

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITE MOULOD MAMMERI DE TIZI-OUZOU**  
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques



Département de Biochimie Microbiologie

## **Mémoire de fin d'études**

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie végétale et valorisation des plantes.

### **Thème**

**Extraction et dosage des polyphénols totaux du *l'Echuim vulgare L., 1753*. Evaluation de l'effet bio-insecticide de la poudre des fleurs sur le ravageur des denrées alimentaires stokées, *Tribolium castaneum*.**

Réalisé par : M<sup>lle</sup> LAKEHAL Amira et M<sup>lle</sup> SLIMI Kahina

Devant le Jury composé de :

**M<sup>me</sup>TALEB. K**

MCA à l'UMMTO

**Présidente**

**M<sup>me</sup>SAHMOUNE. F**

MAA à l'UMMTO

**Promotrice**

**M<sup>me</sup>AKLI. A**

MAB à l'UMMTO

**Examinatrice**

**Année Universitaire : 2023-2024**

## Remerciements

« L'information et formation ne sont que directives mais le fruit et l'épanouissement en sont la résultante. »

Tout d'abord, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce modeste travail.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier tous

Particulièrement :

Notre Promotrice Mme SAHMOUNE .F (M A A) au département de biologie à l'université Mouloud Mammeri Tizi- ousou, pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour toute l'attention qu'elle nous a accordé, sa gentillesse, sa disponibilité et sa patience.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et gratitude à madame TALEB.K (M C A) pour avoir accepté de présider notre travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et gratitude à madame AKLI.A (M A B) pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à Monsieur HOUALI

Pour nous avoir ouvert les portes de son laboratoire de recherche. Merci pour votre immense générosité.

Enfin, un grand remerciement à tous ceux qui participé de Près ou de loin à ce travail.

## Dédicaces

Je me dois d'avouer pleinement ma reconnaissance à toutes les  
Personnes qui m'ont soutenue durant mon parcours, qui ont su me hisser  
Vers le haut pour atteindre mon objectif .C'est avec amour, respect et  
gratitude que je dédie ce modeste travail :

A mes **chers parents** qui m'ont toujours encouragé, pour leurs sacrifices, leurs  
soutiens et leurs précieux conseils toute ma vie. Que Dieu vous bénisse et vous  
garde en bonne santé.

A mon frère, **karam.**

A mes sœurs, **Nedjma,Miyada.**

Pour leurs soutien moral et leurs précieux conseils tout au  
Long de mes études.

A mon amie et collègue **Amira**, ainsi qu'à sa famille.

A **mes chers amis** pour tous les bons moments qu'on a vécus ensemble, en  
particulier **Amer.**

A tous **mes enseignants** et à toute **ma promotion.**

## Liste des abréviations :

**EAG** : Équivalent acide gallique

**PPT** : Teneur en polyphénols totaux

**Mg** : milligramme

**G** : gramme

**C** : Carpelle

**S** : Sépale

**P** : Pétale

**E** : Étamine

## Liste des figures :

<b>Figure 1</b> : la plante de <i>l'Echium vulgare L.,1753</i> (Originale 2024 Azib Ahmed).....	5
<b>Figure 2</b> : la feuille d' <i>Echium vulgare L.,1753</i> (originale 2024).....	6
<b>Figure 3</b> : les fleurs de <i>l'Echium vulgare L.,1753</i> (originale 2024).....	8
<b>Figure 4</b> : la racine d' <i>Echium vulgare L., 1753</i> (originale 2024).....	9
<b>Figure 5</b> : la tige de <i>l'Echium vulgare L.,1753</i> (originale 2024).....	10
<b>Figure 6</b> : structure chimique représente le squelette de base des flavonoïdes.....	15
<b>Figure 7</b> : Structure de différentes classes des flavonoïdes.....	16
<b>Figure 8</b> : Biosynthèse des flavonoïdes.....	17
<b>Figure 9</b> : Principales classes de polyphénols avec structures et sources.....	20
<b>Figure 10</b> : Structure chimique d'un tanin hydrolysable.....	24
<b>Figure 11</b> : Structure chimique d'un tanin condensé.....	24
<b>Figure 12</b> : Broyage des fleurs et des feuilles de <i>l'Echium vulgare L.,1753</i> .....	28
<b>Figure 13</b> : Coupe transversale de tige de <i>l'Echium vulgare L.,1753</i> . Vue au microscope photonique x10.....	30
<b>Figure 14</b> : Coupe transversale de tige de <i>l'Echium vulgare L.,1753</i> . Vue au microscope photonique x40.....	31
<b>Figure 15</b> : Coupe transversale de tige de <i>l'Echium vulgare L.,1753</i> . Vue au microscope photonique x20.....	31
<b>Figure 16</b> : Coupe transversale de feuille de <i>l'Echium vulgare L.,1753</i> . Vue au microscope photonique x20.....	31
<b>Figure 17</b> : Coupe transversale de feuille de <i>l'Echium vulgare L.,1753</i> . Vue au microscope photonique x20.....	32
<b>Figure 18</b> : Protocole d'extraction des polyphénols.....	32
<b>Figure 19</b> : Dosage des polyphénols totaux.....	34
<b>Figure 20</b> : Rendement des extraits des fleurs et des feuilles d' <i>Echium vulgare L., 1753</i> .....	38
<b>Figure 21</b> : Courbe étalon de l'acide gallique.....	40
<b>Figure 22</b> : Teneurs en polyphénols des extraits des fleurs et des feuilles d' <i>Echium vulgare L., 1753</i> .....	40
<b>Figure 23</b> : Moyenne de mortalité de <i>Tribolium castaneum</i> en % en fonction du Temps pour le	

Témoïn ..... 42

**Figure 24:** Moyenne de mortalité de *Tribolium castaneum* en % en fonction du Temps pour la dose de 2g..... 43

**Figure 25:** Moyenne de mortalité de *Tribolium castaneum* en % en fonction du Temps pour la dose de 4g..... 43

**Figure 26:** Moyenne de mortalité de *Tribolium castaneum* en% fonction du Temps pour la dose de 6g..... 44

**Liste des tableaux :**

<b>Tableau 01 :</b> Classification scientifique de <i>l'Echium vulgare L., 1753</i> .....	4
<b>Tableau 02 :</b> Activité biologique des composés phénoliques.....	22
<b>Tableau 03 :</b> Caractéristiques et rendements des extraits <i>d'Echium vulgare L., 1753</i> .....	39
<b>Tableau 04 :</b> Les résultats obtenus de l'effet de <i>l'Echium vulgare L., 1753</i> (poudre des fleurs) sur <i>Tribolium castaneum</i> en pourcentage pour chaque dose.....	42

**Table des matières**

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>I. Généralité sur la plante .....</b>	<b>3</b>
I.1. Présentation générale de <i>Echium vulgare</i> .....	3
I. 2. Étymologie de <i>Echium vulgare</i> .....	3
I.3. Classification Taxonomique .....	4
I.4. Caractéristiques morphologiques de <i>Echium vulgare</i> .....	4
I.4.1. Feuilles.....	5
I.4.2. Fleurs .....	6
I .4 .3.Fruits .....	7
I.4.4 .Racine .....	7
I .4.5.Tige .....	8
I.5.Habitat.....	9
I .6. Répartition géographique de <i>Echium vulgare</i> .....	9
Dans le monde .....	10
En Algérie .....	10
<b>II. Les plantes médicinales.....</b>	<b>10</b>
II.2. Application de la Biotechnologie pour l'amélioration des plantes médicinales .....	10
II.3. Utilisation et propriétés médicinales de <i>Echium vulgare</i> .....	11
II.3.1. Applications en agriculture biologique durable .....	11
A. Développement de biopesticide à base d' <i>Echium vulgare</i> .....	12
B. Contraintes et défis.....	12
C. Variations due aux facteurs environnementaux.....	13
<b>III. La composition chimique de <i>Echium vulgare</i> .....</b>	<b>13</b>
III.2. Les Flavonoïdes .....	14
III.2.A. Classification des flavonoïdes .....	15
III.2.B. La biosynthèse des flavonoïdes .....	16

## Table des matières

III.2.C. Activités biologiques des flavonoïdes .....	17
Activité anti-inflammatoire .....	17
Activité antioxydante .....	17
Activité anticancéreux.....	17
III.3. Les polyphénols.....	17
III.3.a. Classification des polyphénols .....	18
III.3.b. La localisation des polyphénols .....	19
III.3.c. La voie de biosynthèse des polyphénols .....	21
III.3.D. Les rôles majeurs des polyphénols.....	21
III.3.E. Activités biologiques des polyphénols .....	22
III.4. Les stérols.....	22
III.5. Les terpènes.....	23
III.6. Les alcaloïdes pyrrolizidines .....	23
III.7. Les Tanins .....	23
III .7.A .Les tanins Hydrolysables .....	24
III.7.B.Les tanins condensés .....	24

## Chapitre II : Matériels et méthodes

I. Lieu .....	27
I.1: Matériels végétal.....	27
I.2: La récolte .....	27
I.3: Préparation du matériel végétal .....	27
I.4: La structure anatomique des feuilles et tiges de <i>Echium vulgare.</i> ,1753.....	28
Préparation de vert de méthyle.....	28
Préparation de rouge Congo.....	29
II. Extraction des polyphénols totaux .....	32
II.1: Rendement d'extraction.....	34
III. Dosage des polyphénols totaux .....	34
IV. Présentation générale de l'insecte étudié.....	35

## Table des matières

IV.1. <i>Tribolium castaneum</i> .....	35
IV.2. position systématique de <i>Tribolium castaneum</i> .....	35
IV.3. Origine et répartition géographique .....	35
IV.4. Cycle de développement .....	35
V. Évaluation de l'activité insecticide .....	36

### Chapitre III : Résultats et discussion

I. Résultats du Rendement d'extraction .....	38
I.1. Rendement de l'extraction .....	38
II. Détermination des polyphénols totaux .....	39
II.1. Teneur en polyphénols totaux .....	40
III. Résultats et évaluation de l'activité bio_insecticide.....	40

### Conclusion

### Références bibliographique

## Introduction

---

### Introduction

Les plantes médicinales, utilisées depuis des millénaires à travers le monde, continuent aujourd'hui d'offrir des solutions thérapeutiques face à une variété de pathologies (Sayeh, 2021). En dépit des avancées de la médecine moderne, les traitements à base de plantes restent particulièrement pertinents dans la recherche de nouvelles thérapies. Face aux effets secondaires souvent associés aux médicaments synthétiques, de nombreux chercheurs se tournent vers des agents thérapeutiques d'origine naturelle, contribuant ainsi à l'essor de la phytothérapie. Ce regain d'intérêt pour les solutions naturelles est d'autant plus crucial dans les pays en développement, où les plantes peuvent constituer des alternatives thérapeutiques accessibles et économiques (Sayeh, 2021).

Le potentiel thérapeutique des plantes est principalement lié à la présence de métabolites secondaires, tels que les polyphénols, qui s'accumulent dans divers organes végétaux. Ces composés, produits en réponse aux agressions environnementales, jouent un rôle clé dans la défense du végétal, mais également dans la protection de la santé humaine (Edeas, 2010). Les polyphénols, en particulier, sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et anticoagulantes, contribuant à la prévention de maladies cardiovasculaires et thrombotiques. En effet, plusieurs études se concentrent sur la recherche de nouveaux anticoagulants d'origine naturelle, afin de minimiser les effets indésirables des traitements de synthèse (Cordier et al., 2012).

En plus de leur activité antioxydante, les polyphénols se sont révélés être des agents puissants pour neutraliser les radicaux libres, un mécanisme impliqué dans plusieurs pathologies humaines liées au stress oxydatif (Mezni et al., 2018). Cette capacité fait d'eux des composés aux propriétés biologiques multiples, élargissant leur champ d'application thérapeutique.

Par ailleurs, la recherche de nouvelles molécules insecticides dérivées des plantes a connu un essor significatif ces dernières années. Face aux enjeux croissants de sécurité alimentaire et aux risques associés à l'utilisation de pesticides chimiques, l'application de substances végétales à effets insecticides représente une alternative prometteuse.

En particulier, l'utilisation de matières inertes comme les poudres végétales pour protéger les denrées alimentaires stockées permettrait de réduire les impacts sanitaires et environnementaux (Gueye, 2012).

Un exemple emblématique de ces ravageurs est *Tribolium castaneum*, un insecte nuisible aux céréales et denrées stockées. La flore algérienne, riche en espèces végétales aux propriétés

## Introduction

---

médicinales, présente un intérêt scientifique notable pour l'ethnobotanique, la pharmacopée et la valorisation des substances naturelles (Bechlen, 2018).

Dans cette optique, notre étude se concentre sur *l'Echium vulgare L., 1753*, une plante de la famille des Boraginacées largement répandue dans la région méditerranéenne.

Connue pour ses propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes, cicatrisantes, antifongiques et anti-ulcérogènes, cette plante présente un intérêt particulier pour l'exploration de ses métabolites secondaires. Nous avons donc orienté notre travail vers les feuilles et fleurs de cette espèce pour examiner leur richesse en polyphénols et évaluer l'éventuelle efficacité de la poudre de fleurs en tant qu'agent bio-insecticide.

Notre problématique se décline ainsi :

*Echium vulgare* est-elle une source riche en polyphénols dans ses parties aériennes, et la poudre de ses fleurs possède-t-elle une activité insecticide efficace contre *Tribolium castaneum*?

Pour répondre à cette question, nous avons fixé les objectifs suivants :

- . Réaliser une extraction méthanolique des polyphénols par macération des feuilles et des fleurs de la plante.
- . Quantifier les polyphénols totaux extraits.
- . Évaluer l'activité insecticide de la poudre de fleurs d'*Echium vulgare* contre *Tribolium castaneum*.

### I. Généralité sur la plante

#### I.1. Présentation générale de *Echium vulgare* :

*Echium vulgare*, également connu sous le nom de vipérine commune, est une plante herbacée bisannuelle de la famille des Boraginacées ; originaire d'Europe et d'Asie occidentale. Elle est répandue dans de nombreuses régions tempérées du monde (Stace, 2010). Mesurant entre 30 et 100 cm de hauteur, elle présente des feuilles lancéolées et poilues, ainsi que des fleurs en forme de clochettes, généralement bleues, roses ou blanches (Blamey et al., 2003). Reconnu pour ses propriétés médicinales, *Echium vulgare* possède des vertus anti-inflammatoires et cicatrisantes, utilisées en phytothérapie (Chevallier, 2016). De plus, elle est une source de nectar essentielle pour de nombreux insectes pollinisateurs (Goulson, 2003).

#### I. 2. Étymologie de *Echium vulgare* :

L'étymologie de *Echium vulgare* est intéressante et remonte à ses origines latines. Le nom "*Echium*" dérive du grec "*echion*", qui signifie vipère, en référence à la forme sinueuse de ses graines qui rappelle celle d'une vipère. Le terme "*vulgare*" est un adjectif latin signifiant commun ou ordinaire, faisant référence à la distribution répandue de cette plante dans de nombreux habitats (Gledhill, 2008).

Le nom arabe de *Echium vulgare* est "شوك الحية" (*Shawk al-Hayyah*).

En Berbère, il est appelé "Taffetara".

En français : *La vipérine commune*.

En anglais : *Vipers bugloss*

### I.3. Classification Taxonomique :

*Echium vulgare* appartient à la famille des boraginacées, à l'ordre des Lamiales et au genre *Echium*.

Sa classification taxonomique selon (Angiosperme phylogeny group ,2016) est la suivante :

Rang	Nom scientifique
Règne	Plantae (plantes)
Sous-règne	Tracheobionta (plantes à vaisseaux).
Division	Magnoliophyta (plantes à fleurs)
Classe	Magnoliopsida (Dicotylédones)
Sous -classe	Asteridae
Ordre	Lamiales
Famille	Boraginaceae (Boraginacées)
Genre	<i>Echium</i>
Espèce	<i>Echium vulgare</i> L.,1753

**Tableau 1** : Classification scientifique de *Echium vulgare* L.,1753.

### I.4. Caractéristiques morphologiques de *Echium vulgare* :

*Echium vulgare* également appelée vipérine commune, se distingue par ses caractéristiques morphologiques uniques , ses feuilles lancéolées alternes offrent une silhouette élégante, tandis que ses fleurs en clochettes d'un bleu vif, groupées en grappes spectaculaires, captent l'attention dans son habitat naturel. Les fruits de *Echium vulgare*, de forme noix grise à brune ; complètent son aspect distinctif , ces traits morphologiques combinés en font une espèce remarquable et facilement identifiable.



**Figure 1** : la plante de *Echium vulgare* L.,1753(Originale 2024 Azib Ahmed)

**I.4.1. Feuilles** : Les feuilles de *Echium vulgare* sont longues, linéaires, et alternes sur les tiges florales, mesurant généralement entre 5 et 15cm de long et 1 à 3 cm de large. Les feuilles inférieures forment une rosette basale la première année et sont recouvertes de poils rigides, tandis que les feuilles supérieures sont petites et sans pédoncule. Toutes les feuilles sont couvertes de poils grossiers et présentent des taches blanches. Ces adaptations leur permettent de résister à des conditions de sol pauvre et de sécheresse (Gattia et Mariani, 2022).



**Figure 2 :** la feuille d'*Echium vulgare* L.,1753(originaire 2024 bastos).

### I.4.2. Fleurs :

*L'Echium vulgare* se distingue par ses élégantes fleurs en forme de cloche, d'abord de couleur pourpre puis virant progressivement à un bleu violacé .Elle est composée de plusieurs parties distinctes tels que 5 sépales de couleur verte, forment un calice proéminent qui entoure les parties florales .5 pétales, de couleur pourpre puis bleu violacé, sont en forme de cloche et forment la corolle.5 étamine fines sont disposés en deux rangs, l'un extérieur et l'autre intérieur, et produisent des grains de pollen. Deux carpelles, sont fusionnés pour former un style court et un stigmate large, recevant les grains de pollen. Cette structure florale permet à la plante de se reproduire efficacement. Ces parties sont regroupées en une cyme scorpioïde, caractéristique de la famille des borraginacées (Walters et al., 2020) sa formule florale est actinomorphe et se présente comme suit :  $O : (5S) + (5P + 5E) + (2C)$ .



**Figure 3** : les fleurs de *Echium vulgare* L.,1753(originaire 2024).

### **I .4 .3. Fruits :**

Le calice de *Echium vulgare* s'étend jusqu'à environ 1cm lorsqu'il est en fruit chaque fleur peut former quatre noix grises à brunes, à une graine. Les noix sont ovoïdes - pyramidales, d'une taille de 2,4×1,6×1,5 mm (Kelemow et al., 2002). La surface extérieure est rugueuse et légèrement bosselée (Zhu et al., 1995).

### **I.4.4 . Racine :**

La racine de *Echium vulgare* se caractérise par sa structure pivotante et longue, qui peut s'étendre en profondeur dans le sol. Elle est généralement épaisse, fibreuse et de couleur blanchâtre à brunâtre. Les racines latérales sont moins développées que la racine principale, et elles peuvent s'étendre horizontalement pour aider à l'ancrage de la plante dans le sol (Jean \_pierre ,2013).



**Figure 4** : la racine de *Echium vulgare* L.,1753 (originale 2024).

### I .4.5. Tige:

La tige de *Echium vulgare* est érigée, robuste, et densément couverte de poils raides, pouvant atteindre jusqu'à 1 mètre de hauteur. Souvent ramifiée à partir de la base, elle utilise ses poils piquants pour se protéger des herbivores. Cette structure permet à la plante de se maintenir droit tout en supportant le poids des inflorescences, qui sont également portées sur des tiges secondaires (Jones et Patel, 2019).



**Figure 5** : la tige de *Echium vulgare* L.,1753 (originale 2024)

### I.5.Habitat:

*Echium vulgare* se développe bien dans des sols pauvres et divers types de conditions, incluant les dépôts glaciaires, les sols graveleux, alcalins et acides. On trouve cette plante dans les zones perturbées telles que les bords de route, les cours d'eau et les pâturages sur pâturés. Elle peut également croître dans les pâturages irrigués, les pelouses et les jardins (Graves et al., 2010).

### I .6. Répartition géographique de *l'Echium vulgare* :

**Dans le monde** : La répartition géographique de *l'Echium vulgare* s'étend principalement dans les régions tempérées de l'hémisphère nord, couvrant une grande partie de l'Europe, de l'Asie occidentale et de l'Afrique du Nord. En Europe, on le trouve couramment en France, en Espagne, en Italie, en Allemagne, au Royaume-Uni et dans les pays d'Europe centrale. En Asie, il est présent en Turquie, en Géorgie, en Arménie et dans certaines parties de la Russie. En Afrique du Nord, on le rencontre au Maroc, en Algérie et en Tunisie (Arnett et al.,2020).

**En Algérie** : *L'Echium vulgare* est présente en Algérie dans diverses régions du pays, notamment dans les zones de prairies, les lisières des forêts, les terrains vagues et les champs abandonnés. Elle est également observée le long des routes et des chemins, où elle colonise souvent les sols perturbés.

Cette plante est répandue dans les régions montagneuses telles que les Aurès, comprenant les wilayas de Batna, Khenchela, Oum El Bouaghi, et Tébessa.

Dans les monts de Kabylie, on la retrouve dans les wilayas de Tizi-Ouzou, Béjaïa, Bouira, Boumerdès, et Jijel.

Le Djurdjura, une autre région montagneuse, abrite également cette plante dans les wilayas de Tizi-Ouzou, Béjaïa, Bouira.

Dans la région du Tell, qui comprend des plaines et des plateaux, *l'Echium vulgare* est présente dans les wilayas d'Alger, Blida, Tipaza, et Médéa (Douzane et al.,2015).

### II. Les plantes médicinales :

Les plantes médicinales, également connues sous le nom de phytothérapie, sont des plantes utilisées depuis des siècles pour leurs propriétés médicinales. Elles sont utilisées pour prévenir, traiter ou soulager divers troubles et maladies. Les plantes médicinales contiennent une grande variété de composés chimiques actifs tels que les alcaloïdes, les flavonoïdes, les terpénoïdes, les tanins, etc., qui leur confèrent leurs propriétés thérapeutiques.

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

L'utilisation des plantes médicinales présente de nombreux intérêts. Tout d'abord, elles sont considérées comme une alternative naturelle aux médicaments synthétiques, ce qui peut être particulièrement attrayant pour les personnes préoccupées par les effets secondaires des médicaments ou qui préfèrent les traitements naturels. De plus, les plantes médicinales sont souvent moins chères et plus accessibles que les médicaments traditionnels, ce qui en fait une option plus abordable pour de nombreuses personnes. En outre, l'utilisation des plantes médicinales est ancrée dans la tradition et la culture de nombreuses sociétés à travers le monde, et constitue un patrimoine immatériel précieux à préserver (Heinrich et al., 2012).

### II.2. Application de la Biotechnologie pour l'amélioration des plantes médicinales :

La biotechnologie améliore les plantes médicinales en optimisant la production de composés bioactifs. Les progrès en génétique et biologie moléculaire ont introduit des techniques telles que la culture de tissus, la transformation génétique et la génomique fonctionnelle. La culture de tissus permet de produire des cellules végétales en laboratoire pour synthétiser des composés spécifiques de manière contrôlée. La transformation génétique insère des gènes pour augmenter la production d'enzymes clés dans la biosynthèse de composés bioactifs. La génomique fonctionnelle, quant à elle aide à comprendre les mécanismes moléculaires impliqués, permettant une manipulation plus précise des plantes pour améliorer leur rendement et qualité (Sushruta, 2018).

### II.3. Utilisation et propriétés médicinales de l'*Echium vulgare* :

Les propriétés médicinales de la vipérine rappellent fortement celles de la bourrache (*Borago officinalis*), riche en mucilage à fructosanes et en alcaloïdes hépatotoxiques.

On utilise les sommités fleuries et les feuilles sous forme d'infusion pour bénéficier de leurs propriétés astringentes, émoullientes, expectorantes, sudorifères et pour prévenir les bronchites et la grippe (Boullard, 2001).

En effet, *Echium vulgare* est recommandée pour une large gamme d'applications médicales, tel que le traitement des rhumes, toux, fièvre, maux de tête, rétention d'eau, les calculs rénaux, l'inflammation, la douleur, la promotion de la cicatrisation des plaies, le traitement de la peau et des furoncles rougie et la mélancolie [(Chiej, 1984); (Cox, 1985)].

De plus Tabatha et coll., (1975), ont trouvées que les pigments photo quinoniques, shikonines et alkannins d'*Echium vulgare* agissent comme agents antimicrobiens contre les bactéries lactiques et contre *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* et *Sarcina Lutea*.

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

Les racines d'*Echium vulgare* sont utilisées en médecine traditionnelle pour le traitement des fissures sur mains, ainsi que pour les cicatrises des plaies à l'instar de l'allantoïne (Sezik, 1997). Appliquées en cataplasme ou en pansement, ses racines sont des baumes efficaces contre les brûlures et les furoncles (Tanaka et coll., 1986).

### II.3.1. Applications en agriculture biologique durable :

L'*Echium vulgare*, également connu sous le nom de vipérine, présente un fort potentiel pour une utilisation durable en agriculture biologique. Selon une étude récente, cette plante de la famille des Boraginacées peut s'adapter facilement aux conditions méditerranéennes et offrir des floraisons abondantes, ce qui en fait un candidat intéressant pour les toitures végétalisées en milieu urbain (Benvenuti et al., 2022). De plus, les extraits d'*Echium vulgare* ont démontré des propriétés antioxydantes élevées, grâce à leur teneur élevée en composés phénoliques et flavonoïdes (Ksouri et al., 2021) (Alsanie, 2018). Ces composés bioactifs peuvent être valorisés comme agents naturels de protection des plantes contre les ravageurs et les maladies, réduisant ainsi le besoin en pesticides de synthèse (Zunk, 2020). Enfin, la production de certains métabolites secondaires comme les alcaloïdes pyrrolizidiniques et les shikonines par l'*Echium vulgare* en réponse à différents stress pourrait également être exploitée dans des systèmes de culture durables (Zunk, 2020). Dans l'ensemble, ces caractéristiques font de l'*Echium vulgare* une plante prometteuse pour une intégration réussie dans les pratiques d'agriculture biologique.

#### A. Développement de biopesticide à base d'*Echium vulgare* :

Le développement de biopesticides à base d'*Echium vulgare* représente une approche innovante et durable pour la protection des cultures agricoles. Les extraits de cette plante, riches en composés bioactifs tels que les flavonoïdes, les tanins et les alcaloïdes, ont montré des activités insecticides et fongicides prometteuses. Les flavonoïdes, en particulier, agissent en perturbant les processus physiologiques des insectes nuisibles, tandis que les tanins contribuent à renforcer la résistance des plantes aux maladies fongiques. De plus, les alcaloïdes présents dans l'*Echium vulgare* peuvent avoir des effets toxiques sur certains organismes nuisibles. Cette approche de bio contrôle offre des solutions alternatives aux pesticides chimiques, réduisant ainsi les risques pour l'environnement et la santé humaine (Pino et al., 2019).

### B. Contraintes et défis :

#### Problèmes de production et de standardisation :

La production et la standardisation de *Echium vulgare*, une plante médicinale riche en composés bioactifs tels que les acides gras oméga-3 et les pyrrolizidine alcaloïdes, présentent de nombreux défis qui doivent être relevés pour garantir la qualité et la sécurité des produits dérivés. Selon une étude approfondie menée par Omer et al. (2018), la teneur en composés actifs de *Echium vulgare* peut varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs clés. Tout d'abord, le stade de développement de la plante a un impact significatif, avec des variations notables entre les parties aériennes et les racines, ainsi qu'entre les différents organes de la plante. De plus, l'origine géographique et les conditions de culture, telles que le type de sol, les pratiques agricoles et les conditions météorologiques, influencent grandement la composition chimique. Un autre défi majeur est la présence de pyrrolizidine alcaloïdes, qui peuvent être hépatotoxiques chez l'homme et les animaux. Cela nécessite une surveillance étroite et des procédures de contrôle de la qualité rigoureuses pour garantir la sécurité des produits à base d'*Echium vulgare*. Pour relever ces défis, des efforts doivent être consentis pour développer des techniques de culture améliorées, telles que l'utilisation de semences sélectionnées et de pratiques agronomiques optimisées, afin de réduire la variabilité de la composition chimique et d'améliorer les rendements. En parallèle, le développement de méthodes analytiques fiables et reproductibles, comme la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse, est essentiel pour assurer une standardisation efficace des extraits d'*Echium vulgare*. Malgré ces obstacles, *Echium vulgare* reste une source prometteuse de composés bioactifs pour des applications pharmaceutiques et nutraceutiques, à condition que des recherches approfondies soient menées pour optimiser sa production et sa standardisation (Omer et al., 2018).

### C. Variations dues aux facteurs environnementaux :

Les variations observées dans *Echium vulgare* résultent de l'interaction complexe entre plusieurs facteurs environnementaux. Le type de sol, notamment sa composition en nutriments et sa structure physique, influence directement le métabolisme de la plante, modifiant ainsi la production de composés bioactifs tels que les flavonoïdes, les polyphénols et les terpènes. De plus, le climat, y compris la température, l'humidité et les précipitations, joue un rôle crucial dans la régulation des voies de biosynthèse des métabolites secondaires. Les conditions climatiques extrêmes ou instables peuvent entraîner des stress environnementaux sur la plante, stimulant la production de métabolites de défense.

Par ailleurs, l'altitude et l'exposition au soleil sont des facteurs déterminants. Les plantes cultivées à des altitudes élevées sont soumises à des conditions environnementales différentes, telles que des variations de température et de luminosité, ce qui peut influencer la biosynthèse des composés bioactifs. De même, l'exposition au soleil peut conduire à une production accrue de certains composés en réponse au stress oxydatif induit par la lumière, tandis qu'une ombre excessive peut modifier la composition chimique de la plante (Landa et al., 2020).

### **III. La composition chimique de *Echium vulgare* :**

*Echium vulgare* présente une composition chimique riche et variée. Son profil photochimique comprend une gamme de composés biologiquement actifs, parmi lesquels on trouve les flavonoïdes, les alcaloïdes pyrrolizidines, les terpènes, les polyphénols, les stérols, les tanins.

#### **III.1. Métabolites secondaires :**

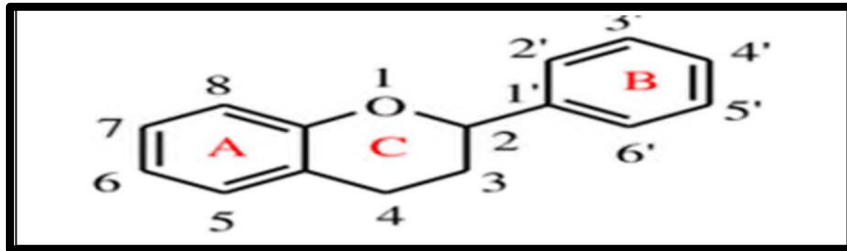
Les métabolites secondaires des plantes sont des composés chimiques produits par les plantes qui ne sont pas directement impliqués dans leur croissance, leur développement ou leur reproduction, mais qui jouent un rôle essentiel dans leur adaptation à l'environnement. Ces composés présentent une grande diversité de structures et de propriétés biologiques. Parmi les principaux groupes de métabolites secondaires, on trouve les alcaloïdes, les flavonoïdes, les terpènes, les polyphénols et les stéroïdes. Les alcaloïdes sont souvent associés à des propriétés pharmacologiques importantes, tels que les effets analgésiques, anti-inflammatoires ou psychoactifs. Les flavonoïdes sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anticancéreuses. Les terpènes contribuent aux arômes et aux défenses des plantes contre les herbivores et les pathogènes. Les polyphénols sont célèbres pour leurs effets bénéfiques sur la santé, notamment leur capacité à réduire le risque de maladies cardiovasculaires et de certains cancers. Enfin, les stéroïdes jouent un rôle crucial dans la régulation des processus biologiques, tels que la croissance et le développement des plantes (Smith et al., 2020).

#### **III.2. Les Flavonoïdes :**

Les flavonoïdes sont des métabolites végétaux essentiels, appartenant à une importante classe de composés phénoliques présents dans de nombreuses plantes. Ils jouent un rôle crucial dans le métabolisme des plantes et leur réponse aux stress environnementaux. Caractérisés par une structure chimique incluant un motif de flavone, les flavonoïdes sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anticancéreuses. Selon une étude de Harborne et Williams (2000),

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

les flavonoïdes se divisent en plusieurs sous \_ classes , dont les flavonols, isoflavones et anthocyanidines, chacune ayant des structures et activités biologiques spécifiques. Leur diversité et leur potentiel thérapeutique en font des composés d'intérêt majeur en pharmacologie et médecine (Harbone et al., 2000).



**Figure 6** : structure chimique représente le squelette de base des flavonoïdes (CROSIER ,2023).

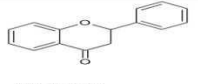
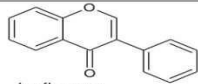
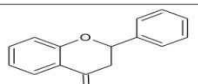
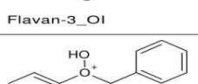
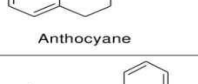
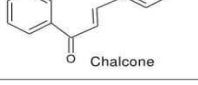
Structurés en C6-C3-C6, les flavonoïdes comprennent deux cycles benzéniques reliés par un cycle pyréne contenant de l'oxygène (MJ Ko et al., 2014) .Ils existent naturellement dans les plantes sous forme de glucosides ou d'aglycones .Les aglycones sont extraites avec des solvants moins polaires comme le benzène et le chloroforme , tandis que les glucosides nécessitent des solvants plus polaires comme le méthanol et l'éthanol(Marston et Hostettmann,2005).Environ 4000 flavonoïdes ont été identifiés, localisés dans divers organes végétaux tels que les racines, tiges, feuilles, fleurs et fruits ( Bennick,2002) .

Principalement responsables de coloration des plantes, ils sont des pigments souvent associés à des couleurs bleues, violettes, jaunes, oranges et rouges (Ghedira, 2005 ; Khoddami et al., 2013). Leur biosynthèse provient de la phénylalanine dans la voie des phénylpropanoïdes (verpoorte et Affermant ,2000).

### III.2.A. Classification des flavonoïdes :

Plus de 5000 variétés de flavonoïdes ont été identifiés et peuvent classer selon leur structure sur la base du degré de substitution et de l'oxydation (Yao LH et al., 2004).

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

 Flavanone	Hespéridine Naringénine	OH H OH OH OMe H OH H OH H OH H
 Isoflavone	Daidzéine Génistéine	OH H OH OH OH H OH H OH OH OH OH
 Flavan-3_Ol	Catéchine Gallocatéchine	H H OH H OH H OH H OH H OH H
 Anthocyanine	Pélagonidine Cyanidine Delphinidine	OH H OH H OH H OH H OH OH OH H OH H OH OH OH OH
 Chalcone		
 Aurone		

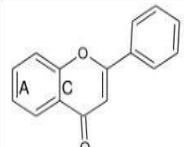
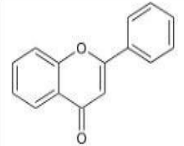
Structure des différentes classes de flavonoïdes	Exemple	Substitutions					
		5	6	7	3'	4'	5'
 Flavonol	Kaempférol Quercétine Myricétine	OH	H	OH	H	OH	H
 Flavone	Apigénine Chrysin Lutéoline	OH	H	OH	H	OH	H

Figure 7 : Structure de différentes classes des flavonoïdes (Saffidine ,2015).

Les flavonoïdes prédominants sont les plus souvent divisés en six sous classes : Les flavones, les flavonols, flavanones 3 ols, les Flavanones, les isoflavones et anthocyanidines (Karabin et al., 2015).

## III.2.B. La biosynthèse des flavonoïdes :

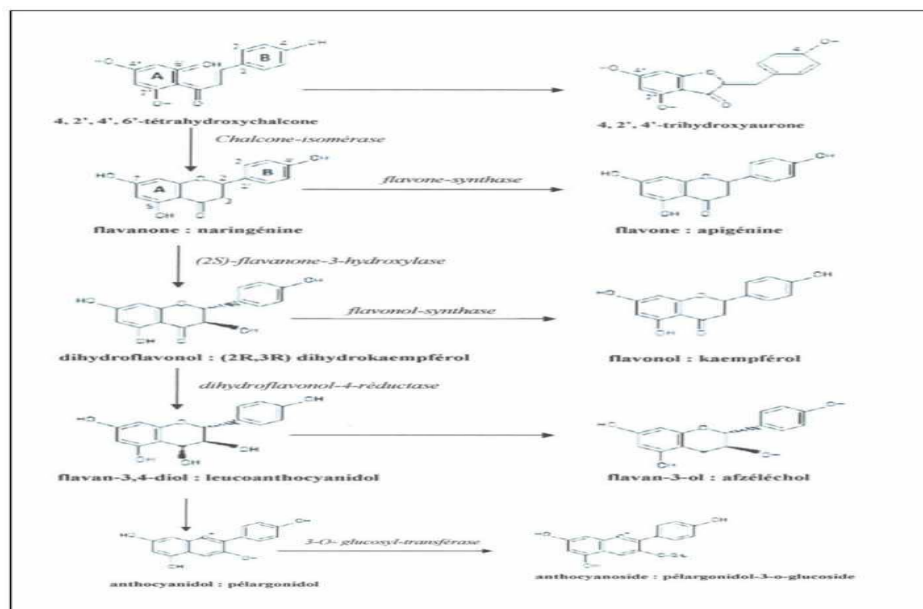


Figure 8 : Biosynthèse des flavonoïdes (Bruneton, 1999).

## **Chapitre I : Synthèse Bibliographique**

---

La biosynthèse des flavonoïdes est un processus complexe impliquant plusieurs étapes enzymatiques. Initialement, le précurseur des flavonoïdes, le naringénine, est formé à partir de la phénylalanine par l'action de la phénylalanine ammonia-lyase (PAL) et de la chalcone synthase (CHS). Ensuite, la naringénine est transformée en divers flavonoïdes, tels que les flavones, les flavonols, les flavanones, et les anthocyanidines, par une série d'enzymes telles que la flavone synthase (FNS), la flavonol synthase (FLS), la flavone synthase (FNS), et la anthocyanidine synthase (ANS). Ces enzymes catalysent des réactions spécifiques, telles que l'hydroxylation, la glycosylation, et la méthylation, qui conduisent à la diversité des structures et des propriétés des flavonoïdes dans les plantes (Dixon et al., 2010).

### **III.2.C. Activités biologiques des flavonoïdes :**

Les flavonoïdes ont été décrits comme agent de promotion de la santé avec des effets biologiques *in vitro* et éprouvés, telles que :

#### **Activité anti- inflammatoire:**

Les flavonoïdes sont des agents protecteurs contre les inflammations chroniques, la production excessive d'activateur de tissu en particulier les prostaglandines. Les flavonoïdes inhibent les enzymes clés impliquées dans la biosynthèse de ces activateurs tissulaires (Karabin M et al., 2015). Parmi ces flavonoïdes nous citons la lutéoline.

#### **Activité antioxydante :**

Les flavonoïdes ont la capacité de piéger les radicaux libres, générés par notre organisme en réponse aux agressions de notre environnement et qui favorisent le vieillissement cellulaire (Karabin M et al., 2015). Parmi ces flavonoïdes : la rutine.

#### **Activité anticancéreuse :**

Il existe des agents anticancéreux dans les flavonoïdes qui sont capables d'inhiber la prolifération des cellules tumorales et participent activement à inhiber la carcinogenèse dans la phase initiale (Karabin M et al., 2015).

Parmi ces flavonoïdes : La quercétine.

### **III.3. Les polyphénols :**

Les polyphénols sont des composés chimiques présents dans de nombreux végétaux comme les fruits, les légumes, grains entiers, et le vin, caractérisés par la présence de plusieurs groupes phénoliques. Ces structures leur confèrent des propriétés antioxydantes et des avantages potentiels pour la santé humaine. Leur cycle de vie débute par leur biosynthèse dans les plantes à partir du métabolisme

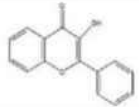
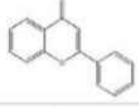
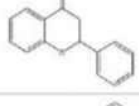
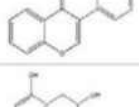
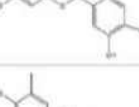
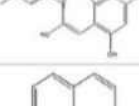
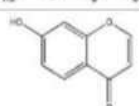

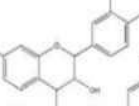
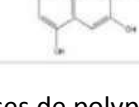
## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

secondaire, ou ils servent de défense contre les stress environnementaux tels que les rayonnements UV, les infections microbiennes et les herbivores. Les polyphénols sont classés en catégories comme les flavonoïdes, les phénols simples et les acides phénoliques, chacun ayant des sous-catégories et des structures distinctes. Par exemple, les flavonoïdes incluent les flavanols, flavones, flavanones, flavanols, anthocyanidines et isoflavones, caractérisés par différents groupes fonctionnels sur le noyau flavonique (Perez et al., 2010). En tant que métabolites secondaires des plantes vasculaires et de certains organismes marins, les polyphénols vont de molécules simples à complexes, toutes partageant des cycles benzéniques avec des fonctions hydroxy. Ils jouent un rôle clé dans la croissance, la reproduction, et la résistance aux pathogènes et aux maladies (Beckman, 2000). En particulier, ces composés contribuent à la couleur et aux propriétés organoleptiques des plantes et, pour les organismes marins, à la réponse antioxydante des microalgues et des cyanobactéries face aux UV (Klejdus et al., 2010). Ils sont également cruciaux dans les interactions plantes-environnement, notamment avec les micro-organismes symbiotiques ou pathogènes (Macheix et al., 2005).

### III.3.a. Classification des polyphénols :

Des milliers de composés polyphénoliques se sont regroupés en différentes classes, en fonction des variations fondamentales du squelette chimique, telles que les degrés d'oxydation, d'hydroxylation, de méthylation, de glycosylation et les connexions possibles avec d'autres molécules. Un tri simple divise les polyphénols en quatre classes : les flavonoïdes (y compris les sous-classes anthocyanidines, catéchines, flavons, flavonols, flavanones et isolavones), les coumarines, les stilbènes et les tanins, bien que d'autres constituants, comme les chalcones et les lignanes, présentent des structures polyphénoliques (Grotewold, 2005).

Polyphénols	Structure chimique	Exemples	Sources (la liste n'est pas exhaustive)
Flavonols		Myricétine, la quercétine, Kaempférol	Oignons, brocoli, myrtilles, vin rouge, thé
Flavones		Aspigénine, lutéoline, Tangerétine, Nobilétine	Fersil, céleri, millet, blé, peau d'agrumes
Flavanones		Hespéridine, Naringénine, Ériodictyol	Pamplemousse, orange, citron, tomates, menthe
Isolavones		Génistéine, Daidzéine, Glycitéine	Plantes légumineuses, soja
Flavonols (catéchines)		catéchine, Épicatéchine	Abricot, cerise, raisin, pêche, pomme, thé vert et noir, vin rouge, cidre
Anthocyanes		cyandine, Péargonidine, Delphinidine, Pétidine	Vin rouge, aubergines, choux, haricots, oignons, radis, fruits en général
Coumarines		Ombelliférone, Aesculéine, Scopoléine	Fève tonka, châtaigne, Melilotus officinalis, Angélique officinalis
Isocoumarines		Isocoumarine	Fève tonka, châtaigne, Melilotus officinalis, Angélique officinalis
Stilbènes		Resvératrol	Vin
Tanins		Ellagitanin, acide ellagique et Phlorotannins	Plantes (grenade) et algues brunes

**Figure 9** : Principales classes de polyphénols avec structures et sources .

### III.3.b. La localisation des polyphénols :

Les polyphénols se trouvent largement répartis dans le règne végétal, présents notamment dans les fruits, les légumes, les céréales complètes, les légumineuses, le thé, le café, le vin rouge, les épices et les herbes. Ils sont abondamment localisés dans les parties externes des plantes, comme les peaux, les écorces, les feuilles et les graines, où ils agissent comme des composés de défense contre les stress environnementaux et les prédateurs. Les principales sources alimentaires de polyphénols comprennent les baies (comme les myrtilles, les fraises et les framboises), les agrumes (comme les oranges et les citrons), les pommes, les raisins, les noix, les légumes verts (comme les épinards et le

brocoli), les légumineuses (comme les haricots et les pois chiches), le thé vert et noir, le café, le cacao et diverses herbes aromatiques (comme le romarin, le thym et la menthe) (Scalbert et al., 2005).

### **III.3.c. La voie de biosynthèse des polyphénols :**

La voie de biosynthèse des polyphénols, y compris les composés phénoliques des végétaux, est un processus complexe et régulé qui implique plusieurs étapes clés. Tout d'abord, l'origine de ces composés réside dans le métabolisme primaire des plantes, à savoir le cycle des acides aminés, le cycle de l'acide shikimique et le cycle de l'acide malonique. Ces voies métaboliques fournissent les précurseurs nécessaires à la biosynthèse des polyphénols.

Une fois que les précurseurs sont disponibles, la biosynthèse des polyphénols est activée par l'action d'enzymes spécifiques. L'étape initiale de cette voie de biosynthèse est la formation de l'acide cinnamique à partir de l'acide phénylalanine via une réaction catalysée par une enzyme appelée phénylalanine ammonia lyase (PAL). L'acide cinnamique est ensuite converti en différentes classes de composés phénoliques, y compris les flavonoïdes, par une série complexe de réactions enzymatiques (Dixon et al., 1995).

### **III.3.D. Les rôles majeurs des polyphénols :**

Les polyphénols jouent des rôles majeurs dans divers aspects de la physiologie végétale, les variations des caractéristiques des plantes lors des traitements technologiques, la protection contre certaines maladies chez l'homme, et les critères de qualité des produits alimentaires. Dans la physiologie des plantes, les polyphénols agissent comme des composés de défense contre les stress environnementaux tels que les rayonnements UV, les infections pathogènes et les blessures mécaniques. Ils contribuent également à la pigmentation des plantes, notamment dans la coloration des fruits et des fleurs. Lors des traitements technologiques, les polyphénols peuvent subir des modifications chimiques qui influent sur les propriétés organoleptiques, la stabilité et la qualité des produits alimentaires, comme les vins, les thés et les jus de fruits. En ce qui concerne la santé humaine, les polyphénols sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, et anti-cancéreuses, contribuant ainsi à la protection contre les maladies cardiovasculaires, les maladies neurodégénératives et certains types de cancers. Enfin, les polyphénols sont également des indicateurs importants de la qualité des aliments, étant donné leur impact sur la saveur, la couleur, la stabilité et la valeur nutritionnelle des produits (Manach et al., 2004).

### III.3.E. Activités biologiques des polyphénols:

Polyphénols	Activités
Acides phénols (cinnamiques et benzoïques)	Antibactériennes Antifongiques Antioxydants
Coumarines	Protectrices vasculaires antioedémateuses
Flavonoïdes	Anti tumorales Anti carcinogènes Anti inflammatoires Hypotenseurs et diurétiques Anti oxydantes
Anthocyanes	Protectrices capillaroveineux
Pronthocyanidines	Effets stabilisants sur le collagène Anti oxydantes Anti tumorales Antifongiques Anti-inflammatoires
Tannins galliques et catéchiques	Anti oxydantes

**Tableau 2 :** Activité biologique des composés phénoliques ( bahorum , 1997).

### III.4. Les stérols :

Les stérols sont des composés organiques présents dans les cellules de nombreux organismes, jouant des rôles essentiels dans la structure membranaire, la régulation cellulaire et la synthèse de certaines hormones. Ce sont des lipides amphipathiques, caractérisés par leur structure à base de noyaux cyclopentanoperhydrophénanthrène, comprenant notamment le cholestérol chez les animaux et les phytostérols chez les plantes. Les stérols sont principalement localisés dans les membranes cellulaires, où ils contribuent à leur fluidité et à leur stabilité en formant des micelles et des liposomes.

Du point de vue biologique, les stérols jouent un rôle crucial dans la régulation de la perméabilité membranaire, le transport des lipides et des hormones stéroïdiennes, ainsi que dans la biosynthèse

## **Chapitre I : Synthèse Bibliographique**

---

des acides biliaires et des vitamines liposolubles. Ils interviennent également dans des processus métaboliques tels que la formation des membranes cellulaires, la croissance cellulaire, et la signalisation intracellulaire (Ségur et al., 2007).

### **III.5. Les terpènes :**

Les terpènes sont des composés organiques naturels présents dans une grande variété de plantes, ainsi que dans certains organismes marins et microorganismes. Ils sont caractérisés par leur structure composée d'unités isopréniques, appelées isoprènes, qui se combinent pour former une multitude de molécules différentes. Les terpènes sont largement localisés dans les organes sécréteurs des plantes, tels que les glandes à résine, les trichomes et les vaisseaux laticifères, où ils jouent un rôle crucial dans la défense contre les prédateurs, les infections pathogènes et les stress environnementaux. Sur le plan biologique, les terpènes ont une grande diversité de fonctions, allant de leur participation dans la synthèse de molécules essentielles comme les hormones végétales et les pigments, à leur implication dans la communication inter-espèces avec d'autres organismes, comme les pollinisateurs et les herbivores. De plus, les terpènes sont des composés précurseurs dans la biosynthèse de nombreux autres métabolites secondaires, tels que les stéroïdes, les alcaloïdes et les flavonoïdes, contribuant ainsi à la richesse chimique et à la biodiversité des plantes (Gershenzon et al., 2007).

### **III.6. Les alcaloïdes pyrrolizidines :**

Les alcaloïdes pyrrolizidiniques sont une classe de composés chimiques naturels présents dans de nombreuses plantes, particulièrement dans les familles des Asteraceae, Boraginaceae, et Fabaceae. Ils sont caractérisés par leur structure cyclique contenant un noyau pyrrolizidine, qui peut être associé à d'autres groupes fonctionnels comme les esters et les N Oxydes. Ces composés sont souvent localisés dans les parties aériennes des plantes, notamment dans les feuilles, les fleurs, et les tiges, où ils agissent comme des métabolites secondaires défensifs contre les herbivores et les pathogènes.

Sur le plan biologique, les alcaloïdes pyrrolizidiniques présentent des propriétés toxiques pour de nombreux organismes, y compris les humains, en raison de leur capacité à former des métabolites réactifs et potentiellement carcinogènes. Leur structure chimique comprend un squelette de pyrrolizidine qui peut être altéré métaboliquement pour produire des composés toxiques comme les esters de N Oxyde et les dérivés de pyrrole, qui peuvent endommager le foie et les organes cibles lorsqu'ils sont ingérés (Stegelmeier et al., 2015).

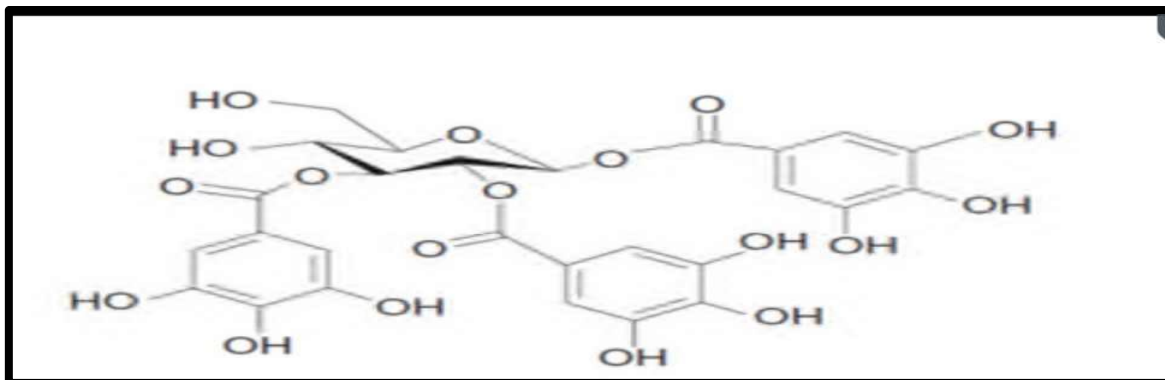
### III.7. Les Tanins :

Les tanins sont des métabolites secondaires polyphénoliques (Khambalee et Ree, 2001), localisés dans les différents organes : Tige, feuilles, fruits ou graines dans les vacuoles cytoplasmique des cellules dites périphériques c'est \_à\_ dire situées essentiellement au niveau des épidermes, et sont donc facilement libérés (Zimmer et Cordesse ,1996). Ils sont caractérisés par leurs propriétés de combinaison aux protéines (Paris et Hurabeillem, 1981), cette combinaison se fait par l'intermédiaire de liaison hydrogène entre le groupement NH<sub>2</sub> des protéines et les groupements OH phénoliques des tanins (Guignard, 1996).

En général, ils sont divisés selon la structure chimique, le poids moléculaire, la solubilité dans l'eau en deux catégories : Les tanins Hydrolysables et les tanins condensés (Bernays et al., 1989). La masse moléculaire des tanins est comprise entre 500 et 3000 Da (Bruneton ,1999).

#### III .7. A . Les tanins Hydrolysables :

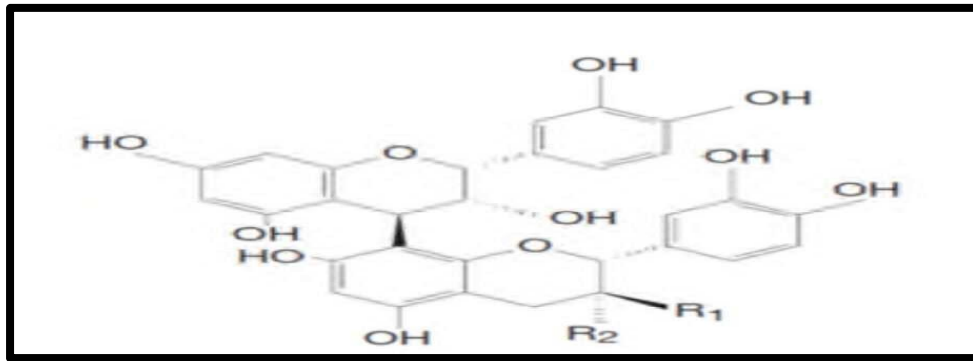
Ce sont des esters du D'Glucose et de l'acide gallique ou ses dérivés en particulier l'acide ellagique (Cowan, 1999; O'connell et fox, 2001). Ces substances sont facilement hydrolysables par voie chimique ou enzymatique (Ribéreau\_Gayon, 1968).



**Figure 10** : Structure chimique d'un tanin hydrolysable (Favier ,2003).

#### III.7.B. Les tanins condensés :

Encore appelés tanins catéchiques, ont une constitution moins bien connue car ces produits sont très complexes. L'action des acides dilués au lieu de conduire à des produits plus simples, donne au contraire des composés plus condensés (Jacqueline, 1978).



**Figure 11** : Structure chimique d'un tannin condensé(Favier,2003).

Les tanins condensés sont des polymères constitués d'unités flavone reliées par des liaisons entre les carbones C4, C8 et C6 (Bruyne et al., 1999 ; O'connell et Fox, 2001).

Ils sont les plus répandus dans les plantes vasculaires (Bernays et al., 1989). Ils sont des polyphénols de la famille des flavonoïdes, et sont beaucoup moins toxiques que les tanins Hydrolysables, car ils sont non Hydrolysables et peu absorbés par la muqueuse digestive en raison de leur poids moléculaire élevé (Sabater ,2012).

### I. Lieu :

Le travail est réalisé dans le laboratoire d'Ecologie, Biotechnologie et santé du département de Biologie université Mouloud Mammeri Tizi ouzou.

#### I.1: Matériels végétal :

Notre étude a porté sur les parties aériennes de *Echium vulgare L.,1753* , à savoir les feuilles et les fleurs.

**I.2: La récolte :** Le 23 mars 2024, lors d'une journée ensoleillée , nous avons récolté des spécimens d'*Echium vulgare* a Azib Ahmed , une localité située dans la ville de Tizi ouzou, en face de la gare routière . Cette journée , marquée par un ciel dégagé et une température agréable , a offert des conditions idéales pour la cueillette de cette plante remarquable. La localisation précise de notre site de collecte, à proximité de la gare routière, a permis un accès facile et pratique, facilitant ainsi le transport des échantillons. *L'Echium vulgare*, connu pour ses multiples propriétés biologiques et médicinales, se développe bien dans cette région, où les conditions climatiques et environnementales semblent favoriser sa croissance optimale.

#### I.3: Préparation du matériel végétal :

Au laboratoire, nous avons soigneusement effeuillé et défleuri la plante. Les feuilles et les fleurs ainsi obtenues ont été séchées à l'ombre et à l'air libre, permettant l'élimination de l'eau contenue sans endommager la plante. Après une période de quinze jours, les feuilles et les fleurs ont été broyées séparément à l'aide d'un mortier. La poudre ainsi obtenue a été placée dans des bocaux hermétiquement fermés.



a)- Fleurs



b)- Feuilles



c)- Poudre de feuilles

**Figure 12:** Broyage des fleurs et des feuilles de *Echium vulgare* L.,1753

### **I.4: La structure anatomique des feuilles et tiges de *Echium vulgare* L.,1753 :**

Dans le cadre de l'observation de la structure anatomique des feuilles et tiges de *Echium vulgare* L.,1753 nous avons suivi un protocole précis, premièrement nous avons préparé divers colorants , dont le vert de méthyle et le rouge Congo .

#### **Préparation de vert de méthyle :**

La préparation du vert de méthyle a été réalisée de la manière suivante : sous hotte, nous avons pesé 0,5 g de vert de méthyle, que nous avons ensuite ajouté à 55 ml d'eau distillée et 22,5 ml d'acide acétique. Le mélange a été agité à l'aide d'un agitateur magnétique afin d'assurer une dissolution complète. Une fois bien homogénéisé, la solution a été filtrée pour éliminer les particules insolubles. Le filtrat a ensuite été conservé en fermant hermétiquement le récipient pour éviter toute contamination.

### Préparation de rouge Congo :

Sous une hotte aspirante, nous avons préparé une solution de rouge Congo . Dans un erlenmeyer, nous avons dissous 3 g de rouge Congo dans 49 ml d'eau distillée. Ensuite, nous avons ajouté 2 ml d'ammoniaque, en prenant soin de placer un bouchon sur l'erlenmeyer pour limiter l'évaporation de l'ammoniac. Le mélange a été agité à l'aide d'un agitateur magnétique et chauffé pour faciliter la dissolution du colorant. Après refroidissement, la solution a été filtrée.

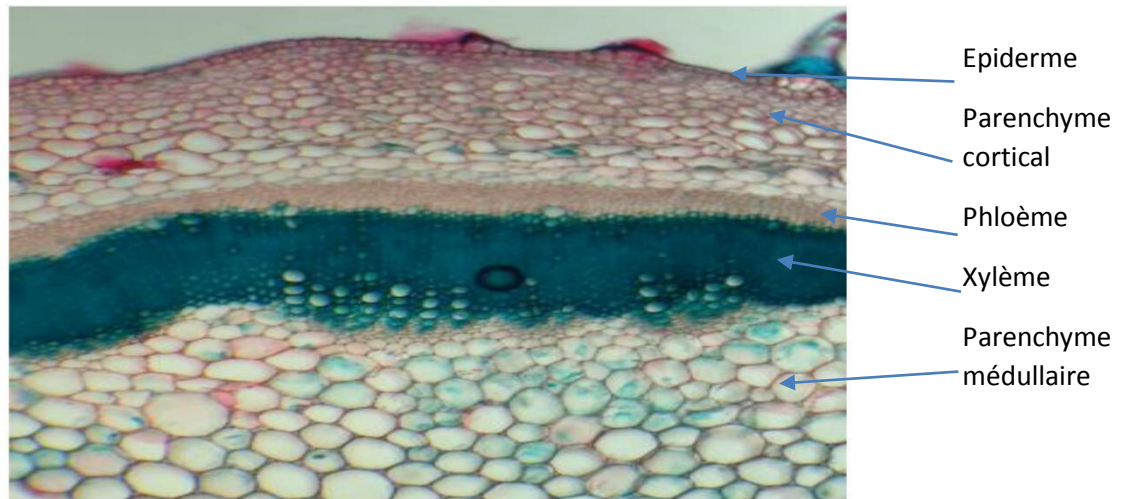
Ces préparations nous ont permis de colorer efficacement les feuilles et les tiges , facilitant ainsi l'observation des structures cellulaires au microscope.

### Réalisation des coupes (double coloration) :

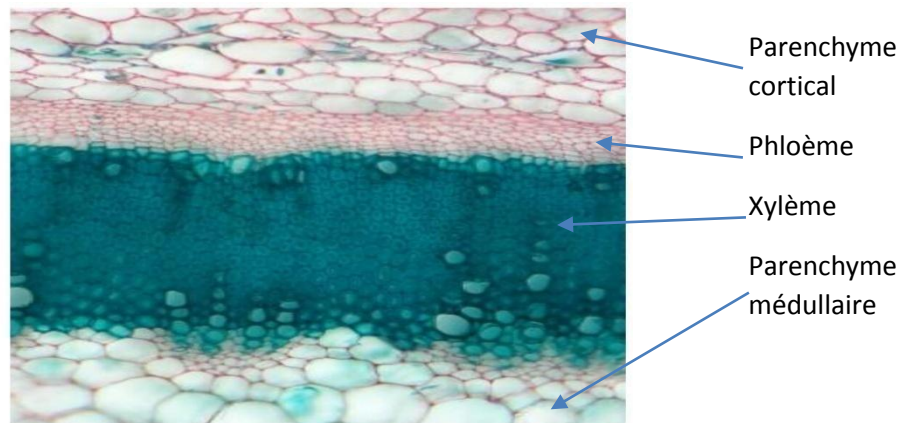
Tout d'abord, des coupes très fines de tige et de feuille d'*Echium vulgare* ont été réalisées. Ces coupes ont ensuite été placées dans l'eau. Après avoir vidé l'eau, les coupes ont été immergées dans de l'eau de Javel pendant 25 minutes, afin de vider les cellules et de les rendre plus transparentes. Par la suite, un rinçage minutieux à l'eau a été effectué pour éliminer toute trace d'eau de Javel. Les coupes ont ensuite été placées dans une solution d'acide acétique (1 ml d'acide acétique dans 100 ml d'eau distillée) pendant 5 minutes. Cette étape est cruciale car l'acide acétique aide à fixer les structures cellulaires et à améliorer la pénétration des colorants. Ensuite, les coupes ont été colorées au vert de méthyle pendant 5 minutes, suivi d'une coloration au rouge Congo pendant 5 minutes. Ce double marquage permet de distinguer les différents types de tissus de manière claire et précise, facilitant ainsi l'observation microscopique de la structure anatomique des échantillons.

Enfin, les coupes ont été montées sur une lame avec une lamelle et observées au microscope.

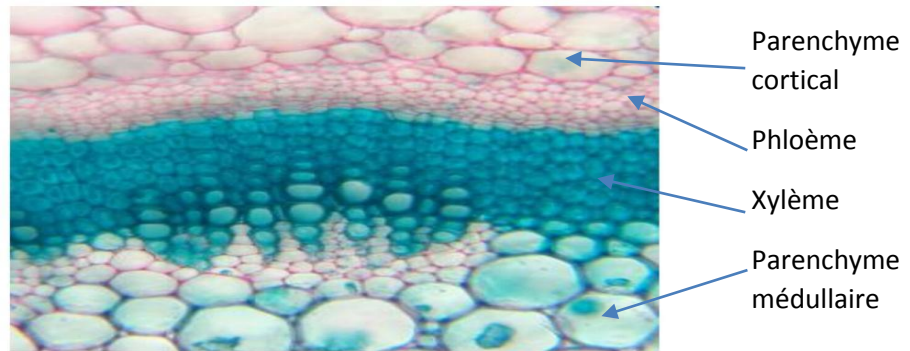
Cette dernière étape permet une visualisation détaillée et précise de la structure anatomique des feuilles et des tiges , révélant les différents types de tissus et leur organisation interne.



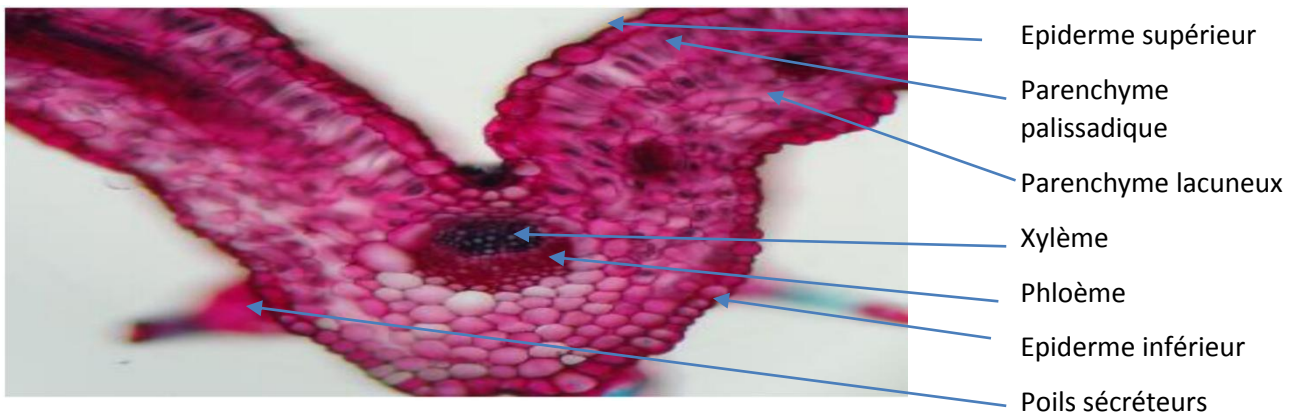
**Figure 13** : Coupe transversale de tige de *Echium vulgare* L.,1753. Vue au microscope photonique x10 (Alexandra et al.,2019)



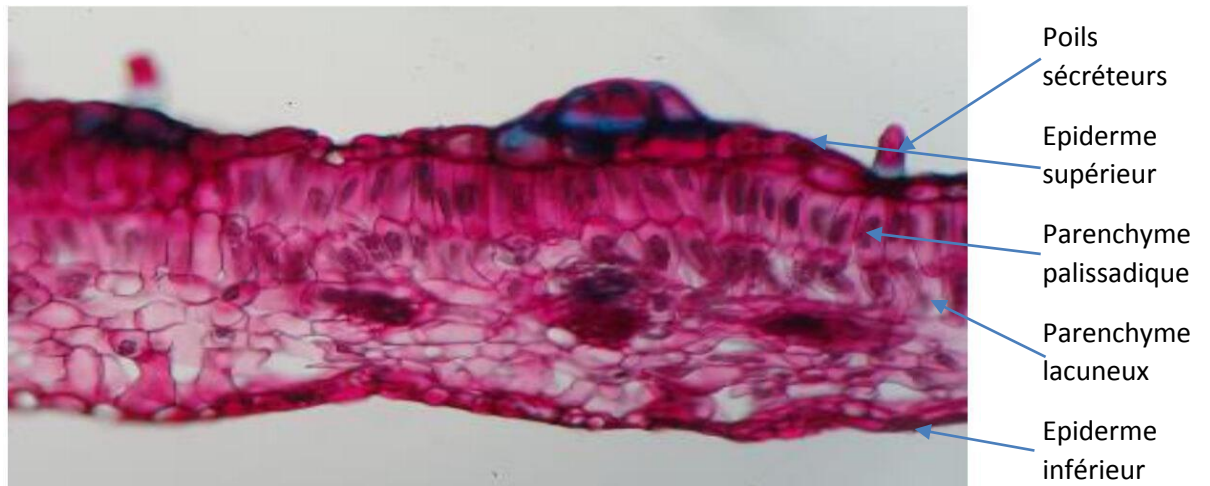
**Figure 14** : Coupe transversale de tige de *Echium vulgare* L.,1753. Vue au microscope photonique x20 (Alexandra et al.,2019)



**Figure 15** : Coupe transversale de tige de *Echium vulgare* L.,1753. Vue au microscope photonique x40 (Alexandra et al.,2019)



**Figure 16** : Coupe transversale de feuille de *Echium vulgare* L.,1753. Vue au microscope photonique x20 (Alexandra et al.,2019).



**Figure 17** : Coupe transversale de feuille de *Echium vulgare* L.,1753. Vue au microscope photonique x20 (Alexandra et al.,2019)

## II. Extraction des polyphénols totaux :

Nous avons procédé à l'extraction des polyphénols totaux à partir des feuilles et des fleurs de *Echium vulgare* L.,1753 en utilisant un protocole de macération par solvant décrit par (Romani et al., 2006 ) en y apportant quelques modifications. Tout d'abord, nous avons macéré 1 g de poudre de feuilles et 1 g de poudre de fleurs à température ambiante pendant 72 heures dans 10 ml d'une solution aqueuse de méthanol à 70 %. Ensuite, le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre Whatman , et les filtrats obtenus ont été centrifugés pendant 20 minutes à 4000 t /min à température ambiante. Les échantillons centrifugés ont ensuite été laissés à l'évaporation pendant 4 jours jusqu'à séchage complet à l'ombre et à l'air libre. Une fois l'évaporation terminée, l'extrait obtenu a été conservé à une température de 4°C jusqu'à son utilisation. Les étapes d'extraction sont indiquées dans la figure ci-dessus.

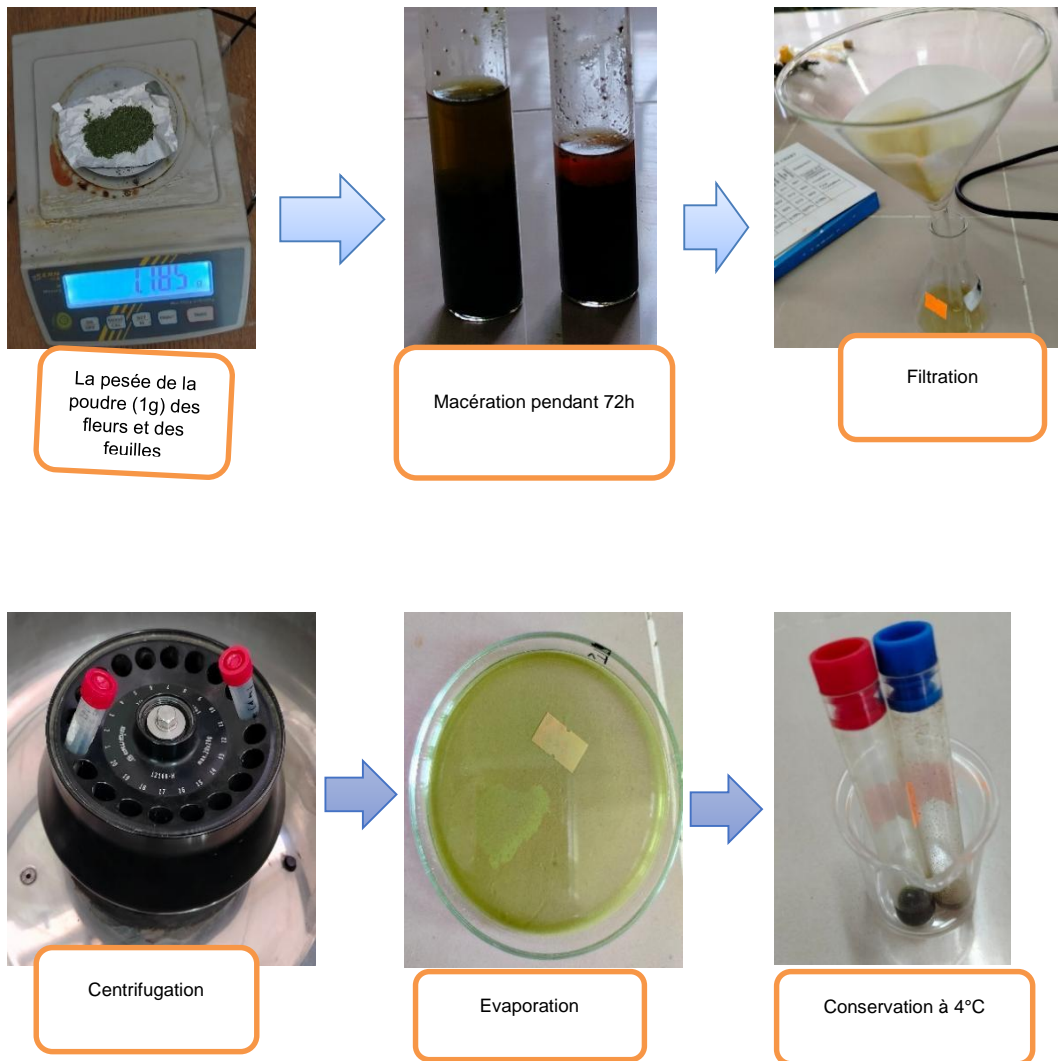


Figure 18 : Protocole d'extraction des polyphénols.

### II.1: Rendement d'extraction :

Le rendement a été calculé en utilisant la formule de Clémence et Dongmo (2009). L'extrait sec, obtenu après évaporation du solvant d'extraction, a été pesé puis dissous dans 10 ml d'eau distillée.

$$R (\%) = (M_{\text{ext}}) \times 100 / M_{\text{ech}}$$

R= Rendement (en %).

$M_{\text{ext}}$ = est la masse de l'extrait après l'évaporation du solvant en mg .

$M_{\text{ech}}$  : est la masse de l'échantillon végétal en mg.

### III. Dosage des polyphénols totaux :

La quantification des polyphénols totaux a été réalisée par spectrométrie en utilisant la méthode colorimétrique avec le réactif de Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999). Le protocole suivi est basé sur celui décrit par Singleton et Ross (1965), avec quelques modifications.

Dans des tubes à hémolyse en verre, un volume de 200  $\mu\text{L}$  de chaque extrait, dissous dans de l'eau distillée à une concentration de 40  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , est mélangé à 1 mL du réactif de Folin-Ciocalteu (dilué au dixième) et à 800  $\mu\text{L}$  d'une solution de carbonate de sodium à 75 mg/mL. Le mélange est incubé à l'obscurité et à température ambiante pendant 45 minutes. L'absorbance est mesurée à 760 nm et les résultats sont exprimés en milligrammes équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g), en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique réalisée à des concentrations allant de 10 à 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . Les solutions d'extrait et la gamme d'étalonnage sont préparées le même jour dans les mêmes conditions opératoires. Le blanc est préparé en mélangeant 200  $\mu\text{L}$  d'eau distillée avec 1 mL du réactif de Folin-Ciocalteu dilué au dixième et 800  $\mu\text{L}$  de solution de carbonate de sodium.



Mélange d'extraits + bicarbonate de sodium + Folin-ciocalteu incubé pendant 45 min

**Figure 19** : Dosage des polyphénols totaux

### IV. Présentation générale de l'insecte étudié :

#### IV.1. *Tribolium castaneum*:

*Tribolium castaneum* communément appelé le *Tribolium rouge* de la farine, est un coléoptère de la famille des Tenebrionidae, mesurant 3 à 4 mm, se caractérise par une couleur brun\_rougeâtre et un corps aplati. Il infeste les produits céréaliers stockés tels que la farine, les céréales, et les pâtes, causant des pertes économiques significatives (Bonneton ,2010). Son cycle de vie inclut quatre stades : œuf, larve, nymphe et adulte, la femelle pond entre 300 et 400 œufs au cours de sa vie, généralement déposés sur la surface des denrées alimentaires, avec une durée de 30 à 90 jours selon les conditions (Sreeramoju et Msk , 2016). Résistant à plusieurs insecticides, ce qui complique sa gestion dans les environnements infestés. Cette résistance, combinée à sa capacité à survivre dans une variété de conditions, en fait un ravageur particulièrement redoutable, ce qui nécessite des stratégies de gestion intégrée (Bonneton, 2010). C'est également un modèle précieux pour la recherche en génétique et biologie moléculaire.

#### IV.2. position systématique de *Tribolium castaneum* :

Selon Myers et al ., 2016 la classification de *Tribolium castaneum* est la suivante :

Règne : Animalia

Phylum :Arthropoda

Sub phylum: Hexapoda

Classe: Insecta

Ordre : Coléoptères

Super Famille : Tenebrionoidea

Famille : Tenebrionidae

Sous\_Famille : Tenebrioninae

Tribu : Triboliini

Genre : *Tribolium*

Espèce : *castaneum*

#### IV.3. Origine et répartition géographique :

*Tribolium castaneum* est une espèce cosmopolite originaire d'Inde, présente dans le monde entier. On la trouve dans toutes les régions du globe, mais elle ne survit dans les climats froids que dans les entrepôts à température élevée (Aziez et al., 2003).

#### IV.4. Cycle de développement :

Le cycle de développement de *Tribolium castaneum*, un ravageur majeur des stocks de céréales, se compose de quatre stades distincts : œuf, larve, nymphe et adulte. Les œufs

éclosent généralement après environ sept jours. Les larves, actives et mobiles, présentent une couleur blanche avec des nuances de jaune et traversent entre cinq et onze stades d'instar. À la fin de leur développement, les larves cessent de se nourrir, deviennent immobiles et se transforment en nymphes blanchâtres et fixes (Gueye et al., 2015). L'émergence de l'adulte se produit six jours après la formation de la nymphe. Dans des conditions optimales (31°C et 75% d'humidité), le cycle complet dure environ 28 jours, bien que cette durée puisse varier en fonction des conditions environnementales (Kassem, 2014). Les stades larvaires et nymphaux sont particulièrement longs, représentant la majorité du cycle de vie (Skourti et al., 2019). Comprendre ce cycle biologique est essentiel pour développer des stratégies efficaces de gestion des infestations, compte tenu de l'impact significatif de ce coléoptère sur les stocks de céréales (Namin et al., 2018).

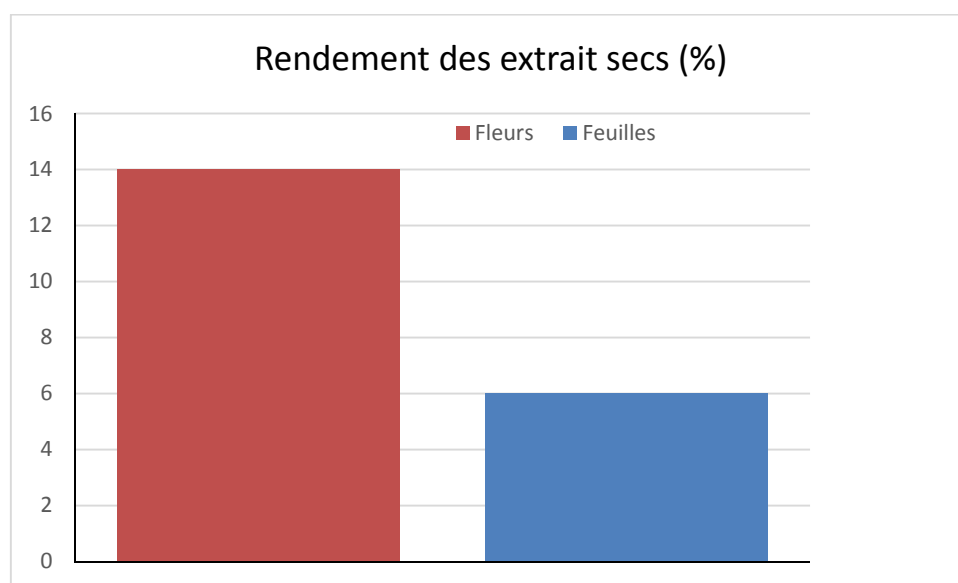
### V. Évaluation de l'activité insecticide :

Cette partie vise à évaluer, dans des conditions de laboratoire, l'activité insecticide de la poudre de fleurs d'*Echium vulgare* sur le ravageur des denrées stockées, *Tribolium castaneum*. Les adultes de *Tribolium castaneum*, préalablement élevés, ont été introduits dans des bocaux remplis de semoule. Ces bocaux ont été incubés à température ambiante pendant 7 à 14 jours, après quoi un échantillon aléatoire a été sélectionné pour les tests biologiques.

Dans des bocaux en plastique, un mélange de 50 g de semoule a été préparé avec différentes doses de poudre de fleurs d'*Echium vulgare* (2, 4 et 6 g). Un témoin sans addition de poudre de fleurs a également été mis en place. Dans chaque bocal, 20 adultes de *Tribolium castaneum* ont été introduits, et la mortalité des insectes a été surveillée quotidiennement pendant 14 jours. La mort des individus a été confirmée lorsqu'il n'y avait aucune réaction au contact avec une aiguille pointue sur l'abdomen. Au terme de la période de 14 jours, les insectes morts et vivants ont été retirés de chaque bocal pour analyse.

### I. Résultats du Rendement d'extraction :

Le rendement d'extraction est défini comme le pourcentage de principes actifs extraits à l'aide d'un solvant organique ou aqueux. Il est calculé en comparant le poids de l'extrait sec obtenu au poids de la matière végétale sèche préalablement réduite en poudre. Les résultats sont illustrés dans la figure suivante, qui présente un histogramme montrant le pourcentage de rendement en fonction de la masse de matière sèche après évaporation par rapport à la masse de l'extrait végétal. Les données révèlent que le rendement de 14 % de la partie fleur est supérieur à celui de la partie feuille, qui représente un rendement de 6 %.



**Figure20:** Rendement des extraits des fleurs et des feuilles *d'Echium vulgare L.,1753*.

#### I.1. Rendement de l'extraction :

Les composés bioactifs se trouvent généralement en faible concentration dans les plantes, ce qui nécessite des techniques d'extraction efficaces. Une méthode d'extraction optimale permet de maximiser le rendement tout en préservant les propriétés fonctionnelles des extraits obtenus. Cette approche est cruciale pour capturer les produits végétaux élaborés, tout en minimisant les altérations de leur qualité (Azmir et al.,2013).

Les extraits bruts hydro-méthanoliques des parties aériennes de la plante, notamment les feuilles et les fleurs, sont préparés par macération. Les caractéristiques des extraits obtenus, y compris leurs couleurs, et rendements d'extraction, sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Partie	Extrait	Couleur	Rendement
Feuilles	Hydro- méthanolique	Vert foncé	6%
Fleurs	Hydro- méthanolique	Jaune foncé	14%

**Tableau 03 :**Caractéristiques et rendements des extraits d'*Echium vulgare L.*,1753.

Les extraits issus des feuilles de *Echium vulgare* présentent une teinte verte, tandis que ceux obtenus à partir des fleurs sont jaunes. Cette coloration est principalement attribuée à la présence de pigments végétaux et à la nature des polyphénols extraits, en fonction des solvants utilisés. De plus, d'autres facteurs, tels que la composition chimique variée des flavonoïdes et des anthocyanines, le pH du solvant, ainsi que les conditions d'extraction, comme la température et la durée, peuvent également influencer la couleur des extraits (Boudet , 2007).

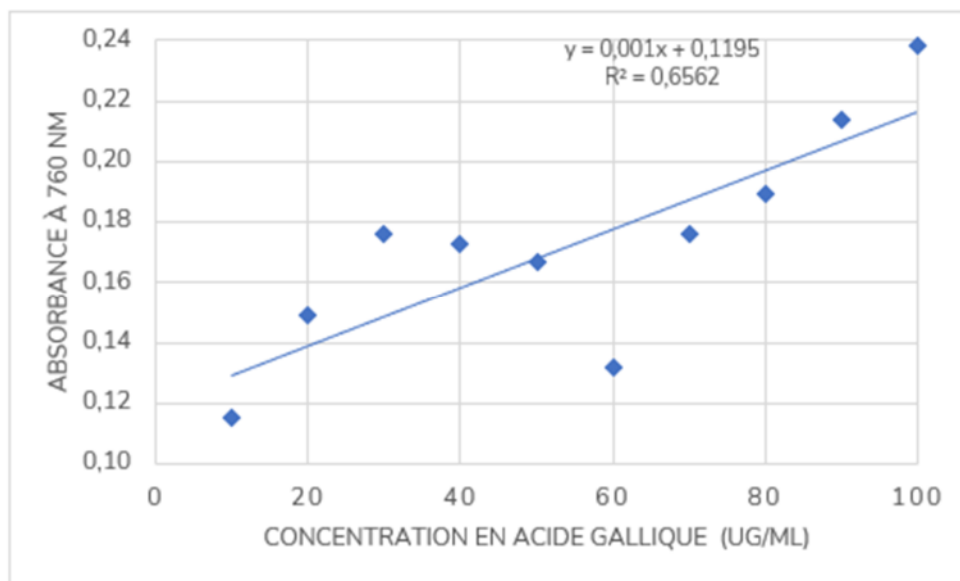
Le méthanol, en tant que solvant polaire, est reconnu pour sa capacité à extraire une large gamme de molécules, y compris les sucres, les glucosides, ainsi que certains composés faiblement polaires. Sa polarité intermédiaire le rend particulièrement efficace pour solubiliser divers métabolites secondaires présents dans les plantes, facilitant ainsi l'obtention d'extraits riches en composés bioactifs (Azwanida , 2015).

Le mélange méthanol/eau (70/30, v/v) est couramment utilisé pour la préparation des extraits bruts par macération, en raison de sa polarité élevée qui permet une extraction optimale des composés phénoliques. Ce mélange est particulièrement efficace car il équilibre la capacité du méthanol à solubiliser des composés polaires avec celle de l'eau à extraire divers métabolites. Des études ont montré que l'utilisation de solvants hydro-alcooliques, tels que ce mélange, améliore significativement le rendement d'extraction par rapport aux solvants organiques purs en raison de leur meilleure capacité à dissoudre une gamme plus large de composés bioactifs (Mura et al .,2010).

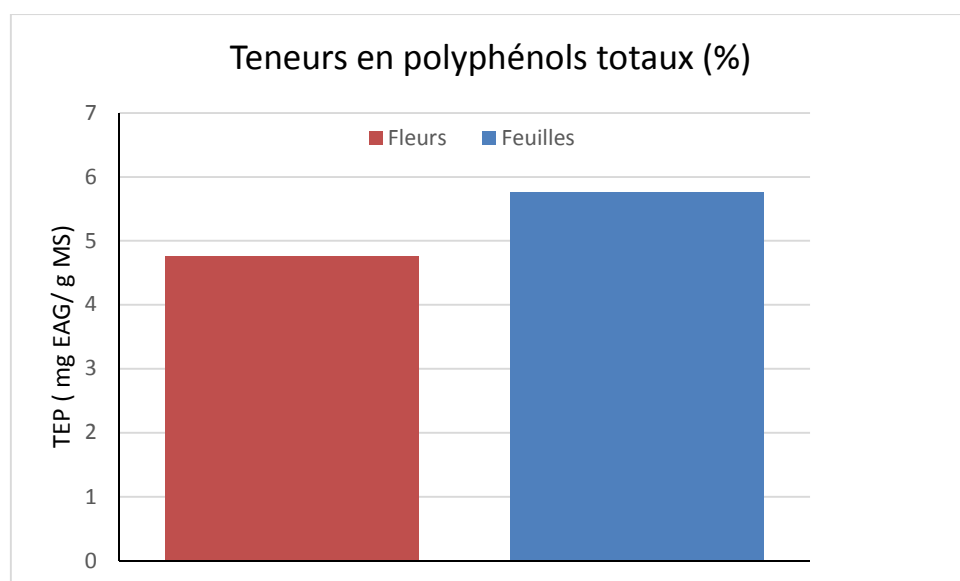
Les composés phénoliques se comportent différemment selon la partie de la plante, le mode d'extraction, et les solvants utilisés. La solubilité des polyphénols est influencée par plusieurs facteurs, dont leur degré de polymérisation, la polarité du solvant, et le pH. De plus, la température joue un rôle crucial en favorisant l'extraction de certains composés phénoliques tout en pouvant entraîner la dégradation d'autres. Ces variables doivent être soigneusement optimisées pour maximiser le rendement et la qualité des extraits phénoliques (Chemat et al.,2012).

### **II. Détermination des polyphénols totaux :**

L'extrait brut obtenu par macération dans de l'eau distillée a été soumis à une analyse quantitative pour déterminer la teneur en polyphénols, en utilisant la spectrophotométrie. La concentration de polyphénols dans les extraits de la plante étudiée a été calculée en se basant sur une courbe d'étalonnage réalisée à partir d'une série de solutions standard d'acide gallique. Les résultats obtenus sont exprimés en équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait, permettant ainsi une évaluation précise de la richesse en polyphénols des échantillons analysés (Singleton et al.,1965).



**Figure21:** Courbe étalon de l'acide gallique



**Figure22:** Teneurs en polyphenols des extraits des fleurs et des feuilles *d'Echium vulgare L.,1753*.

Les résultats ont révélé des variations dans la teneur en polyphénols des extraits de la plante. En effet, l'extrait méthanolique des fleurs de la partie aérienne de *l'Echium vulgare L.,1753*, présente une teneur en polyphénols de 4,75 mg GAE/g. En revanche, l'extrait méthanolique des feuilles de la partie aérienne affiche une teneur plus élevée, soit 5,75 mg GAE/g. Ainsi, les données indiquent que la teneur en polyphénols des feuilles est supérieure à celle des fleurs.

En comparant nos résultats avec ceux de Bentabet (2015), qui ont étudié *Echium vulgare*, nous observons que la teneur en polyphénols totaux dans les feuilles (5,75 mg GAE/g) est inférieure à celle rapportée pour les extraits méthanoliques de cette plante, qui contiennent  $741,8 \pm 0,25$  mg EAG/100g de matière sèche, soit environ 7,42 mg EAG/g. Cette différence peut être attribuée à la distribution des métabolites secondaires, qui varie au cours du développement de la plante.

De plus, les conditions climatiques, telles que des températures élevées, une exposition solaire intense, la sécheresse et la salinité, peuvent stimuler la biosynthèse des polyphénols. Selon Ebrahimi et al. (2008), ces facteurs environnementaux influencent significativement la production de métabolites secondaires, y compris les polyphénols, ce qui pourrait expliquer les variations observées dans nos résultats par rapport à ceux de Bentabet. Une compréhension approfondie de ces influences est essentielle pour optimiser l'extraction et l'utilisation des composés bioactifs d'*Echium vulgare* dans des applications pharmaceutiques et alimentaires.

D'autre part En comparant nos résultats avec ceux de la récente étude de Khan et al., (2022) , sur les parties aériennes (feuilles et fleurs) de *Echium vulgare L.,1753*, on remarque que la teneur en polyphénols totaux des feuilles et supérieure à celle des fleurs , Selon leur étude la teneur en polyphénols totaux était de 6,2 mg GAE/g ( $\pm 0,2$  mg GAE/g) pour les feuilles et de 5,1 mg GAE/g ( $\pm 0,3$  mg GAE/g) pour les fleurs , ce qui relativement cohérent à nos résultats. Cette étude met en évidence que les variations peuvent être influencées par les conditions de croissance, le stade de développement et les méthodes d'extraction utilisées.

En effet la teneur en composés phénoliques d'une plante est influencée par une variété de facteurs intrinsèques et extrinsèques. Parmi les facteurs intrinsèques, la génétique joue un rôle crucial, déterminant le potentiel de production de ces métabolites secondaires. Les facteurs extrinsèques, quant à eux, incluent les conditions climatiques, les pratiques culturales, le stade de maturité au moment de la récolte et les conditions de stockage après récolte. Ces éléments interagissent pour moduler la concentration des composés phénoliques, affectant ainsi les propriétés bioactives des plantes ( Falleh et al.,2008).

### II.1.Teneur en polyphénols totaux :

La teneur totale en polyphénols des extraits de feuilles et de fleurs d'*Echium vulgare L.,1753* a été mesurée à l'aide de la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu. Cette méthode est largement reconnue comme l'une des plus efficaces pour évaluer les niveaux de polyphénols totaux dans les extraits végétaux (Djeridane et al., 2010), en raison de sa simplicité, de sa reproductibilité, et de la disponibilité du réactif de Folin. De plus, l'absorbance mesurée à 765 nm permet de minimiser les interférences potentielles dues à la matrice colorée des échantillons, ce qui en fait une méthode de choix dans les laboratoires de recherche spécialisés en antioxydants alimentaires à travers le monde (Ainsworth et Gillespie , 2007).

Les résultats de notre étude ont révélé que les feuilles et les fleurs d'*Echium vulgare L.,1753* représentent des sources significatives de composés polyphénoliques.

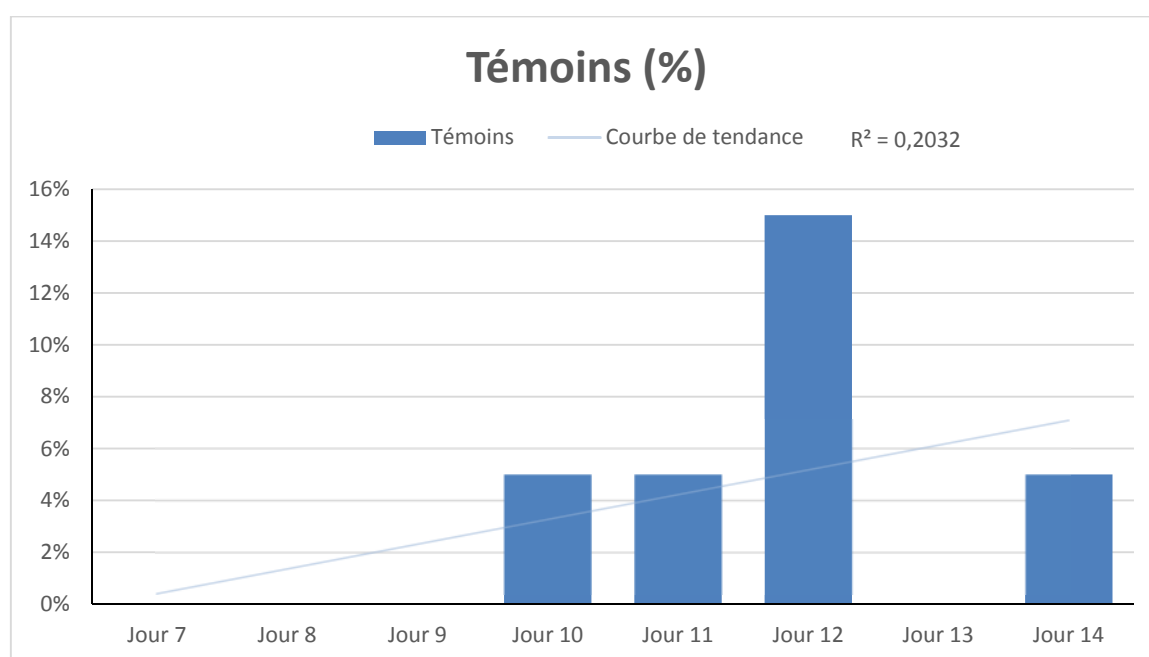
### III.\_ Résultats et évaluation de l'activité bio\_insecticide :

L'effet des poudres de fleurs de *Echium vulgare L.,1753* sur *Tribolium castaneum* est illustré dans le tableau ci-dessous:

Jours / Doses	Jour 7	Jour 8	Jour 9	Jour 10	Jour 11	Jour 12	Jour 13	Jour 14
Témoins	0%	0%	0%	5%	5%	15%	0%	5%
2g	5%	5%	10%	20%	20%	10%	25%	35%
4g	10%	15%	15%	25%	30%	35%	45%	55%
6g	15%	20%	15%	30%	40%	40%	50%	70%

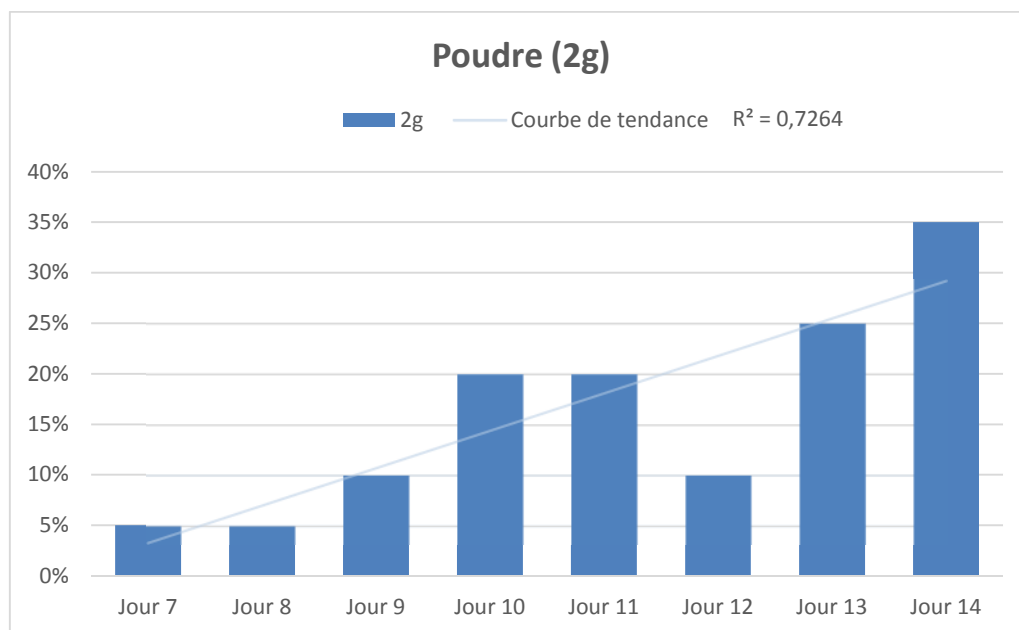
**Tableau 04:** Les résultats obtenus de l'effet de *Echium vulgare L.,1753* (poudre des fleurs) sur *Tribolium castaneum* en pourcentage pour chaque dose .

La figure ci-dessus montre un histogramme représentant la mortalité moyenne en pourcentage en fonction du temps pour le témoin contenant 50 g de semoule et 20 individus de *Tribolium castaneum*. On observe une absence de mortalité jusqu'au neuvième jour, suivie d'une augmentation à partir du dixième jour, avec des taux variant entre 5 % et 15 % .



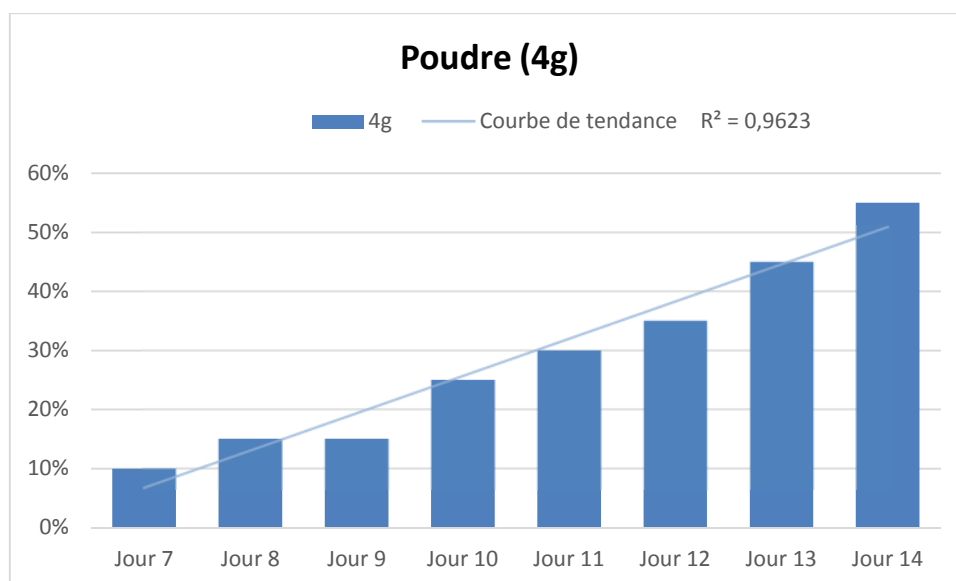
**Figure23:** Moyenne de mortalité de *Tribolium castaneum* en % en fonction du Temps pour le Témoin.

La figure ci-dessus illustre un histogramme montrant la mortalité moyenne en pourcentage en fonction du temps pour une dose de 2 g de poudre de fleurs d'*Echium vulgare L.,1753* , mélangée avec 50 g de semoule et 20 individus. On note une absence de mortalité pendant les six premiers jours, suivie d'une augmentation à partir du septième jour, avec des taux variant entre 5 % et 35 %.



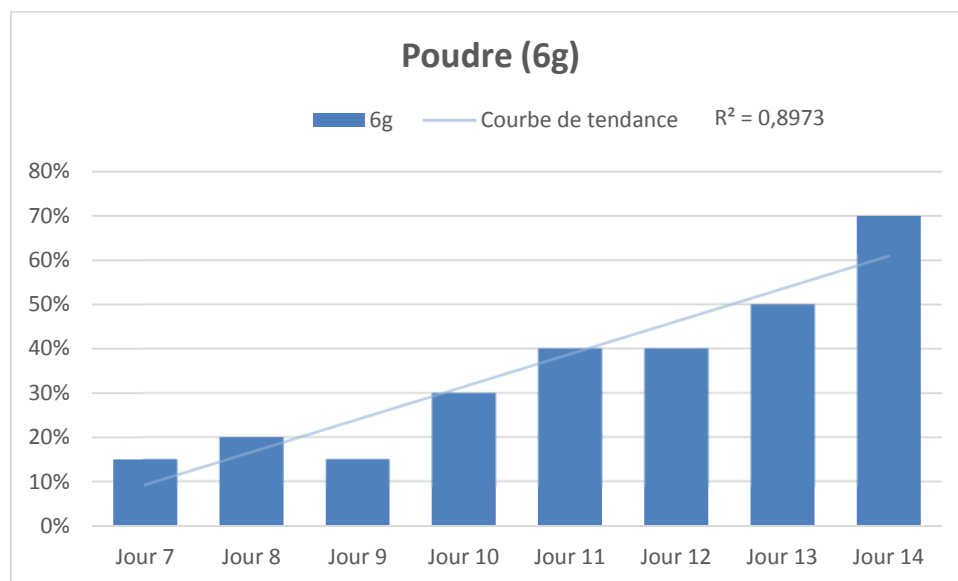
**Figure24:** Moyenne de mortalité de *Tribolium castaneum* en % en fonction du Temps pour la dose de 2g.

La figure ci-dessus présente un histogramme montrant la mortalité moyenne en pourcentage en fonction du temps pour une dose de 4 g de poudre de fleurs d'*Echium vulgare L.,1753*, mélangée avec 50 g de semoule et 20 individus. On observe une absence de mortalité durant les six premiers jours, suivie d'une augmentation à partir du septième jour, avec des taux variant entre 10 % et 55 %.



**Figure25:** Moyenne de mortalité de *Tribolium castaneum* en % en fonction du Temps pour la dose de 4g.

La figure ci-dessus illustre un histogramme montrant la mortalité moyenne en pourcentage en fonction du temps pour une dose de 6g de poudre de fleurs d'*Echium vulgare L.,1753*, mélangée avec 50 g de semoule et 20 individus. On note une absence de mortalité pendant les six premiers jours, suivie d'une augmentation à partir du septième jour, avec des taux variant entre 15% et 70%.



**Figure26:** Moyenne de mortalité de *Tribolium castaneum* en % en fonction du Temps pour la dose de 6g.

### III. Évaluation de l'activité bio\_insecticide:

Les histogrammes montrent que la longévité de *Tribolium castaneum* diminue avec l'augmentation de la dose de poudre de fleurs d'*Echium vulgare L.,1753*. La longévité la plus élevée des adultes est observée dans le groupe témoin. Une diminution de la longévité est notée dès l'application de la dose de 2 g pour 50 g de semoule. La dose de 6 g pour 50 g de semoule entraîne la plus courte longévité, avec un taux de mortalité particulièrement élevé.

En comparant nos résultats à ceux de Bouamoud et al., (2022), qui ont étudié l'effet de l'extrait méthanolique de *Mentha citrata* sur la mortalité des adultes de *Tribolium castaneum*, nous constatons des tendances similaires concernant l'augmentation de la mortalité en fonction des concentrations. Dans leur étude, ils ont testé des concentrations de 25 mg/ml, 50 mg/ml, 100 mg/ml et 200 mg/ml, avec des mortalités mesurées à différents intervalles allant de 1 heure à 168 heures. La plus faible concentration (25 mg/ml) a provoqué une mortalité de 23,33% après 24 heures, tandis que la concentration la plus élevée (200 mg/ml) a atteint 50% de mortalité après 24 heures et 83,33% après 168 heures.

Dans notre étude sur la poudre d'*Echium vulgare* nous avons également observé une augmentation de la mortalité avec l'augmentation des doses. Avec 2g de poudre, la mortalité variait entre 5% et 35%, tandis qu'avec 4g, elle atteignait 10% à 55%, et avec 6g, elle culminait à 15% à 70% sur une période de 14 jours. Bien que les taux de mortalité observés dans notre étude soient généralement inférieurs à ceux rapportés par Bouamoud et al., (2022) pour les doses les plus élevées, les deux études

confirment que l'efficacité insecticide des extraits végétaux et des poudres augmente avec la concentration. Cela souligne le potentiel de *Mentha citrata* et d'*Echium vulgare* dans la lutte contre *Tribolium castaneum*.

Selon Ilek et al. (2014), les composants volatils toxiques présents dans les poudres de ces plantes présentent un certain degré de persistance. En effet, la mortalité des insectes augmente avec la durée d'exposition aux poudres.

La sensibilité des insectes peut varier considérablement d'une espèce à l'autre, ainsi qu'au sein d'une même espèce. Cette variabilité peut expliquer les différences observées dans la sensibilité aux traitements, comme le souligne Patrick et al. (2018). Il est donc crucial de prendre en compte ces variations pour comprendre et prédire l'efficacité des interventions contre les insectes.

Les substances naturelles, telles que les terpènes, sont reconnues pour leurs propriétés insecticides. À faibles concentrations, ces composés exercent un effet répulsif, tandis qu'à des concentrations plus élevées, ils deviennent létaux pour les insectes. Les terpènes agissent principalement sur le système nerveux des insectes et peuvent également perturber la synthèse des protéines, affectant ainsi leur survie et leur comportement (Mojumder et al., 2021). Ces mécanismes d'action soulignent l'importance de la concentration des terpènes pour maximiser leur efficacité en tant que biopesticides.

Les organes olfactifs périphériques des insectes détectent et traitent divers composants des mélanges d'odeurs. Les réponses comportementales des insectes dépendent de la perméabilité des composés, de l'état physiologique et de l'âge de l'insecte (Al\_Joary et al., 2021). La variabilité des réponses au fil du temps peut être expliquée par la stabilité des composés dans les poudres. Les composés organiques volatils, principalement issus des voies de biosynthèse végétales, jouent un rôle crucial dans les interactions interspécifiques en transmettant des signaux chimiques bénéfiques uniquement pour l'organisme récepteur.

## Conclusion

---

### Conclusion :

Les polyphénols, en tant que métabolites secondaires des plantes, forment un groupe essentiel et varié de substances bioactives. *Echium vulgare L., 1753* apparaît comme une source prometteuse de ces composés, nos résultats ayant démontré que son activité biologique semble fortement corrélée à sa teneur en composés phénoliques. Plus précisément, les feuilles ont révélé une teneur en polyphénols plus élevée que les fleurs, avec 5,75 mg d'équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait, tandis que les fleurs contenaient 4,75 mg équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait.

Les plantes synthétisent divers métabolites secondaires aux effets variés sur les insectes, pouvant agir comme répulsifs, attractifs, inhibiteurs du développement ou de la reproduction. Ces molécules peuvent également induire une toxicité directe ou indirecte, en ciblant des systèmes physiologiques spécifiques tels que les organes sensoriels, le système nerveux, le système endocrinien, ainsi que les systèmes digestif et reproducteur des insectes.

Notre étude a montré que la poudre des fleurs *d'Echium vulgare L., 1753*, à une dose de 6 g pour 50 g de semoule, a provoqué le taux de mortalité le plus élevé chez *Tribolium castaneum*, surpassant les autres doses étudiées. Sur la base de ces résultats, nous pouvons conclure que la poudre de fleurs *d'Echium vulgare L., 1753* possède un fort potentiel en tant que bio-insecticide contre ce ravageur, ce qui en fait une candidate prometteuse pour des applications futures dans le domaine de la lutte biologique intégrée.

Pour les perspectives, il serait essentiel de prolonger cette étude par une analyse phytochimique plus complète, dans le but de :

- Identifier d'autres composés bioactifs potentiellement présents dans la plante ;
- Quantifier et comparer l'activité antioxydante des extraits aqueux issus des différentes parties de la plante, en particulier les feuilles et les fleurs ;
- Explorer d'autres propriétés biologiques telles que des activités anti-inflammatoires, antimicrobiennes, voire anticancéreuses, en fonction de la composition chimique ;
- Évaluer la stabilité et la persistance des composés bioactifs de la plante dans divers environnements, afin de déterminer leur efficacité à long terme comme bio-insecticide ;
- Envisager des formulations optimisées pour une application pratique, en tenant compte des synergies potentielles entre les composés pour maximiser l'efficacité insecticide.

Ces approfondissements contribueraient à renforcer l'utilisation *d'Echium vulgare* comme une ressource naturelle précieuse, non seulement dans le cadre de la lutte biologique, mais aussi pour ses applications thérapeutiques, tout en ouvrant la voie à de nouvelles avenues de recherche sur ses nombreuses propriétés bioactives.

## Références bibliographique

---

### Références bibliographique

**Ainsworth, E.A., & Gillespie, K.M. (2007).** Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*, 2(4), 875-877.

**Al-Joary, Y.I.M.A., Al-Obaidi, R.G., & Al-Ejaidy, S.O. (2021).** Study of the repellent activity of some medicinal herbs powder against adults of *Tribolium confusum* Duv. (Tenebrionidae: Coleoptera). *Plant Archives*, 21(1), 445-450.

**Alsanie, W.F. (2018).** *Viper's bugloss (Echium vulgare L)* extract as a natural antioxidant and its effect on hyperlipidemia. *International Journal of Pharmaceutical and Phytopharmacological Research (el JPPR)*, 8(1), 81-89.

**Angiosperm phylogeny group. (2016).** An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1-20.

**Arnett, R., Thomas, M., & Skelton, P. (2020).** Geographical distribution of *Echium vulgare*. *Journal of Botanical Research*, 20(2), 45-46.

**Aziez, M., Hammadouche, O., Mallem, S., & Tacherifet, S. (2003).** Le guide pratique pour l'agréeur céréales et légumineuses alimentaires. C.N.M.Z, Algérie.

**Azmir, J., Zaidul, I.S.M., Rahman, M.M., Sharif, K.M., Mohamed, A., Sahena, F., Norulaini, N.A.N., & Omar, A.K.M. (2013).** Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426-436.

**Azwanida, N.N. (2015).** A review on the extraction methods used in medicinal plants, principles, strengths, and limitations. *Medicinal&Aromatic Plants*, 4(3), 196.

**Bahorum, T. (1997).** Substances naturelles actives. La flore Mauricienne. Une source d'approvisionnement potentielle. Food and Agricultural Research Council, Mauritius, pp. 83-94.

**Beckman, C. (2000).** Cellules à stockage phénolique : clés de la mort cellulaire programmée et de la formation du périoderme dans la résistance au flétrissement et dans les réponses de défense générales des plantes ? *Pathologie Végétale Physiologique et Moléculaire*, 57, 101-110.

**Benchlem, H. (2018).** Etude phytochimique et biologique de deux plantes médicinales algériennes. Thèse de doctorat: Chimie, Université des Frères Mentouri, Constantine.

**Benvenuti, S., Bacci, L., & Morone-Fortunato, I. (2022).** *Echium vulgare* and *Echium plantagineum*: A comparative study to evaluate their inclusion in Mediterranean urban green roofs. *Research Gate*.

## Références bibliographique

---

**Bentabet, N. (2015).** Etude phytochimique et évaluation des activités biologiques de deux espèces du genre *Echium* (*Echium pycnanthum* et *Echium vulgare*). Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.

**Bernays, E.A., Cooper Driver, G., & Bilgner, M. (1989).** Herbivores and plant tannins. *Advances in Ecological Research*, 19, 263-302.

**Bennick, A. (2002).** Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. *GIT Review Oral Biol Med*, 2, 184-196.

**Bouamoud, H., & Boukerchaoui, H. (2022).** Essai de lutte contre le coléoptère rouge de la farine *Tribolium castaneum* à base de l'huile essentielle de Menthe citronnée *Mentha citrata*. Université de Blida.

**Boudet, A.M. (2007).** Evolution and current status of research in phenolic compounds. *Phytochemistry*, 68(22-24), 2722-2735.

**Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie Phytochimie Plantes Médicinales, Techniques et Documentation. Lavoisier, 3ème édition, Paris.

**Chemat, F., Vian, M.A., & Routaboul, J.M. (2012).** Green extraction of natural products: Concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(7), 8615-8627.

**Chevallier, A. (2016).** The Encyclopedia of Medicinal Plants. DK Publishing.

**Chiej, R. (1984).** The Mac Donald Encyclopedia of Medicinal Plants. Mac Donald et Co. Publishers, Ltd, London, UK, 447 pp.

**Cordier, W., & Steen Kamp, V. (2012).** Herbal remedies affecting coagulation. *Pharmaceutical Biology*, 50(4), 443-452.

**Cowan, M.M. (1999).** Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12, 564-582.

## Références bibliographique

---

**Cox, D.D. (1985).** Common Herbaceous Flowering Plants of the Northeast. State University of Albany Press, Albany, NY, 395 pp.

**Crosier, A. (2003).** Classification and biosynthesis of secondary plant products: an overview. In *Plants Diet and Health*, Ed. Goldberg, pp. 27-48.

**Dixon, R.A., & Paiva, N.L. (1995).** Stress induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell*, 7(7), 1085-1097.

**Dixon, R.A., & Pasinetti, G.M. (2010).** Nutrition and health: Bioactive compounds and cancer. 1, 47-58.

**Djeridane, A., Yousfi, M., Brunel, J.M., & Stocker, P. (2010).** Isolation and characterization of a new steroid derivative as a powerful antioxidant from *Cleome arabica* in screening the in vitro antioxidant capacity of 18 Algerian medicinal plants. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 2599-2606.

**Douzane, A., & Belhamra, M. (2015).** *Plantes Médicinales et Sauvages d'Algérie*. Édition Toubkal.

**Ebrahimi, S.N., Hadian, J., Mirjalili, M.H., Sonboli, A., & Yousefzadi, M. (2008).** Essential oil composition and antibacterial activity of *Thymus caramanicus* at different phenological stages. *Food Chemistry*, 110(4), 927-931.

**Edeas, M. (2010).** Polyphénols et jus de grenade. *Phytothérapie*, 8, 16-20.

**Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., & Abdelly, C. (2008).** Phenolic composition of *Cynara cardunculus L.* organs and their biological activities. *C.R. Biol.*, 5, 372-379.

**Favier, A. (2003).** Le stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'Actualité Chimique*, 108-115.

## Références bibliographique

---

- Gabor, M., Cody, V., Middleton, E.J., Harborne, J.B., Beretz, A., & Liss, A.R. (1988).** Plants Flavonoids in Biology and Medicine. Biochemical Cellular and Medicinal Properties, New York, pp. 1-15.
- Gershenzon, J., & Dudareva, N. (2007).** The function of terpene natural products in the natural world. *Nature Chemical Biology*, 3(7), 408-414.
- Ghedira, K. (2005).** "Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique". *Phytothérapie*, 4, 162-169.
- Gledhill, D. (2008).** The Names of Plants. Cambridge University Press, 4th édition.
- Graves, M., Mangold, J., & Jacobes, J. (2010).** "Biologie, écologie et gestion du pâturin des prés (*Echium vulgare* L.)". Montana State University Extension, publication E bo 195.
- Grotewold, E. (2005).** La science des flavonoïdes. Springer, New York, NY, pp. 274.
- Gueye, M.T., Seck, D., Wathelet, J.P., & Lognay, G. (2012).** "Typologie des systèmes de stockage et de conservation du maïs dans l'est et le sud du Sénégal". BASE.
- Gueye et al. (2015).** Evaluation des paramètres biodémographiques des populations de *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera, Tenebrionidae) inféodé dans le mil (*\*Pennisetum glaucum\* Leek*) et le maïs (*\*Zeamays\* L.*). *J. Appl. Biosci.*
- Harborne, J.B., & Williams, C.A. (2000).** "Advances in flavonoid research since 1996". *Phytochemistry*, 6(1), 1-91.
- Heinrich, M., Barnes, J., Gibbons, S., & Williamson, E.M. (2012).** Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy. Churchill Livingstone, pp. 1-15.
- Ileke, K.D., Ogungbite, O.C., & Olayinka-Olugunju, J.O. (2014).** "Powders and extracts of *Syzygium aromaticum* and *Anacardium occidentale* as entomocides against the infestation of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) on stored sorghum grains". *African Crop Science Journal*, 22(4), 267-273.

## Références bibliographique

---

**Jacqueline, D. (1978).** "Les tanins dans les bois tropicaux". Bois et Forêts des Tropiques, pp. 37-54.

**Jean-Pierre Decocq. (2013).** La flore de la France en ligne.

**Jones, B., & Patel, R. (2019).** "Structural and functional morphology of *Echium vulgare*". Botanical Studies, 60(3), 195-204.

**Karabin, M., Hudcova, T., Jelinek, L., & Dostalek, P. (2015).** "Biotransformation and biological activities of hop flavonoids". Department of Biotechnology, Faculty of Food and Biochemical Technology, University of Chemistry and Technology, Prague.

**Kassem, M. (2014).** "Effect of temperature and humidity on development of *Tribolium castaneum*". Journal of Stored Products Research.

**Khan, M.S., et al. (2022).** "Total phenolic content and antioxidant properties of *Echium vulgare* L. leaves and flowers". Journal of Applied Phytochemistry, 58(3), 245-253.

**Khambalee, K., & Ree, T.R. (2001).** "Tanins: classification and definition". Journal of Royal Society of Chemistry, 18, 641-649.

**Khoddami, A., Meredith, A.W., & Thomas, H.R. (2013).** "Techniques for analysis of plant phenolic compounds". Molecules, 18, 2328-2375.

**Klejdus, B., Lojkoval, Plaza, M., Snoblova, M., & Sterbova, D. (2010).** "Technique avec trait d'union pour l'extraction et la détermination des isolavones dans les algues : extraction de liquide supercritique assistée par ultrasons suivie d'une chromatographie rapide avec spectrométrie de masse en tandem". Journal of Chromatography, 1217, 7956-7965.

**Klemow, K.M., Clements, D.R., Threadgill, P.F., & Cavers, P.B. (2002).** "La biologie des mauvaises herbes canadienne". Revue Canadienne de Phytochimie, 116, 235-248.

**Koppula, S. (2018).** "Biotechnological approaches for the improvement of medicinal plants". Phytochemistry Reviews, 17, 865-882.

## Références bibliographique

---

**M.J. KO, Cheigh, C.I., & Chung, M.S. (2014).** "Relationship analysis between flavonoids structure and subcritical water extraction (SWE)". *Food Chemistry*, 143, 147-155.

**Mabberley, D.J. (1997).** *The Plant Book: A Portable Dictionary of the Higher Plants*. Cambridge University Press, 2nd édition, 265-266.

**Macheix, J.J., Fleurier, A., & Jay-Allemand, C. (2005).** "Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique". Ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, pp. 4-5.

**Meznia, F., Slamaa, A., Ksouri, R., Hamdaoui, G., Khoujaa, M.L., & Khaldi, A. (2018).** "Phenolic profile and effect of growing area on *Pistacia lentiscus* seed oil". *Food Chemistry*, 257, 206-210.

**Mojumder, S., Saha, S., & Kumar, A. (2021).** "Terpenes as potential insecticides: Mechanisms and applications". *Journal of Pest Science*, 94(2), 489-501.

**Mura, P., & Fadda, A.M. (2010).** "Solvent extraction of bioactive compounds from medicinal plants: A review". *Journal of Ethnopharmacology*, 132(1), 235-240.

**Myers, P., Espinosa, R., Parr, C., Jones, T., Hammond, G.S., & Dewex, T.A. (2016).** *The Animal Diversity Web* (online).

**Namin, F.R., Naseri, B., & Razmjou, J. (2018).** "Demographic studies of *Tribolium castaneum*". *Journal of Stored Products Research*.

**Paris, M., & Hurabielle, M. (1981).** *Abrégé de matière médicale « pharmacognosie » Tome 1, Generalities, Morphologies*. Ed. Masson, Paris, pp. 256-266.

**Patrick, Tshilenge, Djim Kanaral, & Bopaul Ilenda Muniengi. (2018).** "Effet insecticide des poudres de quelques plantes sur la conservation des semences de maïs contre les charançons *Sitophilus*". *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 1(2), 9-13.

**Perez-Jimenez, J., Neveu, V., Vos, F., & Scalbert, A. (2010).** "Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols: an application of the Phenol-Explorer database". *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(3), 112-120.

## Références bibliographique

---

**Piano, J.A., Sauri-Duch, E., & Perez, R.M. (2019).** "Essential oils from *Echium vulgare* L. (Boraginaceae) growing wild in Cuba". *Journal of Essential Oil Research*, 31(1), 13-16.

**R. Arnett, M. Thomas, & P. Skelton. (2020).** "Geographical distribution of *Echium vulgare*". *Journal of Botanical Research*, 20(2), 45-46.

**Ribéreau-Gayon, P. (1968).** Les composés phénoliques des végétaux. Édition Dunod, Paris, pp. 173-201.

**Sabatier, F. (2012).** "Détermination d'une dose efficace et d'une dose toxique de tanins condensés dans le contrôle des strongyloses digestives chez les caprins". Thèse pour obtenir le grade de docteur vétérinaire. Devant l'Université Paul-Sabatier, Toulouse.

**Saffidine, K. (2015).** "Etude analytique et biologique des flavonoïdes extraits de *Carthamus caeruleus* L. et de *Plantago major* L.". Thèse pour obtenir le diplôme de doctorat en sciences, Université Ferhat Abbas - Sétif.

**Sayah, K. (2021).** "Étude phytochimique et pharmacologique du potentiel antidiabétique des plantes *Cistus salviifolius* L. et *Cistus monspeliensis* L. du Maroc". Thèse de doctorat : Sciences du médicament, Université Mohammed V, Rabat.

**Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2005).** "Dietary polyphenols and the prevention of diseases". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(4), 287-306.

**Séguir-Cabanac, C., & Bentué-Ferrer, D. (2007).** "Les stérols végétaux". *Revue Francophone des Laboratoires*, 2007(394), 41-48.

**Séguir-Cabanac, C., & Bentué-Ferrer, D. (2007).** "Les stérols végétaux". *Revue Francophone des Laboratoires*, 2007(394), 41-48.

**Shin, J.E., Kim, J.M., Bae, E.A., et al. (2005).** "In vitro inhibitory effect of flavonoids on growth, infection and vacuolation of *Helicobacter pylori*". *Planta Medica*, 71(3), 197-201.

**Singleton, V.L., & Rossi, J.R. (1965).** "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid". *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144.

## Références bibliographique

---

- Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R.M. (1999).** "Analysis of total phenols and other oxidant substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent". *Methods Enzymol.*, 299, 152.
- Skourti, A., Kavallieratos, N.G., & Papanikalaou, N.E. (2019).** "Laboratory evaluation of development and survival of *Tribolium castaneum*". *Journal of Stored Products Research*.
- Sreeramoju, P., & Msk, P. (2016).** "Complete study of life cycle of *Tribolium castaneum* and its weight variations in the developing stages". Volume 6, Issue 2, Coden: P, Pajx\_Cas\_Usa.
- Stace, C. (2010).** *New Flora of the British Isles*. Cambridge University Press.
- Tabata, M., Mizukani, H., Nador, S., & Konoshima, M. (1975).** "Antimicrobial activity of *Lithospermum erythrizon callus cultures*". *Yakugaaku Zasshi*, 95, 1376-1379.
- Tanaka, S.T., Mayumi, T., Minoru, T., & Tabata, M. (1986).** "A comparative study of anti-inflammatory activities of the enantiomers shikonin and alkannin". *Journal of Natural Products*, 49, 466-469.
- Verpoorte, R., & Alfermann, A.W. (2000).** "Metabolic engineering of plant secondary metabolism". Edition El Khtwer Academic Publishers, London, pp. 1-29; 128-129.
- Walters, S.M., Heywood, V.H., Valentine, D.H., & Webb, D.A. (2020).** *Flora Europaea*. Cambridge University Press.
- Yao, L.H., Jiang, Y.M., Shij, Tomas-Barbaran, Datta, N., et al. (2004).** "Flavonoids in food and their health benefits". *Plant Foods for Human Nutrition*, 59, 113-122.
- Zunk, M. (2020).** "Antioxidant properties and reported ethnomedicinal use of the genus *Echium* (Boraginaceae)". *Antioxidants*, 9(8), 722.
- Zimmer, N., & Cordesse, R. (1996).** "Influence des tanins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants". *Productions Animales, Institut National de la Recherche Agronomiques*, 9(3), 167-179.

## Résumé

---

### Résumé :

*Echium vulgare* L., 1753, une plante médicinale de la famille des Boraginaceae, commune dans les régions méditerranéennes, présente un potentiel prometteur. Cette étude a visé à extraire et quantifier les polyphénols totaux des feuilles et des fleurs, ainsi qu'à évaluer leur activité bio-insecticide contre *Tribolium castaneum*. Les extraits méthanoliques ont donné un rendement de 6 % pour les feuilles et 14 % pour les fleurs. La teneur en polyphénols était de 4,75 mg d'équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait pour les fleurs, et de 5,75 mg pour les feuilles. La poudre de fleurs, à une dose de 6 g pour 50 g de semoule, a entraîné le taux de mortalité le plus élevé chez *Tribolium castaneum*. Ces résultats soulignent la richesse en composés bioactifs d'*Echium vulgare*, indiquant son potentiel en lutte biologique et dans d'autres applications thérapeutiques futures.

### Mots-clés :

*Echium vulgare*, *Tribolium castaneum*, polyphénols totaux, bio\_insecticide , composés bioactifs.

## Summary

*Echium vulgare* L., 1753, a medicinal plant from the Boraginaceae family, commonly found in Mediterranean regions, shows promising potential. This study aimed to extract and quantify the total polyphenols from the leaves and flowers, as well as evaluate their bio-insecticidal activity against *Tribolium castaneum*. Methanolic extracts yielded 6% from the leaves and 14% from the flowers. The polyphenol content was 4.75 mg gallic acid equivalents per gram of extract for the flowers and 5.75 mg for the leaves. The flower powder, at a dose of 6 g per 50 g of flour, resulted in the highest mortality rate in *Tribolium castaneum*. These findings highlight the richness of bioactive compounds in *Echium vulgare*, indicating its potential in biological control and future therapeutic applications.

### Keywords:

*Echium vulgare*, *Tribolium castaneum*, Total polyphénols, Bio\_insecticide, Bioactive compounds.