, conduisant à la mort de la bactérie (Dorman, 2000).

### IV. Activité antifongique

Les traitements antifongiques conventionnels présentent souvent des limites en termes d'efficacité, ce qui souligne la nécessité de développer de nouvelles approches thérapeutiques. Dans ce contexte, l'exploration de médicaments innovants, notamment d'origine naturelle, apparaît comme une alternative prometteuse. De nombreuses études ont mis en évidence l'activité antifongique d'extraits issus de plantes supérieures, testés *in vitro*. Parmi celles-ci, les plantes sauvages se distinguent comme des sources potentielles de métabolites bioactifs, d'un grand intérêt en recherche pharmacologique. (Leite et al., 2021).

---

---

## **Partie 2.**

### **Partie expérimentale**

---

---

---

## **Matériel et méthodes**

---

Afin d'étudier et d'évaluer *in vitro* chacune des activités antioxydantes et antimicrobiennes des plantes, nous nous sommes orientés vers l'espèce *Echium plantagineum* L. dont les racines et les feuilles ont été les pièces maîtresses de cette étude. Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire de recherche « Produits Naturels LAPRONA » de l'Université de Tlemcen.

### I Origine et préparation du matériel végétal

Le matériel végétal utilisé lors de cette étude est constitué des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L., récoltées dans la région de Tirni pendant le mois d'Avril 2025 à la Wilaya de Tlemcen située à l'Ouest de l'Algérie.

Directement après la récolte, les feuilles et les racines ont été nettoyées et séchées à l'air libre, à l'abri de la lumière et à température ambiante pendant une semaine, puis réduites en poudre à l'aide d'un broyeur électrique. Les poudres ont ensuite été conservées dans des bocaux en verre hermétiquement fermés à une température -18°C jusqu'à utilisation.



**Photo 4:** Feuilles séchées d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen, 2025)



**Photo 5:** Poudre de feuilles d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen, 2025)



**Photo 4:** Racines séchées d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen, 2025)



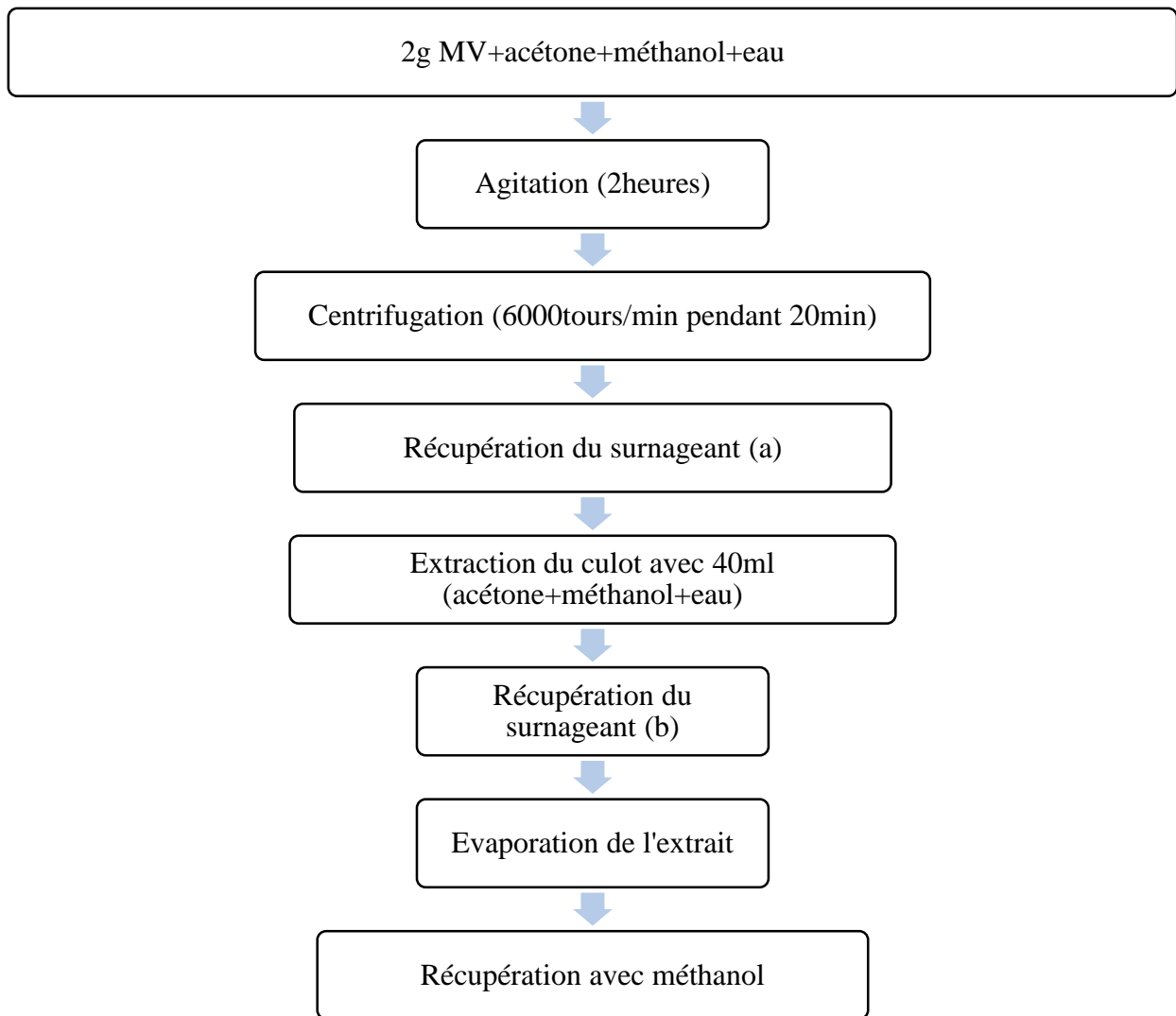
**Photo 7:** Poudre de racines d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen, 2025)

## II Extraction des composés phénoliques

Afin d'extraire les composés phénoliques des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L., un procédé d'extraction spécifique a été effectué pour chaque partie.

### II.1. Extraction des polyphénols des feuilles d'*Echium plantagineum* L.

2g de matériel végétal a été macéré dans 40mL de mélange de solvants d'extraction (acétone, méthanol, eau) avec un rapport de (14/14/12) respectivement (Jimoh et al., 2010) (Figure 10). La solution a ensuite été maintenue sous agitation pendant deux heures avant d'être centrifugée 6000 tours/min pendant 20 minutes (Photo 08). Le surnageant (a) a été récupéré et le culot a été extrait une seconde fois suivant les mêmes étapes précédentes. Les surnageants (a) et (b) ont été réunis dans un ballon rodé et évaporés à l'aide d'un rotavapeur (Photo 10) jusqu'à évaporation complète de la phase organique. Les résidus obtenus ont été finalement récupérés avec 6ml de méthanol (Photo 11).



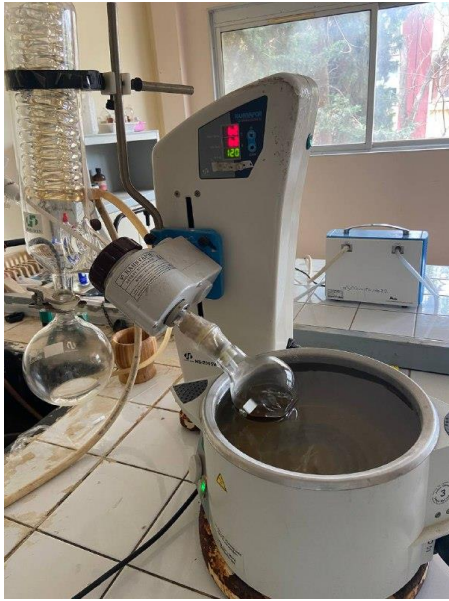
**Figure 10:** Protocole d'extraction des polyphénols des feuilles d'*Echium plantagineum* L. (Jimoh et al., 2010).



**Photo 8:** Centrifugation de la solution (Tlemcen, 2025).



**Photo 9:** Filtration de la solution (Tlemcen, 2025).



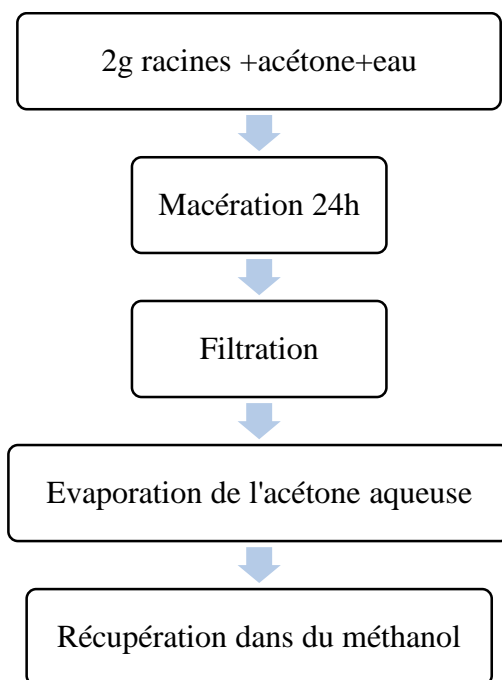
**Photo 10:** Evaporation de la phase organique  
(Tlemcen, 2025)



**Photo 11:** Extrait phénolique des feuilles  
d'*Echium plantagineum* L.  
(Tlemcen, 2025).

## II.2. Extraction des polyphénols des racines d'*Echium plantagineum* L.

2g de poudre de racines a été macéré à température ambiante dans 100ml de solution d'acétone aqueuse avec un rapport de (70/30) respectivement pendant 24 heures. Après filtration, la solution a été évaporée à sec par un rotavapeur à 45°C (**Figure 11**). La solution a enfin été récupérée dans 6ml de méthanol (**Yu et Dahlgren, 2005**), (**Photo 12**).



**Figure 11:** Protocole d'extraction des polyphénols des racines d'*Echium plantagineum* L. (Yu et Dahlgren, 2005).



**Photo 12:** Extrait phénolique des racines d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen,2025)

### III Dosage des composés phénoliques

#### III.1. Dosage des polyphénols

##### Principe

Le dosage des phénols totaux dans les extraits a été effectué par la spectro-photométrie selon la méthode du réactif de Folin-Ciocalteu. Ce réactif est composé d'un d'acide phosphotungastique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ) de couleur jaune. Il est réduit lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène.

La coloration produite dont la lecture de l'absorption est à 760 nm, est proportionnelle à la quantité des phénols présente dans l'extrait végétal (**Singleton et Rossi, 1965**).

#### **Mode opératoire**

- Mélanger 100µl de l'extrait avec 2000µl de la solution de carbonate de sodium Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (2%).
- Incuber pendant 5 minutes à température ambiante.
- Ajouter 100µl de réactif Folin-Ciocalteu à 1N.
- Incuber le mélange pendant 30 minutes à l'obscurité et à température ambiante.
- Mesurer l'absorbance contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre à 760 nm.

Une courbe d'étalonnage en parallèle dans les mêmes conditions a été réalisée à partir d'acide gallique à différentes concentrations (**Annexe A**).

#### **Expression des résultats**

Les teneurs en polyphénols de l'extrait sont exprimées en milligrammes d'équivalents acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g E).

### **III.2. Dosage des flavonoïdes**

#### **Principe**

La teneur en flavonoïdes a été déterminée en utilisant le trichlorure d'aluminium, selon la méthode spectrophotométrique décrite par (**Kim et al., 2003**).

#### **Mode opératoire**

- 100µl de l'extrait ont été mélangés avec 0,4mL d'eau distillée et par la suite avec 0,03ml d'une solution de nitrite de sodium NaNO<sub>2</sub> à 5%.
- Après 5 minutes, 0,02mL d'une solution de AlCl<sub>3</sub> à 10% ont été ajoutés
- Après 5 minutes 0,2mL de solution de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 1M et 0,25mL d'eau distillée ont été additionnés au mélange.
- L'ensemble a subi une agitation à l'aide d'un vortex et l'absorbance a été mesurée à 510 nm.

Une courbe d'étalonnage a été réalisée par la catéchine à différentes concentrations dans les mêmes conditions que les échantillons (**Annexe B**).

#### **Expression des résultats**

Les teneurs en flavonoïdes de l'extrait sont exprimées en milligrammes d'équivalents catéchine par gramme d'extrait (mg EC/g E).

### III.3. Dosage des tanins condensés

#### Principe

La quantification des tanins a été effectuée à partir de la méthode de vanilline en milieu acide (Julkunen-Titto, 1985).

#### Mode opératoire

- 50µl de l'extrait phénolique ont été ajoutés à 1500µl de la solution vanilline/méthanol (4%, m/v)
- Le mélange a été agité à l'aide d'un vortex.
- 750µl de l'acide chlorhydrique concentré (HCL) ont été additionnés et la préparation a été incubée à température ambiante pendant 20 min.
- L'absorbance a été mesurée contre un blanc à 550nm.

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la catéchine comme standard à différentes concentrations. (Annexe B)

#### Expression des résultats

La concentration des tanins condensés est estimée en milligramme d'équivalents catéchine par gramme d'extrait (mg EC/g E).

### III.4. Dosage des terpénoïdes

Le dosage des terpénoïdes a été effectué selon la méthode décrite par Ghorai et al. (2012).

#### Mode opératoire

- 2 mL de chloroforme ont été ajoutés à 1mL d'extrait.
- Le mélange a été mélangé à l'aide d'un vortex avant d'être laissé à température ambiante pendant 3min.
- 200µl d'acide sulfurique concentré (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ont été versés dans le mélange, suivi d'une incubation d'une heure et demie à deux heures à température ambiante dans l'obscurité.
- Un précipité brun rougeâtre se forme pendant l'incubation. Après cela le surnageant a été récupéré et 3mL de méthanol ont été additionnés et bien agités jusqu'à dissolution complète de la précipitation dans le méthanol.
- La lecture a été faite avec un spectrophotomètre et l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 538nm.

#### Expression des résultats

La concentration des terpénoïdes est estimée en milligrammes d'équivalents linalol par gramme d'extrait (mg EL/g E).

#### IV. Evaluation de l'activité antioxydante d'*Echium plantagineum* L.

Dans le cadre de notre travail, l'évaluation du pouvoir anti oxydant des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L. a été faite avec deux techniques spectrophotométriques complémentaires :

- Piégeage du radical libre DPPH.
- Test de réduction du fer FRAP.

##### IV.1. Méthode de piégeage du radical libre DPPH

###### Principe

Afin d'évaluer le pouvoir antioxydant de chacune des racines et des feuilles d'EP, nous avons utilisé la méthode de piégeage du radical libre DPPH (2,2- diphényl-1-picrylhydrazyl) selon le protocole décrit par **Sanchez-moreno et al. (1998)**. C'est le radical libre le plus stable de couleur violette. En présence d'un donneur d'hydrogène, le DPPH est réduit à la forme non radicalaire de couleur jaune.

###### Mode opératoire

- 50µl de solution méthanolique d'extrait, à différentes concentrations, ont été ajoutés à 1950µl d'une solution méthanolique de DPPH à 0,0025 g/100mL.
- Un blanc a été préparé pour chaque solution qui contient 50µl de l'extrait et 1950µl de méthanol.
- Un contrôle négatif a été préparé en mélangeant 50µl de méthanol avec 1950µl 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 515 nm.

###### Expression des résultats

Les résultats sont exprimés selon la formule :

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

**% du DPPH** : pourcentage de réduction ou d'inhibition du DPPH

**DO contrôle (0)** : densité optique du contrôle à t = 0 min

**DO échantillon (t)** : densité optique de l'antioxydant à t = 30 min.

L'acide ascorbique est utilisé comme témoin positif dans cette expérience dans les mêmes conditions.

A partir de la variation du pourcentage de réduction de DPPH et en fonction de la concentration de l'extrait, on peut déterminer graphiquement l'CI<sub>50</sub> qui est définie comme étant la concentration de l'antioxydant (l'extrait ou composé) nécessaire pour réduire ou inhiber 50% du DPPH.

#### IV.2. Test de réduction du fer FRAP

##### Principe

L'activité réductrice du fer de nos extraits a été évaluée selon la méthode décrite par **Oyaizu (1986)**, qui repose sur la réduction du fer ferrique (Fe<sup>3+</sup>) contenu dans le complexe K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> en fer ferreux (Fe<sup>2+</sup>).

##### Mode opératoire

- 500µl de chaque extrait à différentes concentrations ont été mélangés avec 1,25mL d'une solution tampon phosphate 0,2M (pH 6,6) et 1,25mL d'une solution de ferricyanure de potassium K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> à 1%.
- L'ensemble a ensuite été incubé au bain marie à 50°C pendant 20min.
- 1,25mL d'acide trichloroacétique à 10% ont été ajoutés pour stopper la réaction.
- Les tubes ont été centrifugés à 3000tours/min pendant 10min.
- 1,25mL du surnageant ont été mélangés à 1,25mL d'eau distillée et 0.25mL d'une solution de chlorure ferrique fraîchement préparée à 0,1%.
- La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel a été effectuée à 700nm contre un blanc semblablement préparé, en remplaçant l'extrait par de l'eau distillée.
- Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard BHT, dont l'absorbance a été mesurée dans les mêmes conditions que les échantillons. Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés (**Hubert, 2006**).

#### V. Evaluation du pouvoir antimicrobien des extraits d'*Echium plantagineum* L.

Dans le but de tester le pouvoir antimicrobien des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L., nous avons dans un premier temps testé les extraits vis-à-vis des souches microbiennes par une méthode rapide (la méthode de diffusion sur disque) et dans l'affirmation, nous avons déterminé la concentration minimale inhibitrice (CMI) en milieu liquide.

### Souches microbiennes testées

Les souches bactériennes et fongiques utilisées lors de notre travail proviennent du laboratoire « LAMAAB » de l'Université de Tlemcen. Les neuf souches pathogènes utilisées dans l'évaluation de l'activité antimicrobienne sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5:** Les différentes souches microbiennes testées.

Type de microorganisme	Nom de la souche	Gram (+/-)	Code
Bactéries	<i>Micrococcus luteus</i>	Gram positif (+)	ATCC 15307
	<i>Staphylococcus aureus</i>		ATCC 25923
	<i>Enterococcus faecalis</i>		ATCC 29212
	<i>Basillus cereus</i>		ATCC 11778
	<i>Basillus subtilis</i>		ATCC 6633
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Gram négatif (-)	ATCC 70603
	<i>Escherichia coli</i>		ATCC 25922
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		ATCC 27853
Levure	<i>Candida albicans</i>		IP444

### Mise en culture des souches

Les souches, conservées sur gélose nutritive inclinée à 4 °C, sont d'abord revivifiées dans du bouillon nutritif, incubées à  $37 \pm 1$  °C pour les bactéries et à  $30 \pm 1$  °C pour les levures pendant 24 à 48 heures. Puis ensemencées sur des milieux sélectifs en boîte de Pétri afin de vérifier leur pureté. Après 24 heures d'incubation dans les mêmes conditions respectives, les cultures pures sont transférées dans un nouveau bouillon nutritif, puis incubées à nouveau pendant 18 heures. À partir de cette culture, quelques gouttes sont prélevées et diluées dans 9mL d'eau physiologique stérile à 0,9 %.

La suspension microbienne a bien été homogénéisée. La turbidité est ajustée au standard McFarland 0,5 à l'aide d'un colorimètre. Si la densité optique est trop faible, on ajoute de la culture ; si elle est trop élevée, on la dilue avec du milieu stérile (BMH ou BS). Ce standard correspond à une concentration de  $10^8$  UFC/mL pour les bactéries ( $DO = 0,08$  à  $0,1$  / » = 625nm)

et de  $10^6$ UFC/mL pour les levures (DO = 0,12 à 0,15 /  $\lambda = 530$ nm), avec une densité optique (DO) comprise entre 0,08 et 0,1 à une longueur d'onde de 625 nm (Pessini et al., 2003).

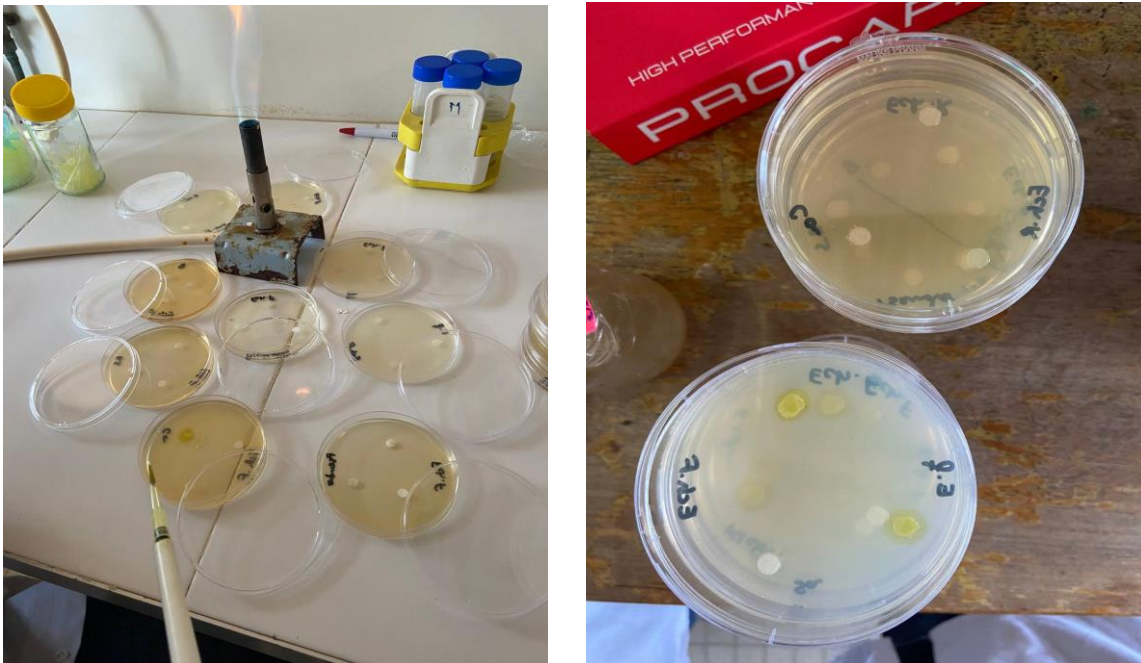
### V.1. Méthode de diffusion sur disque

Afin d'évaluer l'activité antimicrobienne des extraits d'*Echium plantagineum* L. nous avons opté pour la méthode de l'aromatogramme par diffusion à partir de disques imprégnés.

Des disques de papier filtre de 6mm de diamètre, imprégnés de 10 $\mu$ l de chaque extrait solubilisé dans du DMSO, sont déposés à la surface d'un milieu gélosé (gélose Mueller Hinton pour les bactéries et gélose Sabouraud pour la levure) contenu dans des boîtes de Pétri préalablement ensemencées avec 1mL de suspension microbienne  $10^6$  UFC/mL pour les levures et les bactéries (Joffin et Leyral, 2001) (Photo 13).

Parallèlement, un disque témoin négatif imprégné de DMSO (20  $\mu$ l/disque) a été utilisé, ainsi que des témoins positifs : antibiotiques [amoxicilline (10  $\mu$ g/disque), gentamicine (1  $\mu$ g/disque)] et d'un antifongique [nystatine (30  $\mu$ g/disque)].

Toutes les boites sont retournées et incubées à  $37\pm 1$  °C pendant 18-24 h pour les bactéries et à  $30\pm 1$  °C pendant 24-48 h pour la levure (Photo 14).



**Photo 13:** Imprégnation des disques d'extraits phénoliques des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L. (Tlemcen, 2025).



**Photo 14:** Incubation des boîtes de Pétri (Tlemcen, 2025).

Après incubation, le diamètre des zones d'inhibition dans les deux directions perpendiculaires autour des disques est directement mesuré en mm à l'aide d'une règle graduée, disque inclus.

## V.2. Méthode de micro-dilution en milieu liquide

Ce test en milieu liquide a pour but de déterminer les valeurs des paramètres antimicrobiens, notamment la concentration minimale inhibitrice (CMI). La méthode utilisée est décrite initialement par **Okusa et al. (2007)**, et a subi une légère modification.

Un volume de 200 $\mu$ l d'une solution composée de 2mL de bouillon Mueller-Hinton, 40 $\mu$ l d'extrait et 40 $\mu$ l de DMSO est transféré dans une microplaque à 96 puits. Des dilutions en série au demi sont ensuite réalisées dans le milieu de culture afin d'obtenir une gamme de concentrations pour chaque extraits (feuilles et racines d'*Echium plantagineum* L.).

À partir d'une culture microbienne incubée pendant 24 heures, un inoculum a été préparé à une concentration de 10<sup>6</sup> UFC/mL pour les bactéries et de 10<sup>4</sup> UFC/mL pour les levures, dans une solution de chlorure de sodium à 0,9%. Un volume de 100 $\mu$ l de cet inoculum a ensuite été ajouté à chaque puits contenant la gamme de concentrations préparée au préalable, puis les microplaques ont été incubées à 30  $\pm$  1 °C ou 37  $\pm$  1 °C pendant 24 à 48 heures.

Les concentrations finales obtenues dans la gamme ainsi préparée varient de 0,156 à 20 $\mu$ l/mL. Deux puits servent de témoins négatifs : le premier contient le milieu de culture avec l'inoculum, tandis que le second ne contient que le milieu de culture.

La concentration minimale inhibitrice (CMI) correspond à la plus faible concentration d'un extrait inhibant toute croissance visible du micro-organisme. Elle reflète ainsi un effet bactériostatique, sans pour autant fournir d'information sur l'état réel de la population bactérienne, ne permettant pas de déterminer si elles ont été partiellement ou totalement détruites, ou si leur multiplication a simplement été arrêtée (**Bergogne-Bérézin et Brogard, 1999**).

La turbidité de chaque puit est examinée à l'œil nu à la lumière du jour.

---

## **Résultats et discussion**

---

### I. Rendement des extraits phénoliques

Les extraits phénoliques des feuilles (EPF) et des racines (EPR) d'*Echium plantagineum* L. obtenus par extraction hydroacétométhanolique ont enregistré les pourcentages de rendement suivants :

**Tableau 6:** Rendements en (%) des extraits phénoliques des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L.

Espèce végétale	Partie de la plante	Rendement (%)
<i>Echium plantagineum</i> L.	Feuilles	27,15
	Racines	18,26

Nous pouvons constater que l'extrait phénolique des feuilles a présenté un rendement de **27,15%** nettement supérieur à celui rapporté par **Harouat et Hattab. (2024)**, soit **16,84%** bien que la même méthode d'extraction ait été appliquée. Cette différence pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment la période de récolte, les conditions climatiques spécifiques auxquelles les plantes ont été exposées, ainsi que d'éventuelles variations dans la composition biochimique liée à l'environnement ou au stade de développement végétatif.

En ce qui concerne l'extrait phénolique des racines d'*Echium plantagineum* L., le rendement atteint **18,26%** surpassant significativement les valeurs enregistrées par **Allaoua. (2023)** pour l'extrait méthanolique d'*Echium trygorrhizum* avec un pourcentage égal à **10,76%**.

### II. Teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes, tanins condensés et terpénoïdes

Les composés phénoliques constituent une classe majeure de substances bioactives, largement recherchées pour leurs propriétés biologiques exceptionnelles, notamment leurs activités antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires (**Oueslati et al., 2012**).

C'est pour cela, qu'il est important de quantifier les polyphénols totaux (PT), les flavonoïdes (F), les tanins condensés (TC) et les terpénoïdes (T)

Le tableau ci-après présente les teneurs en (PT), (F), (TC) et (T) des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L.

**Tableau 7:** Teneur en polyphénols totaux, flavonoïdes, tanins condensés et terpénoïdes des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L.

Partie d' <i>Echium plantagineum</i> L.	Polyphénols totaux (mg EAG/g E)	Flavonoïdes (mg EC/g E)	Tanins condensés (mg EC/g E)	Terpénoïdes mg (EL/gE)
<b>Feuilles</b>	57,0324	23,035	20,057	696,483
<b>Racines</b>	94,1401	69,750	24,642	488,310

**mg EAG/gE** : milligrammes équivalents acide gallique par gramme d'extrait ; **mg EC/gE** : milligrammes équivalents catéchine par gramme d'extrait ; **mg EL/gE** : milligrammes équivalents linalol par gramme d'extrait.

Les racines présentent une teneur en polyphénols totaux de **94,1401mgEAG/gE** significativement plus élevée que celle des feuilles **57,0324mgEAG/gE**, ce qui indique une plus grande richesse en composés antioxydants. Concernant les flavonoïdes, les racines contiennent près de trois fois plus que les feuilles avec des valeurs respectives de **69,75mgEC/gE** et **23,035mgEC/gE**, suggérant un potentiel accru des racines, notamment en termes d'activités antioxydantes, anti-inflammatoire et autres effets bénéfiques attribués à ces composés. Aussi, bien que la différence soit moins marquée, les racines sont légèrement plus riches en tanins condensés avec **24,642mgEC/gE** par rapport aux feuilles **20,057mgEC/gE**. Cette différence, bien que modérée, pourrait contribuer à renforcer les propriétés biologiques globales des extraits racinaires d'*Echium plantagineum* L.

Nos résultats sont plus au moins en accord avec le peu d'analyse trouvées. En effet, l'évaluation des métabolites secondaires des feuilles d'*Echium plantagineum* L. suite à une extraction méthanolique réalisée par **Benbrinis, (2023)** a rapporté **122 µgEAG/mgE** en polyphénols, **12,14 µgEQ/mgE** en flavonoïdes et **317,93 µg EAT/mg E** en tanins condensés.

La variation observée entre nos résultats pourrait s'expliquer par la nature différente des solvants utilisés pour l'extraction, ces derniers influençant significativement la composition et la concentration des métabolites secondaires.

Dans l'ensemble, les racines d'*Echium plantagineum* L. affichent des concentrations supérieures en phénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés en comparaison avec les feuilles, suggérant que les racines pourraient constituer une source plus riche en composés bioactifs.

Les terpénoïdes autrement appelés terpènes, représentent une catégorie importante appartenant aux métabolites secondaires qui sont responsables des différentes activités biologiques que possède une plante (Hellal, 2011). Compte tenu de leur importance pharmacologique et fonctionnelle, il s'avère essentiel de procéder à leur quantification afin d'évaluer leur contribution potentielle aux propriétés bioactives des extraits végétaux étudiés.

D'après le tableau 07, nous constatons que l'analyse quantitative des terpénoïdes révèle une concentration plus élevée dans les feuilles égale à **696,48 mgEL/gE** par rapport aux racines avec **488,31 mgEL/gE**.

Cette différence indique que les feuilles représentent une source plus riche en composés terpéniques.

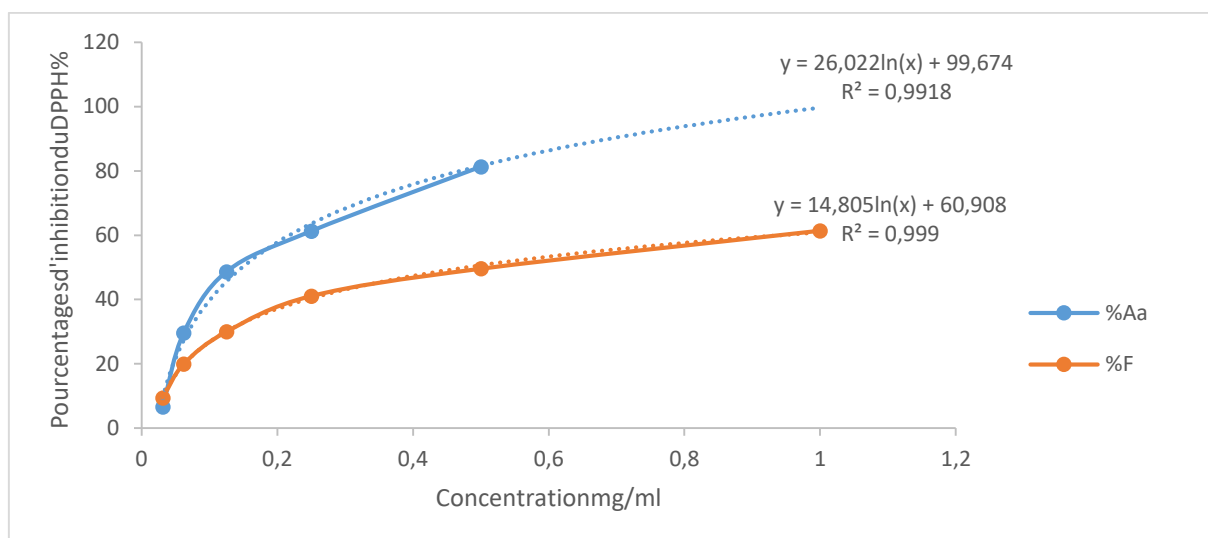
### **III. Evaluation de l'activité antioxydante des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L.**

Deux méthodes colorimétriques *in vitro* ont été employées pour évaluer le pouvoir antioxydant des extraits foliaire et racinaire de la plante : l'activité de piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) et le test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), mesurant le pouvoir réducteur du fer.

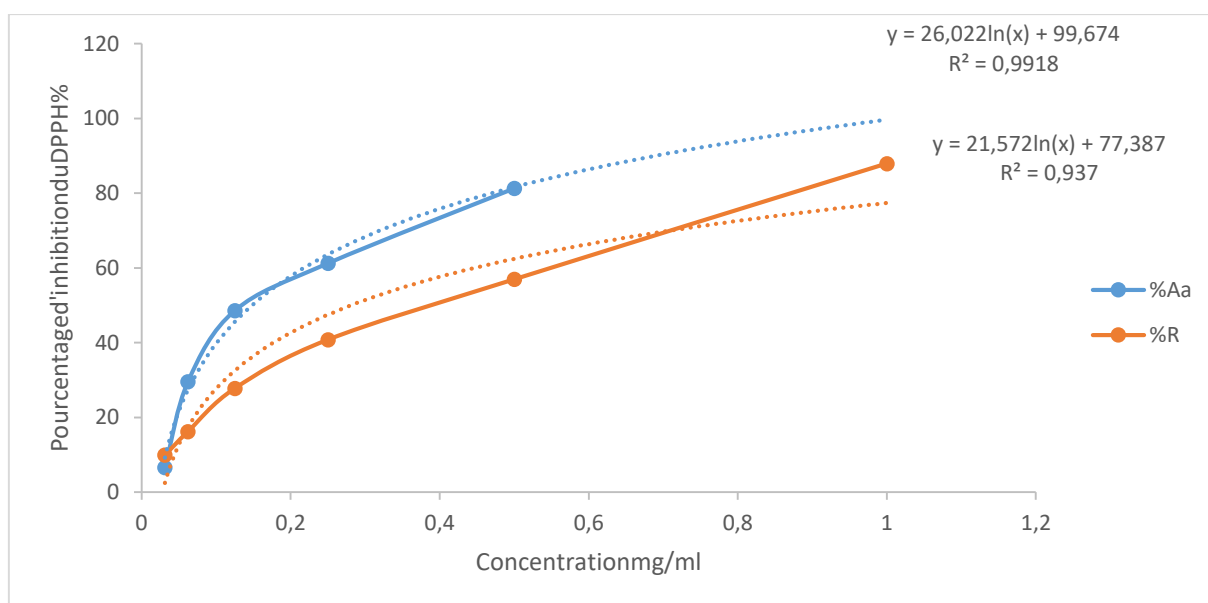
#### **III.1. Piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)**

La méthode du DPPH est la plus fréquente pour l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits végétaux (Pękal et Pyrzynska, 2015).

Grâce aux densités optiques (DO) obtenues, nous avons pu calculer les taux d'inhibition et tracer les courbes pour chaque extrait phénolique des deux parties feuilles et racines d'*Echium plantagineum* L. (Figures 12 et 13).



**Figure 12:** Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait phénolique des feuilles d'*Echium plantagineum* L.



**Figure 13:** Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait phénolique des racines d'*Echium plantagineum* L.

A partir des **figures 12** et **13**, nous constatons qu'à une concentration de **0,5mg/mL**, l'extrait phénolique des racines d'*Echium plantagineum* L. présente un pourcentage d'inhibition de **56,95%**, Tandis que celui des feuilles affiche un taux d'inhibition de **49,57%**. Tous deux significativement inférieur à celui de l'acide ascorbique qui présentait un pourcentage d'inhibition de **81,28%** à cette même concentration.

En comparant avec les résultats de **Harouat et Hattab. (2024)**, l'extrait phénolique des feuilles d'EP a enregistré un pourcentage d'inhibition de **77,85%** à **1,5mg/mL**, alors qu'à cette même concentration, notre extrait a atteint un taux d'inhibition de **66,9%**.

L'évaluation de la  $CI_{50}$  s'est révélée pertinente pour apprécier l'efficacité des extraits étudiés. Ce paramètre, correspond à la concentration nécessaire d'un extrait pour réduire de 50 % la concentration du radical libre DPPH. Plus les valeurs des  $CI_{50}$  sont faibles, plus l'activité antioxydante est forte (**Tableau 8**).

**Tableau 8** : Valeurs des  $CI_{50}$  de l'acide ascorbique et des extraits phénoliques des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L.

<i>Echium plantagineum</i> L.	$CI_{50}$ (mg/mL)
<b>Extrait phénolique des feuilles</b>	0,47
<b>Extrait phénolique des racines</b>	0,28
<b>Acide ascorbique</b>	0,15

D'après les  $CI_{50}$ , l'extrait phénolique des racines d'*Echium plantagineum* L. indique une valeur de **0,28mg/mL**, plus intéressante que celle des feuilles, qui est égale à **0,47mg/mL**. Ceci peut être interprété par une meilleure activité antioxydante des racines.

Malgré la richesse de nos extraits en composés phénoliques, l'acide ascorbique reste un antioxydant de référence avec une  $CI_{50}$  de **0,15mg/mL**.

Malgré des recherches bibliographiques approfondies, les données disponibles concernant les racines d'*Echium plantagineum* L. demeurent très limitées, ce qui rend difficile une comparaison ou une discussion détaillée.

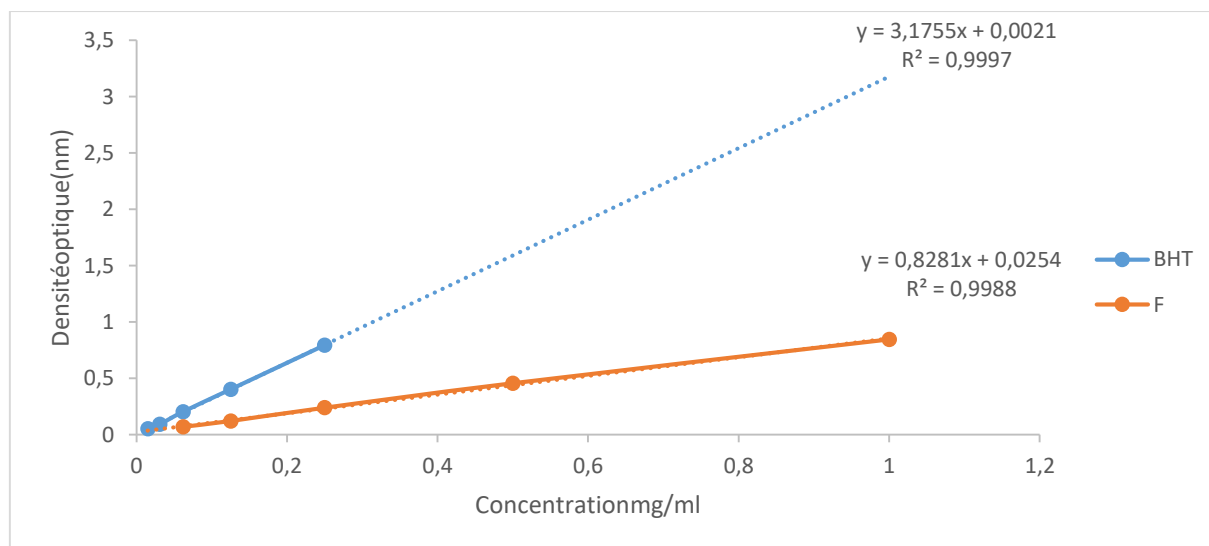
Néanmoins, les résultats obtenus s'avèrent cohérents avec ceux issus du dosage des composés phénoliques, suggérant que les racines constituent une source plus riche en substances antioxydantes en comparaison avec les feuilles.

### III.2. Test de réduction du fer FRAP

La méthode FRAP est considérée comme une technique directe et rapide pour évaluer la capacité antioxydante, en mesurant la réduction du fer ferrique ( $Fe^{3+}$ ) en fer ferreux ( $Fe^{2+}$ ) en présence d'antioxydants (**Olszowy et Widowicz, 2016**).

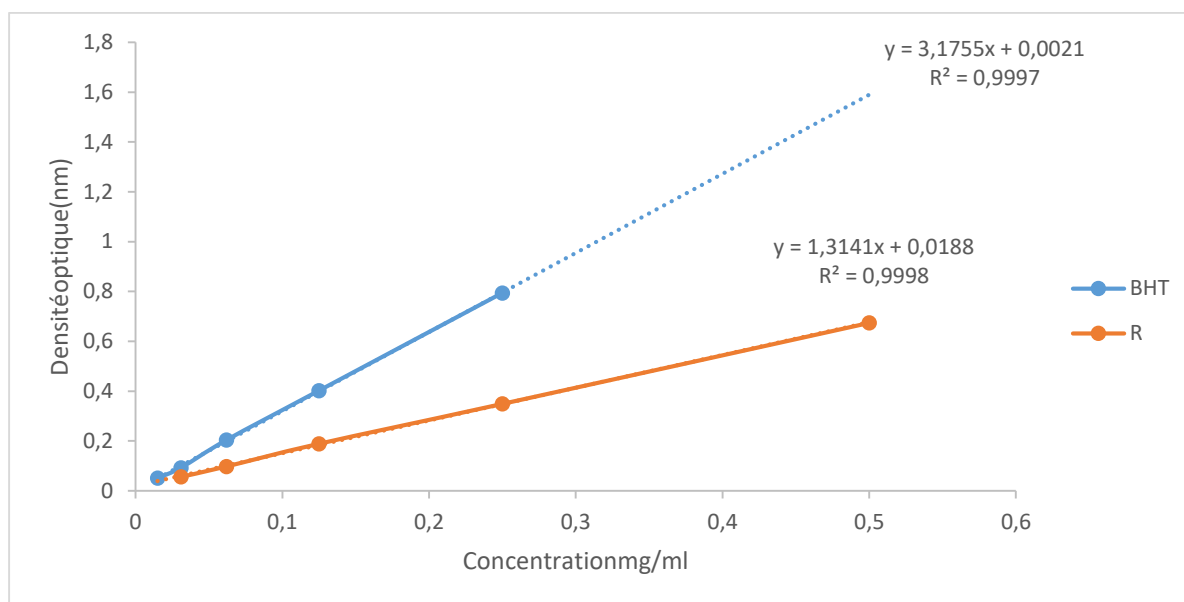
Les graphiques des **figures 14** et **15** illustrent le pouvoir réducteur des extraits phénoliques des racines et des feuilles d'*Echium plantagineum* L. en comparaison avec le standard antioxydant BHT (butylhydroxytoluène).

La densité optique (nm), mesurée à différentes concentrations, reflète la capacité des composés bioactifs contenus dans les extraits étudiés à réduire le fer. Plus cette densité est élevée, plus l'activité antioxydante est importante.



**Figure 14:** Pouvoir réducteur du fer de l'extrait phénolique des feuilles d'*Echium plantagineum* L.

La **figure 14** met en évidence qu'à toutes les concentrations testées, la densité optique du BHT est nettement plus élevée que celle de l'extrait des feuilles. Ces résultats confirment que, bien que l'extrait possède une certaine activité réductrice, mais son efficacité reste limitée par rapport à l'antioxydant de référence.



**Figure 15:** Pouvoir réducteur du fer de l'extrait phénolique des racines d'*Echium plantagineum* L.

Comme le montre la **figure 15**, l'extrait des racines d'EP, possède un pouvoir réducteur notable, mais nettement inférieur à celui du standard (BHT). En termes de densité optique, le BHT affiche des valeurs environ deux fois supérieures à celles de l'extrait racinaire à concentrations équivalentes.

Le pouvoir antioxydant des extraits phénoliques des racines et des feuilles d'EP a été évalué par la détermination de la concentration efficace (CE<sub>50</sub>), conformément aux données citées dans le tableau 9 suivant :

**Tableau 9:** Valeurs des CE<sub>50</sub> des extraits phénoliques des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L.

<i>Echium plantagineum</i> L.	CE <sub>50</sub> (mg/mL)
<b>Extrait phénolique des feuilles</b>	0,57
<b>Extrait phénolique des racines</b>	0,36
<b>BHT</b>	0,15

La comparaison des valeurs des CE<sub>50</sub> obtenues révèle que le BHT **0,15mg/mL** possède la meilleure capacité antioxydante, suivi par l'extrait des racines avec une CE<sub>50</sub> correspondant à **0,36mg/mL**, puis celui des feuilles ayant une CE<sub>50</sub> de **0,57mg/mL**.

En effet, une valeur de CE<sub>50</sub> plus faible traduit une efficacité antioxydante plus élevée, car une moindre concentration est requise pour atteindre 50% d'activité réductrice.

Ainsi, bien que les extraits végétaux soient moins puissants que l'antioxydant de référence (BHT), l'extrait phénolique racinaire se distingue par une activité antioxydante notablement supérieure à celle des feuilles, ce qui corrobore les résultats obtenus avec la méthode de piégeage du radical libre DPPH.

#### IV. Evaluation de l'activité anti microbienne des feuilles et racines d'*Echium plantagineum* L.

Afin d'évaluer l'activité antimicrobienne des extraits des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L., la méthode de diffusion sur disque a été utilisée comme approche préliminaire. Cette technique a permis de détecter la sensibilité ou non des souches testées aux extraits phénoliques testés. Par la suite, la détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) a été réalisée en vue de confirmer et d'affiner les résultats obtenus, en quantifiant plus précisément l'efficacité antimicrobienne de chaque extrait. Selon Tekwu et al. (2012), un extrait est considéré comme biologiquement actif lorsqu'il produit une zone d'inhibition supérieure à 10 mm.

Le tableau 10 résume les diamètres des zones d'inhibition (mm) des extraits phénoliques des deux parties d'*Echium plantagineum* L. explorées.

**Tableau 10 :** Diamètres des zones d'inhibition en (mm) des extraits phénoliques des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L.

Partie d' <i>Echium plantagineum</i> L. Etudiée		Diamètres des zones d'inhibition (mm)								
		Bactéries Gram (+)					Bactéries Gram (-)			Levure
		ML	SA	EF	BC	BS	KP	EC	PA	CA
<b>Racines</b>		22,3	6	16,8	7,5	11	8	13,3	6	11,5
<b>Feuilles</b>		11,5	10,3	10,5	9	9,8	13,5	10	12,5	11
<b>Antibiotiques</b>	<b>Amx</b>	26	26	NT	NT	25	6	12	6	NT
	<b>Nys</b>	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	15
	<b>Gent</b>	NT	NT	16	16	NT	NT	NT	NT	NT

ML : *micrococcus luteus*, SA : *Staphylococcus aureus*, EF : *Enterococcus faecalis*, BC : *Bacillus cereus*, BS : *Bacillus subtilis*, KP : *Klebsiella pneumoniae*, EC : *Escherichia coli*, PA : *Pseudomonas aeruginosa*, CA : *Candida albicans*, Amx : Amoxicilline, Nys : Nystatine, Gent : Gentamicine, NT : non testé.

Les résultats démontrent une activité inhibitrice notable des composés phénoliques extraits des racines d'*Echium plantagineum* L. contre plusieurs bactéries Gram (+). En effet la souche *Micrococcus luteus* étant la plus sensible avec une zone d'inhibition de **22,3mm**. Une inhibition significative est également observée contre *Enterococcus faecalis* (**16,8mm**) légèrement supérieure à celle de la Gentamicine avec une zone de 16mm et enfin *Bacillus subtilis* (11 mm). De même pour les souche bactériennes Gram (-), des zones d'inhibitions intéressantes d'un diamètre de 13,3 mm sont apparues contre *Escherichia coli*.

En parallèle, l'extrait phénolique des feuilles d'*Echium plantagineum* L. dont les diamètres d'inhibition sont plus modérés, variant entre 9mm et 13,5mm pour ces mêmes souches, a démontré la meilleure activité inhibitrice contre les bactéries Gram (-) qui sont *Klebsiella pneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa* avec des zones d'inhibition d'un diamètre de **13,5mm** et **12,5mm** nettement supérieures à celle de l'antibiotique Amoxicilline, suivie de près de *Micrococcus luteus* avec 11,5mm.

Concernant l'activité antifongique, les deux extraits phénoliques des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L. ont présenté un diamètre d'inhibition de **11,5** et **11mm**, indiquant une activité antifongique modérée. La nystatine, antifongique de référence, reste nettement plus efficace avec une zone d'inhibition de 15mm.

Pour résumer, l'extrait des racines d'*Echium plantagineum* L. s'est révélé plus actif contre les bactéries Gram (+), tandis que l'extrait des feuilles a montré une meilleure efficacité contre les bactéries Gram (-).

La Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) représente un paramètre clé dans l'évaluation de l'efficacité d'un antibiotique face à un micro-organisme. Elle correspond à la plus faible concentration capable d'inhiber la croissance d'une bactérie ou d'un champignon, permettant ainsi d'estimer le niveau de sensibilité de l'agent pathogène au traitement (**Smith et al., 2020**).

Le tableau 11 résume les concentrations minimales inhibitrices des extraits testés dans cette étude.

**Tableau 11 :** Concentrations minimales inhibitrices (CMI) des extraits phénoliques des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L.

Partie d' <i>Echium plantagineum</i> L.	Concentrations minimales inhibitrices (CMI) (mg/ml)				
	Bactéries Gram (+)		Bactéries Gram (-)		
	EF	ML	EC	PA	KP
<b>Racines</b>	30	30	30	NT	NT
<b>Feuilles</b>	NT	NT	NT	30	30

**EF** : *enterococcus faecalis*, **ML** : *micrococcus luteus*, **EC** : *Escherichia coli*, **PA** : *Pseudomonas aeruginosa*, **KP** : *Klebsiella pneumoniae*, **NT** : non testé.

Nous avons testé l'extrait phénolique des racines d'*Echium plantagineum* L. contre deux bactéries Gram (+) et une Gram (-) dont *Enterococcus faecalis*, *Micrococcus luteus* et *Escherichia coli*. Les résultats montrent une activité modérée, puisque la CMI a atteint **30mg/mL** pour toutes les souches testées. Cette valeur, bien qu'indiquant une certaine efficacité, reste relativement élevée, ce qui traduit une puissance antimicrobienne moyenne nécessitant des concentrations importantes pour inhiber la croissance bactérienne.

Concernant l'extrait phénolique des feuilles d'*Echium plantagineum* L., il a été testé à son tour contre deux bactéries Gram (-) qui sont *Pseudomonas aeruginosa* et *Klebsiella pneumoniae*. Là encore, les CMI sont identiques égales à **30mg/mL**, ce qui indique que ce dernier exerce un effet inhibiteur, mais uniquement à dose relativement élevée, cela reflète une activité antimicrobienne modérée.

---

## **Conclusion et perspectives**

---

Aujourd'hui encore, les plantes suscitent un intérêt scientifique considérable à l'échelle mondiale. Grâce à leur grande diversité en composés bioactifs tels que les polyphénols, flavonoïdes, alcaloïdes, tanins, terpénoïdes ou encore huiles essentielles, elles sont reconnues pour leurs nombreuses propriétés pharmacologiques à savoir antimicrobiennes, antioxydantes et antiinflammatoires.

Cette richesse moléculaire a fait des végétaux des acteurs idéaux dans la recherche de nouvelles alternatives thérapeutiques, en particulier dans un contexte marqué par la recrudescence de maladies chroniques, infectieuses ou dégénératives.

De nombreuses études ont ainsi démontré que certains extraits végétaux possèdent une efficacité remarquable dans le traitement ou la prévention de diverses pathologies. Il devient donc essentiel d'approfondir la connaissance de ces espèces et de valoriser leur potentiel biologique à travers une approche scientifique rigoureuse.

La présente étude a été menée dans le but d'évaluer l'efficacité des extraits phénoliques issus des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L. visant à mettre en évidence leur potentiel biologique.

Pour ce faire, le travail a porté sur l'extraction et la quantification de certains métabolites secondaires, ainsi que sur l'évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante et de l'activité antimicrobienne des extraits phénoliques des feuilles et des racines d'*Echium plantagineum* L.

D'une part, la détermination des teneurs en métabolites secondaires à savoir les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins condensés et les terpénoïdes a révélé que l'extrait phénolique des racines est plus riche comparé à celui des feuilles avec des concentrations de **94,1401mgEAG/gE**, **69,750mgEC/gE** et **24,642mgEC/gE**. En revanche, les feuilles ont montré une plus grande richesse en terpénoïdes que les racines avec une valeur égale à 696,483mgEL/gE.

D'autre part l'évaluation du pouvoir antioxydant, réalisée à l'aide des méthodes colorimétriques DPPH et FRAP, a montré que l'extrait phénolique racinaire d'*Echium plantagineum* L. est plus efficace que celui des feuilles avec des valeurs de  $CI_{50}$  et  $CE_{50}$  plus faibles, estimées respectivement à **0,28mg/mL** et **0,36mg/mL**, traduisant une meilleure capacité à piéger les radicaux libres et à réduire les ions ferriques.

Enfin, l'évaluation de l'activité antimicrobienne s'est faite dans un premier temps par la méthode de diffusion sur disques. Elle a révélé une sélectivité d'action selon la partie de la plante utilisée.

L'extrait phénolique des racines s'est montré plus efficace contre les bactéries à Gram (+), en particulier contre *Micrococcus luteus* avec une zone d'inhibition de **22,3mm** et *Enterococcus faecalis* **16,8mm**, tandis que celui des feuilles a présenté une meilleure activité vis-à-vis des souches à Gram (-) notamment contre *Klebsiella pneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa* avec des zones d'inhibition de **13,5mm** et **12,5mm** respectivement. Puis par la méthode de micro dilution en milieu liquide afin de déterminer les valeurs des concentrations minimales inhibitrices (CMI) qui se sont estimées à **30mg/mL** ce qui indique que les deux extraits phénoliques ont une activité antimicrobienne modérée.

Au vu des résultats obtenus, il ressort que les racines d'*Echium plantagineum* L. sont plus riches en polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés, et présentent une activité antioxydante plus marquée. Elles ont également démontré une activité antimicrobienne sélective contre les bactéries à Gram (+) En revanche, les feuilles se sont distinguées par une teneur plus élevée en terpènes et une meilleure efficacité antimicrobienne à l'égard des souches à Gram (-). Ces différences suggèrent une répartition spécifique des métabolites secondaires selon l'organe végétal, influençant leur potentiel biologique.

A cet effet, nos résultats ouvrent de larges perspectives pour d'autres études afin de :

- Poursuivre l'analyse approfondie de la composition chimique des extraits par des techniques chromatographiques avancées (HPLC) afin d'identifier précisément les composés bioactifs responsables des activités observées.
- Étendre l'évaluation biologique aux activités antiinflammatoires, cytotoxiques et antivirales pour explorer davantage le potentiel thérapeutique d'*Echium plantagineum* L.
- Réaliser des études *in vivo* et toxicologiques pour confirmer l'efficacité et l'innocuité des extraits en vue d'applications thérapeutiques humaines.
- Envisager la formulation de produits naturels (pharmaceutiques, cosmétiques, nutraceutiques) à base d'extraits phénoliques, tels que des antiseptiques, crèmes antioxydantes ou compléments alimentaires.
- Explorer la synergie potentielle entre les extraits foliaires et racinaires, en vue d'optimiser leurs effets biologiques à travers des formulations combinées.

---

## **Références bibliographiques**

---

**-A-**

Allaoua, N. (2023). Étude phytochimique, toxicologique et le potentiel anti-hyperglycémiant de la plante *Echium lycopsis* (Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie Animale).

Amawi, H., Ashby, C. R., Samuel, T., Peraman, R., & Tiwari, A. K. (2017). Polyphenolic nutrients in cancer chemoprevention and metastasis: Role of the epithelial-to-mesenchymal (EMT) pathway. *Nutrients*, 9(11), 1–23.

Ang-Lee, M. K., Moss, J., & Yuan, C. S. (2006). Herbal medicines and perioperative care. *Journal of the American Medical Association (JAMA)*, 286(2), 208–216.

**-B-**

Ben Abdallah, F., Lagha, R., Osama Al Sarhan, B., & Al Sodany, Y. (2019). Antibacterial and biofilm inhibitory activity of medicinal plant essential oils against *Escherichia coli* isolated from UTI patients. *Molecules*, 24(6), 1161.

Benbrenis, S. (2023). In vitro and in vivo anti-inflammatory and hepatoprotector effects of Algerian *Echium plantagineum* and *Brassica rapa* extracts (Doctoral dissertation, University of Ferhat Abbas Sétif, Faculty of Natural and Life Sciences, Department of Biochemistry).

Benguesmia, I. B., & Chellouf, I. (2024). Évaluation de l'activité antimicrobienne des extraits aériens et racinaires de la plante *Medicago sativa* (Mémoire de master). Université Constantine 1 Frères Mentouri, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Microbiologie, spécialité Microbiologie.

Benamara, F. Z. (2017). *Stress oxydant et pathologies humaines* (Thèse de pharmacie).

Bergogne-Bérézin, E., & Dellamonica, P. (1999). *Antibiothérapie en pratique clinique* (2e éd.). Paris, France : Masson.

Berti, M., Johnson, B. L., Dash, S., Fischer, S., Wilckens, R., & Hevia, F. (2007). *Echium*: A source of stearidonic acid adapted to the Northern Great Plains in the US. In J. Janick & A. Whipkey (Eds.), *Issues in new crops and new uses* (pp. 120–125). ASHS Press, Alexandria, VA.

Bermúdez, R., Falcon, M., Rodríguez, J. L., & Hernández, J. M. (2002). Pyrrolizidine alkaloids: Carcinogenicity and mechanisms. *Toxicology Reviews*, 21(3), 199–215.

Bhuyan, D. J., & Basu, A. (2017). Phenolic compounds: Potential health benefits and toxicity. In *Utilisation of bioactive compounds from agricultural and food waste* (Chap. 2). Springer.

Boudjouref, M. (2011). Étude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'*Artemisia campestris* L. (Mémoire de magister en biochimie). Université Ferhat Abbas, Sétif.

Boubekri, K. (2014). Étude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de *Solanum melongena* par des techniques électrochimiques (Thèse de doctorat en chimie). Université

- Mohamed Khider, Biskra, 176 p.  
 Boros, B., Jakabová, S., Dörnyei, Á., Horváth, G., et al. (2010). Determination of polyphenolic compounds by liquid chromatography mass spectrometry in *Thymus* species. *Journal of Chromatography A*, 1217(51), 7972–7980. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.07.042>
- Bouyahya, A., Bakri, Y., Et-Touys, A., Talbaoui, A., Khouchlaa, A., Charfi, S., Abrini, J., & Dakka, N. (2017). Résistance aux antibiotiques et mécanismes d'action des huiles essentielles contre les bactéries. *Phytothérapie*, 1–12.
- Brigitte, S. (2006). *Biologie microbiologie : Résumé de cours, exercices corrigés et commentés*. Éditions Ellipses, France, pp. 272–276.
- Bruneton, J. (2008). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (3e éd.). Paris : Lavoisier Technique & Documentation, 1120 p.

**-C-**

- Chetley, A. (2000). *Médicaments à problèmes*. Paris : Éditions ReMed, 405 p. [Ouvrage cité dans : Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou].
- Comunian, T. A., Boillon, M. R. G., Thomazini, M., Nogueira, M. S., de Castro, I. A., & Favaro-Trindade, C. S. (2016). Protection of Echinium oil by microencapsulation with phenolic compounds. *Food Research International*, [volume], 1–8.
- Coste, E. (2015). *Trente-sept plantes chinoises (Magnoliidae, Ranunculidae, Asteridae) : Caractères botaniques, étude pharmacologique et intérêt thérapeutique* (Thèse de doctorat, Université de Montpellier 1).
- Coulibaly, D. (2022). *Prescription des antibiotiques dans le Service d'accueil des urgences du CHU GABRIEL TOURÉ* (Thèse de doctorat, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali).

**-D-**

- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352.
- Dorman, H. J. D. (2000). Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88(2), 308–316.
- Dragović, S., Dragović-Uzelac, V., Pedisić, S., Čošić, Z., Friščić, M., Elez Garofulić, I., & Zorić, Z. (2020). The mastic tree (*Pistacia lentiscus* L.) leaves as source of BACs: Effect of growing location, phenological stage and extraction solvent on phenolic content. *Food Technology and Biotechnology*, 58(3), 303–314. <https://doi.org/10.17113/ftb.58.03.20.6662>
- Durán, A. G., Gutiérrez, M. T., Rial, C., Torres, A., Varela, R. M., Valdivia, M. M., Molinillo, J. M., Skoneczny, D., Weston, L. A., & Macías, F. A. (2017). Bioactivity and quantitative analysis of isohexenylnaphthazarins in root periderm of two *Echinium* spp.: *E. plantagineum* and *E. gaditanum*. *Phytochemistry*, 141, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.05.007>

**-E-**

Eberle, C. A., Forcella, F., Gesch, R., Weyers, S., Peterson, D., & al. (2014). Flowering dynamics and pollinator visitation of oilseed *Echium plantagineum*. *PLoS ONE*, **9**(11), e113556. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113556>.

**-F-**

Flora Marocana. (2024). *Echium plantagineum*. Consulté le 15 avril 2025, sur <https://www.floramarocana.fr/e.-plantagineum.html>

Frątczak, A., Bylka, W., & Studzińska-Sroka, E. (2015). Fenolokwasy – budowa, działanie biologiczne i znaczenie w kosmologii. *Polish Journal of Cosmetology*, **18**(4), 270–274.

Fu, J.-Y., Zhao, H., Bao, J.-X., Wen, Z.-L., Fang, R.-J., Fazal, A., Yang, M.-K., Liu, B., Yin, T.-M., Pang, Y.-J., Lu, G.-H., Qi, J.-L., & Yang, Y.-H. (2020). Establishment of the hairy root culture of *Echium plantagineum* L. and its shikonin production. *3 Biotech*, **10**, 429. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02419-7>

**-G-**

Garcia Carlini, G. C., Roschel, G. G., Ferrari, R. A., Alencar, S. M., Ota, H. C., Ferreira da Silveira, T. F., & Castro, I. A. (2021). Chemical characterization of *Echium plantagineum* seed oil obtained by three methods of extraction. *Journal of Food Science*, **86**(12), 5307–5317. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15972>

Ghasemzadeh, A., & Ghasemzadeh, N. (2011). Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and humans. *Journal of Medicinal Plants Research*, **5**(31), 6697–6703.

Ghedira, K. (2005). Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, **3**(4), 162–169.

Guignard, J. L. (1996). *Biochimie végétale*. Paris, France : Masson, 274 p.

**-H-**

Hadjadj, K., Benaïssa, M., Mahammedi, M., Ouragh, A., & Rahmoué, A. (2019). Importance des plantes médicinales pour la population rurale du Parc National de Djebel Aïssa (Sud-Ouest algérien). *Lejeunia – Revue de Botanique, Nouvelle série*, n° 199, décembre 2019.

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). *Free radicals in biology and medicine* (5th ed.). Oxford University Press.

Harouat, K., & Hattab, I. (2023–2024). Évaluation in vitro et in vivo des activités biologiques des composés bioactifs des feuilles de *Echium plantagineum* L. (Mémoire de master). Université de Tlemcen, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie.

Harris, W. S., Miller, M., Tighe, A. P., Davidson, M. H., & Schaefer, E. J. (2008). Omega-3 fatty acids and coronary heart disease risk: Clinical and mechanistic perspectives. *Atherosclerosis*, 197(1), 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2007.11.008>

Hellal, Z. (2011). Contribution à l'étude des propriétés antibactériennes et antioxydantes de certaines huiles essentielles extraites des citrus : application sur la sardine (*Sardina pilchardus*) (Mémoire de magister en biologie). Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie, 78 p.

Hilger, H. H., Cole, T. C. H., Selvi, F., & Bachelier, J. B. (2020). Phylogénie des Boraginacées. Manuscrit, avril 2020.

Hubert, J. (2006). Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja. Étude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaines (Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique, Toulouse), 174 p.

### -I-

Ignarro, L. J., Balestrieri, M. L., & Napoli, C. (2007). Nutrition, activité physique et maladies cardiovasculaires : mise à jour. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 17(5), 326–340. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2006.07.006>

### -J-

Joffin, J. N., & Leyral, G. (2001). Microbiologie technique 1 : Dictionnaire des techniques (3e éd.). Bordeaux, France : Biologie Technique.

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>

Jimoh, F. O., Adedapo, A. A., & Afolayan, A. J. (2010). Comparison of the nutritional value and biological activities of the acetone, methanol and water extracts of the leaves of *Solanum nigrum* and *Leonotis leonorus*. *Food and Chemical Toxicology*, 48(3), 964–971.

### -K-

Kabera, J. N., Semana, E., Mussa, A. R., & He, X. (2014). Plant secondary metabolites: Biosynthesis, classification, function and pharmacological properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2(6), 377–392.

Kabera, J. N., Semana, E., Mussa, A. R., & He, X. (2014). Plant secondary metabolites: Biosynthesis, classification, function and pharmacological properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2(6), 377–392.

Kamra, D. N., Agarwal, N., & Chaudhary, L. C. (2006). Inhibition of ruminal methanogenesis by tropical plants containing secondary compounds. *International Congress Series*, 1293, 156–163.

Kim YJ., Yokozawa T., Chung HY. (2003). Suppression of oxidative stress in aging NZB/NZW mice: Effect of fish oil feeding on hepatic antioxidant status and guanidino compounds. *Free Radical Research*. 39(10): 1101-1110

**-L-**

Labadie, C. (2015). Analyse fine et stabilisation des hydrolats de rose et de fleur d'oranger (Thèse de doctorat, Université de Montpellier).

Lambinon, J., Verloove, F., Delvosalle, L., Toussaint, B., & Geerinck, D. (2015). Nouvelle flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du nord de la France et des régions voisines : Ptéridophytes et spermatophytes.

Latifian, E., & Arslanoğlu, Ş. F. (2018). Traditional medicinal plants of Azerbaijan province of Iran. *Agricultural Sciences*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.4236/as.2018.91012>

Leite, P. M., Camargos, L. M., & Castilho, R. O. (2021). Recent progress in phytotherapy: A Brazilian perspective. *European Journal of Integrative Medicine*, 41, 101270

Liu, Y., & Shi, J. (2015). Antimicrobial and antioxidant activities of tannins from *Echium plantagineum*. *Journal of Medicinal Plant Research*, 9(10), 327–332.

Lütge, U., Kluge, M., & Bauer, G. (2002). *Botanique* (3e éd.). Paris : Lavoisier, Technique et Documentation, 211 p.

**-M-**

Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux : Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Lausanne, Suisse : Presses polytechniques et universitaires romandes.

Malecky, M. (2005). Métabolisme des terpénoïdes chez les caprins (Thèse pour obtenir le grade de docteur, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, AgroParisTech), pp. 9, 13–19, 20, 27.

Manikandan, R., Beulaja, M., Arulvasu, C., Sellamuthu, S., Dinesh, D., Prabhu, D., et al. (2012). Activité anticancéreuse synergique de la curcumine et de la catéchine : étude in vitro sur des lignées cellulaires cancéreuses humaines. *Phytotherapy Research*, 26(1), 112–116. <https://doi.org/10.1002/ptr.3517>

Marouf, A., & Reynaud, J. (2007). *La botanique de A à Z*. Paris : Dunod, 177 p.

McLean, M., & Dorne, J. L. (2012). Pyrrolizidine alkaloids: A review of toxicology and human health risks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(33), 7075–7085.

McMahon, L. R., McAllister, T. A., Berg, B. P., Majak, W., Acharya, S. N., Popp, J. D., Coulman, B. E., Wang, Y., & Cheng, K. J. (2000). A review of the effects of forage condensed tannins on ruminal fermentation and bloat in grazing cattle. *Canadian Journal of Plant Science*, 80(3), 469–485.

**-N-**

Naumann, H. D., Tedeschi, L. O., Zeller, W. E., & Huntley, N. F. (2017). The role of condensed tannins in ruminant animal production: Advances, limitations and future directions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 929–949. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017001200009>

Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2012). Natural products as sources of new drugs over the 30 years from 1981 to 2010. *Journal of Natural Products*, 75(3), 311–335.

**-O-**

Okusa, P. N., Penge, O., Devleeschouwer, M., & Duez, P. (2007). Direct and indirect antimicrobial effects and antioxidant activity of *Cordia gillettii* De Wild (Boraginaceae). *Journal of Ethnopharmacology*, 112(3), 476–481.

Olszowy, M., & Dawidowicz, A. L. (2016). Essential oils as antioxidants: Their evaluation by DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC, and  $\beta$ -carotene bleaching methods. *Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly*, 147(12), 2083–2091.

Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction—antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44, 307–315.

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2013). *Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2014-2023*. Genève.12:08

**-P-**

Paolini, V., Dorchie, Ph., & Hoste, H. (2003). Effet des tanins condensés et des plantes à tanins sur les strongyloses gastro-intestinales chez le mouton et la chèvre. *Alter Agricultures*, (17–19), 39–44.

Palomo, N. (2010). *La gestion des plantes médicinales chez les communautés autochtones Nahuas de la Huasteca Potosina, Mexique (Mémoire de maîtrise, Faculté des arts et des sciences, Université de Montréal, Canada)*, 294 p.

Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270–278.

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.

Perret, C. (2001). *Analyse de tannins inhibiteurs de la stilbène oxydase produite par Botrytis cinerea (Thèse de doctorat, Université de Neuchâtel, Faculté des Sciences)*, 173 p.

Pessini, G. L., Prado Dias Filho, C. B., Nakamura, V., & Cortez, D. A. G. (2003). Antibacterial activity of extracts and neolignans from *Piper regnellii* (Miq.) C.D.C. var. *pallescens* (C.D.C.) Yunck. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 98.

Pospíšilová, J. (2007). [Compte rendu de l'ouvrage *Floriculture, Ornamental and Plant*

Biotechnology: Advances and Topical Issues, édité par J.A. Teixeira da Silva, Volumes I–IV]. *Biologia Plantarum*, 51(2), 390. <https://doi.org/10.1007/s10535-007-0083-z>.

Prabhu, S., Molath, A., Choksi, H., Kumar, S., & Mehra, R. (2021). Classifications of polyphenols and their potential application in human health and diseases. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*, 6, 293–301.

### **-R-**

Rashid, M. A., & Mohd, S. (2016). Chemical composition and bioactivity of *Echium plantagineum*: A review of recent studies. *Phytochemistry Reviews*, 15(6), 999–1013.

Rahman, M. A., & Rahman, M. H. (2017). Saponins and their biological effects in medicinal plants: Focus on *Echium plantagineum*. *International Journal of Herbal Medicine*, 5(6), 123–127.

Raven, H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2000). *Biologie végétale* (6e éd.) (Trad. B. Jules & M. Charles). Paris.

Rira, M. (2006). Effet des polyphénols et des tanins sur l'activité métabolique du microbiote ruminal d'ovins (Mémoire de magister en biochimie et microbiologie appliquées). Université Mentouri, Constantine, Algérie, 94 p.

Rousserie, P. (2019). De la biosynthèse des flavanols aux tanins du vin : quelles places pour les pépins de raisin ? (Thèse de doctorat, Université de Bordeaux).

### **-S-**

Saha, S., & Sarker, S. (2019). Alkaloids in medicinal plants: Insights into the potential therapeutic roles of *Echium plantagineum*. *Phytotherapy Research*, 33(4), 1023–1032.

Sahli R. (2017). Etude phytochimique de quelques plantes extremophiles Tunisiennes et exploration de leurs activités biologiques. Thèses université de lille 2. Pp: 1.

Sak, K. (2014). Site specific anticancer effects of dietary flavonoid quercetin. *Nutrition and Cancer*, 66(2), 177–193. <https://doi.org/10.1080/01635581.2014.864418>

Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J. A., & Saura-Calixto, F. (1998). A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(2), 270–276.

Sies, H. (2015). Oxidative stress: A concept in redox biology and medicine. *Redox Biology*, 4, 180–183.

Singh, S. B., & Barrett, J. F. (2006). Empirical antibacterial drug discovery—Foundation in

natural products. *Biochemical Pharmacology*, 71(7), 1006–1015.

Smith, J., & Doe, A. (2020). La concentration minimale inhibitrice : Un outil essentiel dans la lutte contre la résistance aux antibiotiques. *Journal de Microbiologie Médicale*, 35(4).

Sousa, C., Moita, E., Valentão, P., Fernandes, F., Monteiro, P., & Andrade, P. B. (2015). Effects of colored and noncolored phenolics of *Echium plantagineum* L. bee pollen in Caco-2 cells under oxidative stress induced by tert-butyl hydroperoxide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(7), 2083–2091. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25642978>

### -T-

Tekwu, E. M., Pieme, A. C., & Beng, V. P. (2012). Investigations of antimicrobial activity of some Cameroonian medicinal plant extracts against bacteria and yeast with gastrointestinal relevance. *Journal of Ethnopharmacology*, 142(1), 265–273.

### -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, 139–150.

### -V-

Verpoorte, R., & Alfermann, A. W. (2000). *Metabolic engineering of plant secondary metabolism*. Dordrecht, Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 286 p.

Vita, J. A. (2005). Polyphénols et maladies cardiovasculaires : effets sur la fonction endothéliale et plaquettaire. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1 Suppl), 292S–297S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.292S>.

### -Y-

Yu Z., Dahlgren RA. (2005). Evaluation of methods for measuring polyphenols in copper foliage, *J. Chem. Ecol.* (26): 2119-2140.

### -Z-

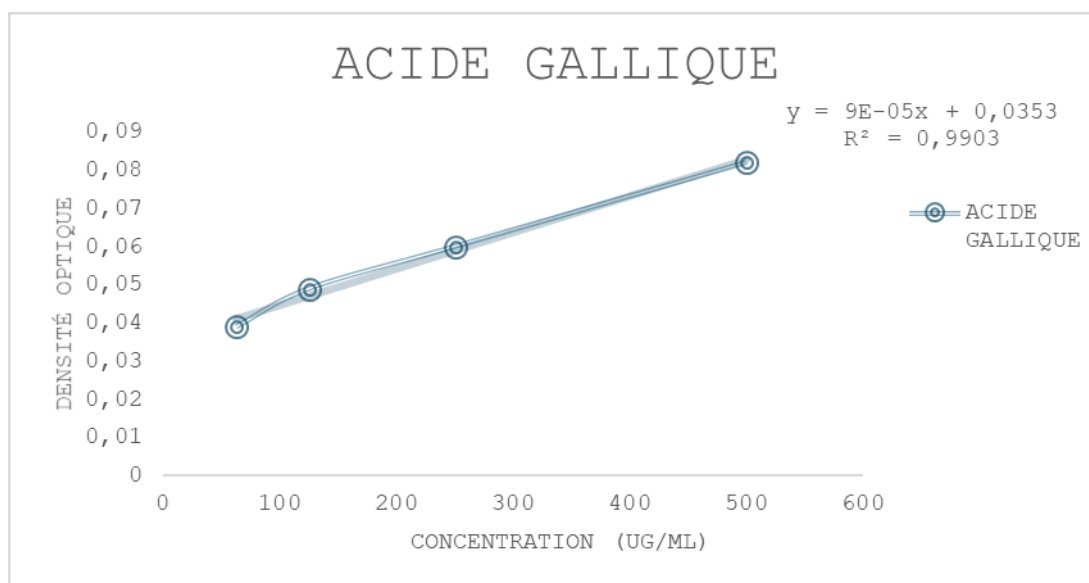
Zhu, X., Skoneczny, D., Weidenhamer, J. D., Mwendwa, J. M., Weston, P. A., Gurr, G. M., Callaway, R. M., & Weston, L. A. (2016). Identification and localization of bioactive naphthoquinones in the roots and rhizosphere of *Paterson's curse* (*Echium plantagineum*), a noxious invader. *Journal of Experimental Botany*, 67(12), 3777–3788. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw078>

---

# Annexes

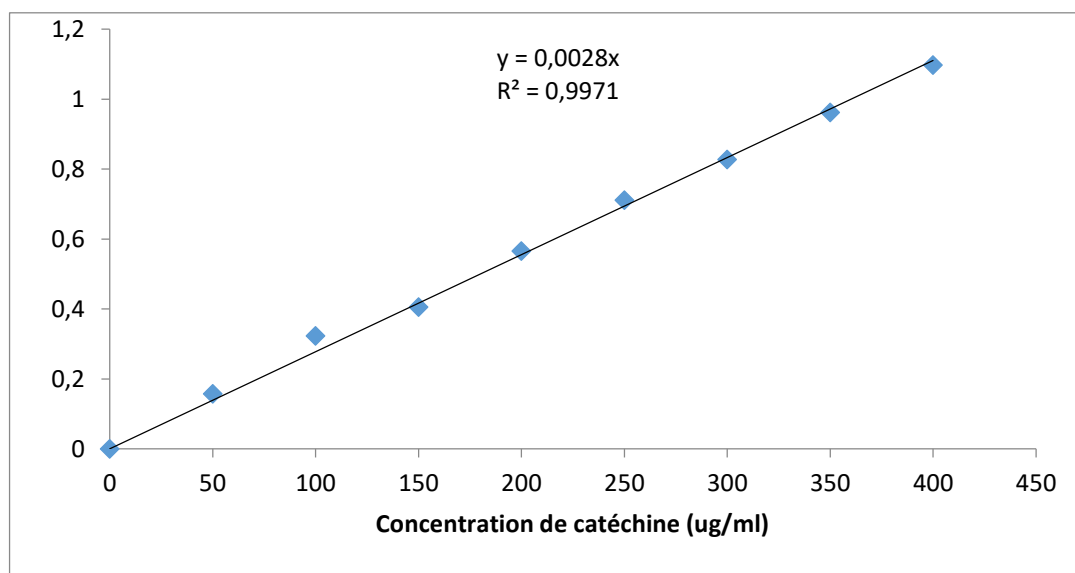
---

## Annexe A



**Figure :** Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des phénols totaux.

## Annexe B



**Figure :** Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux et des tanins condensés.

## Résumé

Depuis toujours, les plantes jouent un rôle essentiel dans la vie humaine, en tant que source de nutriments et de composés bioactifs. Riches en métabolites secondaires tels que les polyphénols, flavonoïdes et huiles essentielles, elles possèdent des propriétés pharmacologiques précieuses, notamment antioxydantes et antimicrobiennes.

Dans le cadre de cette étude, *Echium plantagineum* L. a été sélectionnée parmi un ensemble de plantes d'intérêt, en vue d'évaluer les propriétés biologiques de ses feuilles et ses racines. Les objectifs spécifiques de ce travail consistaient à quantifier les teneurs en composés phénoliques totaux, flavonoïdes, tanins condensés et terpénoïdes, évaluer le potentiel antioxydant des extraits phénoliques à l'aide de deux approches colorimétriques *in vitro*, à savoir les méthodes DPPH et FRAP, et examiner l'activité antimicrobienne par la méthode de diffusion sur disque, afin de déterminer leur efficacité contre diverses souches microbiennes.

Les résultats des dosages des composés phénoliques ont révélé que les racines d'*Echium plantagineum* L. présentaient une teneur plus élevée en phénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés comparativement aux feuilles avec des valeurs de 94,1401mgEAG/gE, 69,75mgEC/gE, 24,642mgEC/gE respectivement. En revanche, les feuilles se sont avérées plus riches en terpénoïdes avec une valeur importante de 696,4838mgEL/gE.

De plus, les racines ont présenté un pouvoir antioxydant plus important avec une  $CI_{50}$  de 0,28 mg/mL et  $CE_{50}$  de 0,36 mg/mL, confirmant leur potentiel thérapeutique. Enfin, la détermination du pouvoir antimicrobien a démontré que l'extrait phénolique racinaire d'*Echium plantagineum* L. (EPR) a enregistré une activité plus marquée contre les bactéries Gram positives, particulièrement *Micrococcus luteus* (22,3 mm) et *Enterococcus faecalis* (16,8 mm). À l'inverse, l'extrait phénolique des feuilles (EPF) s'est montré plus efficace contre les bactéries Gram négatives, notamment *Klebsiella pneumoniae* (13,5mm) et *Pseudomonas aeruginosa* (12,5 mm).

Globalement, l'extrait des racines d'*Echium plantagineum* L. s'est révélé plus efficace, avec une plus grande richesse en composés phénoliques, une meilleure activité antioxydante et une action antimicrobienne marquée. En revanche, les feuilles, plus riches en terpénoïdes ont montré une meilleure efficacité contre certaines souches Gram négatives, soulignant la complémentarité des deux extraits.

**Mots-clés :** *Echium plantagineum* L., composés phénoliques, activité antioxydante, activité antimicrobienne, feuilles, racines.

### ملخص

لطالما لعبت النباتات دورًا أساسيًا في حياة الإنسان كمصدر للمغذيات والمركبات النشطة بيولوجيًا. لغناها بالمستقلبات الثانوية، مثل البوليفينولات والفلافونويدات والزيوت العطرية، تتمتع بخصائص دوائية قيّمة، بما في ذلك خصائص مضادة للأكسدة ومضادة للميكروبات.

في هذه الدراسة، تم اختيار نبات *Echium plantagineum* L. من مجموعة نباتات ذات أهمية لتقييم الخصائص البيولوجية لأوراقه وجذوره. وتتمثل الأهداف المحددة لهذا العمل في تحديد محتوى المركبات الفينولية الكلية، والفلافونويدات، والعصعص، والتريبينويدات، وتقييم إمكانات مضادات الأكسدة في المستخلصات الفينولية باستخدام طريقتين لقياس الألوان في المختبر، وهما طريقتا DPPH وFRAP، وفحص نشاطها المضاد للميكروبات باستخدام طريقة انتشار القرص لتحديد فعاليتها ضد سلالات ميكروبية مختلفة.

أظهرت نتائج تحاليل المركبات الفينولية أن جذور نبات *Echium plantagineum* L. تحتوي على مستويات أعلى من البوليفينولات الكلية والفلافونويدات والعصعص المكثف مقارنةً بالأوراق، حيث بلغت قيمتها 94.1401 ملغ EAG/غ E، و69.75 ملغ EC/غ E، و24.642 ملغ EC/غ E، على التوالي. في المقابل، وُجد أن الأوراق أغنى بالتريبينويدات، حيث بلغت قيمتها 696.4838 ملغ EL/غ E. علاوة على ذلك، أظهرت الجذور نشاطاً مضاداً للأكسدة أكبر، حيث بلغ  $CI_{50}$  بقيمة تقدر بـ: 0.28 ملغ/مل و  $CE_{50}$  بقيمة تقدر بـ: 0.36 ملغ/مل، مما يؤكد فعاليتها العلاجية. أخيرًا، أظهر تحديد القوة المضادة للميكروبات أن مستخلص جذور نبات *Echium plantagineum* L. الفينولي سجل نشاطاً أكثر وضوحاً ضد البكتيريا موجبة الجرام، وخاصةً *Micrococcus luteus* (22.3 مم) و *Enterococcus faecalis* (16.8 مم). في المقابل، كان مستخلص الأوراق الفينولي أكثر فعالية ضد البكتيريا سالبة الجرام، وخاصةً *Klebsiella pneumoniae* (13.5 مم) و *Pseudomonas aeruginosa* (12.5 مم).

أشكال عام، كان مستخلص جذور *Echium plantagineum* L. أكثر فعالية، إذ احتوى على نسبة أعلى من المركبات الفينولية، ونشاط مضاد للأكسدة أفضل، وتأثير مضاد للميكروبات ملحوظ. في المقابل، أظهرت الأوراق، الغنية بالتريبينويدات، فعالية أكبر ضد بعض سلالات البكتيريا سالبة الجرام، مما يبرز تكامل المستخلصين.

**الكلمات المفتاحية:** *Echium plantagineum* L. ، مركبات فينولية، نشاط مضاد للأكسدة، نشاط مضاد للميكروبات، أوراق، جذور.

### Abstract

Plants have always played an essential role in human life, as a source of nutrients and bioactive compounds. Rich in secondary metabolites such as polyphenols, flavonoids and essential oils, they possess valuable pharmacological properties, notably antioxidant and antimicrobial.

In this study, *Echium plantagineum* L. was selected from a group of plants of interest, with a view to assessing the biological properties of its leaves and roots. The specific objectives of this work are to quantify the contents of total phenolic compounds, flavonoids, condensed tannins and terpenoids, to assess the antioxidant potential of phenolic extracts using two *in vitro* colorimetric approaches, namely the DPPH and FRAP methods, and to examine antimicrobial activity using the disk diffusion method, in order to determine their efficacy against various microbial strains.

The results of phenolic compound assays revealed that *Echium plantagineum* L. roots had a higher content of total polyphenols, flavonoids and condensed tannins compared with leaves, with values of 94,1401mgEAG/gE, 69,75mgEC/gE, 24,642mgEC/gE respectively. Leaves, on the other hand, were richer in terpenoids, with a value of 696,4838mgEL/gE.

Furthermore, the roots exhibited greater antioxidant power with an  $IC_{50}$  of 0.28 mg/mL and  $EC_{50}$  of 0.36 mg/mL, confirming their therapeutic potential. Finally, determination of antimicrobial potency showed that the phenolic root extract of *Echium plantagineum* L. recorded more marked activity against Gram-positive bacteria, particularly *Micrococcus luteus* (22,3 mm) and *Enterococcus faecalis* (16,8 mm). Conversely, phenolic leaf extract was more effective against Gram-negative bacteria, notably *Klebsiella pneumoniae* (13,5 mm) and *Pseudomonas aeruginosa* (12,5 mm).

Overall, the *Echium plantagineum* L. root extract proved more effective, with a higher phenolic compound content, better antioxidant activity and marked antimicrobial action. On the other hand, the leaves, richer in terpenoids, were more effective against certain Gram-negative strains, underlining the complementary nature of the two extracts.

**Key-words:** *Echium plantagineum* L., phenolic compounds, antioxidant activity, antimicrobial activity, leaves, roots.