

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**

**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département des Sciences alimentaire**



# **Mémoire de fin d'études**

**En vue l'obtention du diplôme de Master en Science Alimentaire**  
**Spécialité : Sécurité Agroalimentaire Assurance Qualité**

**THEME**

**Caractéristiques des extraits phénoliques de deux plantes aromatiques ( *Menthe pulegium* et *Allium triquètrum* L.)  
provenant de la région de Tizi-Ouzou**

**Présenté par : DJAOUDI Thiziri**

**IBOURICHENE Ali**

*Soutenu devant le jury :*

<i>President:</i>	<i>Mr Cherfouh .R</i>	<i>MCA</i>	<i>UMMTO</i>
<i>Promoter:</i>	<i>Mr Faci .M</i>	<i>MAB</i>	<i>UMMTO</i>
<i>Examinatrice:</i>	<i>Mm Taleb .K</i>	<i>MCA</i>	<i>UMMTO</i>

**Promotion: 2023-2024**

## *Remerciement*

*On tient à remercier Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la patience, le courage et la volonté de faire cet humble travail. Au terme de cette étude devant vous, on tiens à remercier notre promoteur, Mr faci M., d'avoir accepté de nous encadrer pour son suivi et ses précieux conseils, en plus du temps précieux qu'il nous a consacré.*

*On exprime également notre profonde gratitude à Mr. saddoudi Le chef du département des sciences alimentaire pour avoir accepté mon travail d'étude et son soutien continu.*

*Nous remercions Mr cherfouh R., qui a accepté de présider le jury*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à Mm taleb M. d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

*Au terme de ce travail, on tient à remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, et tous ceux qui nous ont aidé à réaliser ce travail.*

*DJAOUDI Thiziri et Ibourichene Ali*

## **Tables des Matières**

### **Liste des figures**

### **Introduction1**

## **Chapitre I :Plante aromatiques endémiques**

I.1 plantes aromatiques.....	2
I.2 plantes aromatiques endémiques.....	2
I.3 caractéristiques botaniques des plante .....	s3
I.3.1 Menthe pulegium .....	3
I.3.1.1 caractéristiques botaniques .....	3
I.3.1.3 Propriétés médicinales de la menthe pulegium.....	5
I.3.1.4 Utilisations anciennes la menthe pouliot dans les médecines traditionnelles locales .....	5
I.3.2 L'Ail Triquétre.....	7
I.3.2.1Définition de l'ail triquétre .....	7
I.3.2.2Caractéristiques botaniques.....	7
I.3. 2.2 Propriétés médicinales de l'Ail Triquétre .....	8
I.3.2.3Utilisations anciennes l'Ail Triquétre dans les médecines traditionnelles locales ....	8
I.4 conservation et préservation des espèces de plante aromatiques endémiques.....	9
I.5 Huilles essentielles .....	9
I.5.1 Définition et caractirictique .....	9
I.5.2 Composition chimique .....	9

## **Chapitre II:Les composés phénoliques**

II.1 Généralité des composés phenoliqueS.....	11
II.2 Classification des composés phénoliques .....	11

II.3 Propriétés des composés phénoliques.....	16
II.4 Rôle des composés phénoliques .....	16
II.5 mportance des méthodes d'extraction .....	17
II.6 Effets bénéfiques des composés phénoliques sur la santé .....	17
II.7 Effets bénéfiques des composés phénoliques sur la santé .....	18

### **Chapitre III: Matériel et Méthode**

III.1 Matériel végétale .....	19
III.1.1 Description de la région de Michelet .....	19
III.1.2 Description de la région de Mekla .....	20
III.1.3 Préparation des échantillons.....	21
III.2 Préparation des extraits .....	21
III.3. Extraction et dosage .....	23
III.3.1 Phénols totaux .....	23
III.3.1.1 Définition .....	23
III.3.1.2 Rôle dans la plante .....	23
III.3.1.4 Dosage des Phénols totaux .....	23
III.3.2 Ortho-Diphénols.....	24
III.3.3 Flavonoïdes .....	25
III.4 Dosage des pigments chlorophylles	26

### **Chapitre IV : Résultat et Discussion**

IV.1 taux des phénols totaux .....	27
IV.2 Taux de Flavonoïdes .....	28

IV.3 Taux des orthodiphinoles .....	29
IV.4 Taux de chlorophylle a.....	30
IV.5 Taux de chlorophylle b.....	32
IV.6 Taux de chlorophylle totale.....	33
<b>Conclusion.....</b>	<b>34</b>

# Liste des Figures

**Figure 01:** Menthe arvensis

**Figure 02:** les différentes parties Menthe arvensis

**Figure 03:** : L'ail Triquètre

**Figure04:** les différentes parties L'ail

**Figure 05:** la localisation de Michelet

**Figure 06:** la localisation de Chaïb

**Figure 07** Processus de séchage dans une étuve

**Figure 08 :** Schéma synthétisant les différentes étapes d'extraction des composés phénoliques à partir de l'ail triquètre

**Figure 09:** Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des phénols totaux (mg/g)

**Figure 10 :** Courbe d'étalonnage de Tyrosol pour le dosage des ortho-diphénols (mg/g)

**Figure 11 :** Courbe d'étalonnage de quercétine pour le dosage des flavonoïde (mg/g)

**Figure 12:** le taux des phénols totaux dans les deux plantes

**Figure 13:** le taux des flavonoïdes des deux plantes

**Figure 14:** le taux des orthodiphinoles dans les deux plantes

**Figure 15:** le taux de chlorophylle a dans les deux plantes

**Figure 16:** le taux de chlorophylle b dans les deux plantes

**Figure 17:** le taux de chlorophylle totale dans les deux plantes

## Introduction

Les plantes aromatiques et médicinales constituent un patrimoine naturel inestimable pour l'Algérie, pays riche en biodiversité végétale endémique. Parmi ces ressources précieuses figurent la menthe pouliot (*Mentha pulegium*) et l'ail triquètre (*Allium triquetrum* L.), deux espèces aromatiques autochtones revêtent une importance considérable dans le patrimoine traditionnel et naturel algérien. Leur utilisation traditionnelle s'est transmise de génération en génération, perpétuant un savoir-faire ancestral lié à l'exploitation durable de ces ressources végétales (Franchomme et al., 1990).

La menthe pouliot, communément appelée « felgou » en Algérie, est une plante herbacée vivace profondément ancrée dans la tradition médicinale et culinaire des régions méditerranéennes. Elle a toujours constitué par ses multiples vertus thérapeutiques et son arôme distinctif, un remède naturel incontournable pour les populations locales (Dastmalchi et al., 2007). De nos jours, l'utilisation de la menthe pouliot plus en plus importante dans les industries agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique, en raison de sa richesse en composés bioactifs bénéfiques pour la santé (McKay et Blumberg, 2006).

Quant à l'ail triquètre, connu sous le nom de « vivras » (ail de montagne), cette plante bulbeuse sauvage est profondément enracinée dans l'histoire des civilisations méditerranéennes, où elle a été exploitée depuis l'Antiquité pour ses propriétés médicinales et son goût caractéristique (Lanzotti, 2006). Aujourd'hui, l'ail triquètre connaît un regain d'intérêt dans les domaines de la recherche scientifique et de l'industrie alimentaire, grâce à sa teneur élevée en composés soufrés, flavonoïdes et autres molécules bioactives aux vertus antimicrobiennes, antioxydantes et anti-inflammatoires reconnues (Rattanachaikunsopon et Phumkhachorn, 2009).

L'extraction des composés bioactifs à partir des matières végétales telles que l'ail triquètre et la menthe des champs, en particulier les composés phénoliques, est une étape cruciale dans la séparation et l'identification de ces molécules précieuses. Par conséquent, De nombreuses techniques d'extraction ont été développées et optimisées afin d'améliorer les rendements et la teneur en composés phénoliques des extraits végétaux (Bonnaillie et al., 2012).

Dans ce contexte, la présente étude vise à identifier l'influence de l'altitude sur la composition biochimique sur deux plantes aromatiques qui est l'ail triquètre et de *la menthe pulegium*

Ce travail est compartimenté en quatre chapitres scindés en deux parties :

- La première partie (synthèse bibliographique), le premier chapitre traite les Plantes aromatiques alors que le deuxième, aborde les Composés bioactif.
- La deuxième partie, où le troisième chapitre aborde le matériel et méthodes, alors que le quatrième est consacré à la présentation et au traitement des résultats ainsi que leur discussion.

Notre travail est couronné par une conclusion générale.

# **Chapitre I**

## **Plantes aromatiques**

## **I.1 Plantes aromatiques**

Les plantes aromatiques sont des végétaux cultivés pour leurs propriétés odorantes et gustatives. Elles sont largement utilisées en cuisine pour parfumer et assaisonner les plats, mais aussi en phytothérapie pour leurs vertus médicinales (Sarker, et *al.*, 2013).

Parmi les plantes aromatiques les plus courantes, on trouve : le basilic, le thym, le romarin, la menthe, le persil et l'ail triquétre. La culture des plantes aromatiques est relativement facile, même pour les débutants en jardinage. Beaucoup d'entre elles peuvent être cultivées en pot sur un balcon ou un rebord de fenêtre, ce qui les rend accessibles même en milieu urbain (Anwar,2020).

L'utilisation de plantes aromatiques fraîches peut grandement améliorer la saveur des plats tout en réduisant la nécessité d'ajouter du sel ou des exhausteurs de goût artificiels (Hussain,2006).

## **I.2. Plantes aromatiques endémiques**

Les plantes aromatiques endémiques représentent un patrimoine naturel précieux en raison de leur biodiversité unique. Considérées comme de véritables trésors naturels qui poussent uniquement dans certains pays du monde, ces plantes sont adaptées aux conditions climatiques, au sol et à l'environnement de ces régions particulières (Bousbia, 2011).

Elles sont souvent appréciées pour leurs feuilles aromatiques aux parfums distinctifs et leur utilisation culinaires et médicinales est favorisées grâce aux propriétés gustatives et thérapeutiques qu'elles présentent . Toutes fois, et en raison de leur caractère endémique, ces plante aromatiques-sont parfois menacées en raison de la déforestation, de la perte d'habitat et d'autres risques environnementaux (Henriette et Randrianjohany, 1996).

## **I.3 Caractéristiques botaniques**

La description botanique des plantes comprend différents éléments permettant d'identifier et de caractériser une espèce végétale. Dans cette perspective, nous détaillerons les caractéristiques de deux types de plantes : la Menthe Pouliot et l'Ail Triquétre (Mélusine, 2024).

### I.3.1 Menthe arvensis

*Mentha pulegium*, également connue sous le nom de menthe pouliot, est une plante herbacée vivace aromatique de la famille des Lamiacées, elle pousse généralement dans les endroits humides, les prés, les champs cultivés, les fossés et les bords de route (Figure1) (Mélusine, 2024).

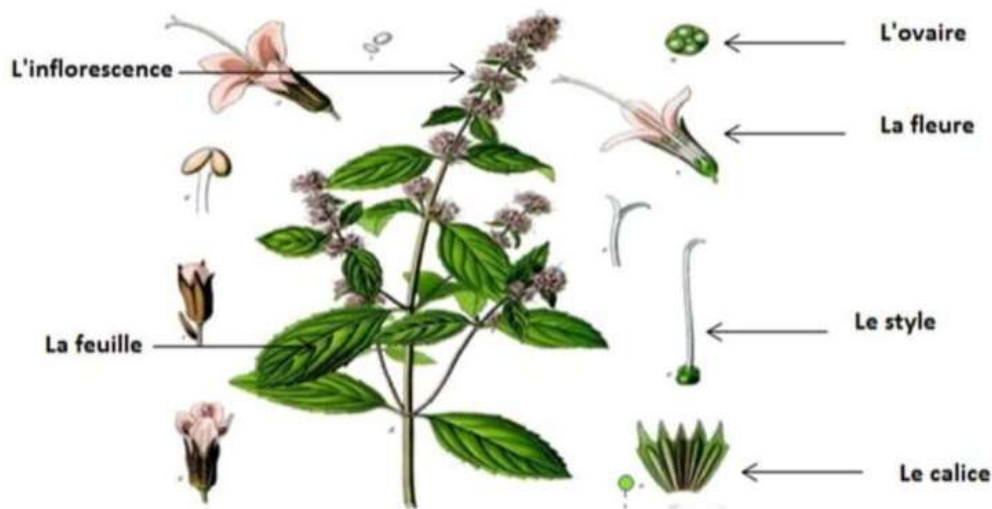


**Figure 1 :** *Mentha pulegium*

#### I.3.1.1 caractéristiques botaniques:

Le pouliot (*Mentha pulegium*) est une plante herbacée de la famille des Lamiacées, originaire d'Europe, qui peut atteindre une hauteur de 20 à 60 cm. Ses feuilles sont opposées, ovales, dentées et velues, de couleur vert foncé. Les fleurs sont petites, de couleur rose à pourpre, regroupées en grappes compactes à l'extrémité des tiges et attirent de nombreux insectes pollinisateurs. La tige de la plante est carrée, velue, ramifiée, duveteuse et ramifiée. (Figure 1) (Hachi et al., 2015).

La Menthe possède des racines rampantes et fibreuses, contribuant à sa capacité à couvrir de larges surfaces. Les feuilles et les tiges dégagent une odeur fraîche et mentholée, attribuable à la présence de menthol et d'autres composés terpéniques, tels que la menthone et le menthyl acétate, dans ses huiles essentielles. Au goût, la *Mentha pulegium* est mentholée et rafraîchissante. Lors de la fructification, cette plante est également présente dans de nombreuses autres régions du monde, où elle pousse dans les prairies, les champs, les lisières de bois et les lieux humides, préférant les sols frais, légèrement acides à neutres (Cédric et al., 2019).



**Figure 2** : les différentes parties de la *Menthe pulegium* (Goudjil, 2014).

### I.3.1.2 Propriétés médicinales de la Menthe pulegium

La menthe pouliot possède plusieurs propriétés médicinales principalement dues à sa richesse en huiles essentielles contenant des composés terpéniques comme le menthol, la menthone et le menthyl acétate (Hussain et *al.*, 2013; Jang et *al.*, 2018). C'est une plante aux multiples vertus thérapeutiques, offrant un large éventail de bienfaits pour la santé, elle possède des propriétés antioxydants grâce à ses flavonoïdes, ainsi que des effets antimicrobiens et antifongiques contre divers pathogènes.

La plante démontre également des propriétés anti-inflammatoires, utiles dans le traitement de troubles comme l'arthrite, et des effets analgésiques pour soulager la douleur. Son activité antibactérienne en fait un remède potentiel contre certaines infections. Elle est aussi reconnue pour ses propriétés digestives et antispasmodiques, grâce à son action relaxante sur les muscles lisses du système digestif, la rendant efficace contre les ballonnements, les flatulences, les crampes abdominales et les spasmes intestinaux. Ces caractéristiques font de la Menthe pouliot une plante polyvalente avec des applications potentielles tant dans la médecine traditionnelle que dans le développement de nouveaux traitements (Jang et *al.*, 2018).

### **I.3.1.3 Utilisations anciennes dans les médecines traditionnelles locales**

-La menthe pouliot était utilisée par les Amérindiens pour soulager les maux d'estomac, les migraines et les fièvres. Ils en faisaient des infusions ou des cataplasmes pour ses propriétés anti-inflammatoires et analgésiques (**Belaiche & Bret, 1982**) .

-En Europe, la menthe pouliot était utilisée au Moyen Âge pour soigner les maux de tête, les troubles digestifs et les problèmes respiratoires. Elle était également réputée pour ses vertus stimulantes et tonifiantes (**Bourgeois, 2013**).

-Dans la médecine populaire russe, la menthe pouliot était utilisée pour soulager les douleurs articulaires et musculaires, ainsi que les troubles du sommeil. On l'utilisait en infusion ou en cataplasme pour ses propriétés anti-inflammatoires et relaxantes (**Cédric et al., 2019**).

-La menthe pouliot était également utilisée en Inde pour ses propriétés antispasmodiques et carminatives. On en faisait des infusions pour soulager les problèmes digestifs et les ballonnements (**Galtier-Boissière, 1917**).

Enfin, la menthe pouliot était également utilisée en cosmétique pour ses propriétés purifiantes et tonifiantes. On en faisait des lotions ou des décoctions pour nettoyer la peau et resserrer les pores.

## **I.3.2 Ail triquétre**

### **I.3.2.1 Définition de l'ail triquétre**

L'ail triquétre, également connu sous le nom scientifique d'*Allium triquetrum* (Figure 3), est une plante herbacée de la famille des Amaryllidacées, originaire du bassin méditerranéen, plus précisément : du sud de l'Europe (notamment de la péninsule ibérique, du sud de la France, de l'Italie), de l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie) et des îles méditerranéennes (comme la Corse, la Sardaigne). (Mélusine, 2024).



**Figure 3 :** *Allium triquetrum* (Emma, 2023).

### I.3.2.2 Caractéristiques botaniques

L'ail triquetrum est une plante caractérisée par des feuilles étroites et allongées, atteignant une longueur de 20 à 40 cm, de forme triangulaire marquée par trois angles distincts, d'où son nom triquetrum signifiant "trois côtés". Les tiges de cette plante sont fines, creuses et portent des grappes de fleurs blanches en forme d'étoile (Figure 4). Son odeur est forte, piquante et très aromatique (Louvain et Christophe, 2023).



**Figure 4:** les différentes parties de l'ail triquetrum.

Les fleurs sont généralement blanches, blanc verdâtre ou roses, groupées en ombelles. Après la floraison, la plante produit des fruits sous forme de capsules contenant de petites graines. En termes d'habitat, l'ail triquetre préfère les sols humides et bien drainés. Il se développant particulièrement dans les prairies, les marais et le long des cours d'eau. Cette plante présente un intérêt écologique et botanique important, offrant des possibilités dans divers domaines de la recherche scientifique, notamment en écologie végétale et en phytochimie (Rodolphe, 2005).

### I.3.2.3 Propriétés médicinales de l'Ail Triquétre :

L'ail triquétre (*Allium triquetrum*) possède des propriétés médicinales prometteuses grâce à ses composés soufrés et flavonoïdes, qui lui confèrent des effets, anti-inflammatoires, antifongiques et antimicrobiens. Il pourrait aider à réguler la glycémie et protéger contre le stress oxydatif, offrant des avantages pour la santé métabolique et la prévention des maladies

chroniques. Pour maximiser ses bienfaits, l'utilisation des huiles essentielles est recommandée. Cependant, son utilisation doit être encadrée pour éviter les effets indésirables, et il est conseillé de consulter un professionnel de santé (Hachi et *al.*, 2015).

#### **I.3.2.4 Utilisations en médecine traditionnelle**

*Allium triquètrum* est une plante aux nombreuses utilisations médicinales ancestrales, témoignant de son importance dans diverses traditions médicales à travers le monde. En médecine chinoise traditionnelle, elle était traditionnellement prescrite pour traiter les troubles digestifs, les infections respiratoires, et comme tonique général pour renforcer le système immunitaire (Corea et *al.*, 2003). En Inde, dans le cadre de la médecine ayurvédique, l'ail triquètre était utilisé pour ses propriétés bénéfiques contre les problèmes de digestion, les infections bactériennes et virales, ainsi que pour les troubles cardiovasculaires (Vishnu, 2022). En Amérique latine, notamment au Mexique, cette plante était employée pour lutter contre les vers intestinaux, les infections fongiques, et traiter les affections respiratoires telles que les rhumes et les toux, tout en soulageant les maux d'estomac, les nausées, et les indigestions (Moerman, 1998).

En Afrique, spécifiquement en Algérie, les Chaouias utilisaient un mélange de bulbes d'ail triquètre et de miel pour traiter les maux de gorge et les angines. Il est utilisé aussi que pour ses effets bénéfiques sur les problèmes respiratoires et les douleurs articulaires (Chermat et Selami, 2020). En Europe, cette plante était réputée pour ses vertus préventives contre les maladies cardiovasculaires et l'hypertension, ainsi que pour ses applications curatives contre les infections, les brûlures, et l'eczéma. Elle était également consommée pour soulager les troubles digestifs tels que les maux d'estomac et les flatulences (Rieder et Zanetti, 2012).

#### **I.4 Préservation des espèces endémiques**

La conservation des plantes aromatiques endémiques est un enjeu crucial pour la préservation de la biodiversité mondiale. Pour protéger les plantes aromatiques endémiques, il est essentiel d'identifier les espèces menacées et de mettre en place des mesures de conservation adaptées. Cela implique de protéger les habitats naturels de ces plantes en limitant la déforestation, la pollution et la destruction des écosystèmes (Imbert et *al.*, 2021). La culture durable de ces plantes peut également aider à prévenir la surexploitation des populations sauvages. Sensibiliser et éduquer le public sur l'importance de la conservation de ces espèces peut encourager les gens à agir pour les protéger (Raffin, 2005).

De plus, des programmes de recherche peuvent fournir des informations précieuses pour mieux comprendre ces espèces et mettre en place des stratégies de conservation efficaces. Il est également important d'établir des politiques, lois et réglementations nationales pour la protection de ces espèces. (Corlett et *al.*, 2023).

## **1.5 Huiles essentielles**

### **1.5.1 Définition et caractéristiques**

Une huile essentielle représente un liquide concentré et complexe obtenu à partir de plantes aromatiques ou d'une partie spécifique de la plante (comme la fleur, la feuille, le bois, la racine, l'écorce, le fruit, etc.) par distillation à la vapeur d'eau. Elle consiste essentiellement en l'essence distillée de la plante aromatique, renfermant approximativement une centaine de molécules terpéniques et aromatiques, dotées de vertus bénéfiques pour la santé au quotidien. Elle possède des caractéristiques distinctes telles que leur odeur, leur composition chimique variée et leurs propriétés thérapeutiques. Leur consistance, volatilité, couleur et solubilité varient en fonction de la plante d'origine et du processus d'extraction. (Shopify, 2023).

### **1.5.2 Composition chimique**

La composition chimique d'une huile essentielle est un facteur clé qui détermine ses propriétés et son utilisation. Elle contient des substances complexes composées de différentes molécules aromatiques, dont les proportions varient en fonction de la plante d'origine, des conditions environnementales et des opérations de traitement imposées pour l'extraction. Les molécules aromatiques sont très odorantes et peuvent être classées en différentes catégories, telles que les terpènes, les alcools, les aldéhydes, les carbures, les cétones, les coumarines, les esters, les éthers, les lactones, les oxydes, les phénols et les phthalides (Ngom et *al.*, 2014).

# **Chapitre II**

## **Composés bioactifs**

## **II.1 Généralité sur composés phénoliques**

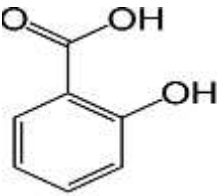
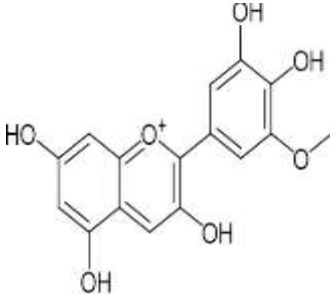
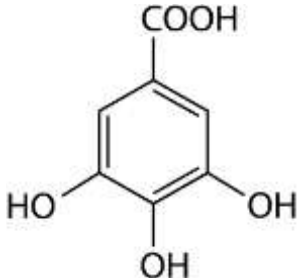
Les composés phénoliques sont des molécules organiques très répandues dans le règne végétal. Ils constituent la troisième grande famille chimique de la phyto-aromathérapie, caractérisée par la présence de groupements phénoliques (Labbani, 2021). Ces composés sont issus du métabolisme secondaire des plantes et possèdent diverses propriétés, notamment des effets antioxydants. Toute fois, ces substances peuvent être toxiques pour la santé humaine en fonction de la dose administrée (Macheix et *al.*, 2005).

La composition spécifique des composés phénoliques varie considérablement d'une plante à une autre et entre les différents organes, influencée par les conditions de culture, les méthodes d'extraction et le climat local. Cette variabilité structurelle confère aux polyphénols des propriétés biologiques et pharmacologiques diversifiées, bénéfiques tant pour la plante que pour la santé humaine. Ainsi, les aliments riches en ces composés, comme les fruits et légumes, sont recommandés pour une alimentation saine et équilibrée (Fleck, 2022; Crozier et *al.*, 2014).

## **II.2 Classification des composés phénoliques**

Les composés phénoliques regroupent un vaste ensemble de substances chimiques comprenant au moins un noyau aromatique et un ou plusieurs groupes hydroxyle. Les composés phénoliques sont des molécules omniprésentes dans le règne végétal, représentant le groupe de métabolites secondaires le plus large et le plus répandu (Hafsa et *al.*, 2018). Ils se divisent en plusieurs catégories illustrées dans le tableau suivant :

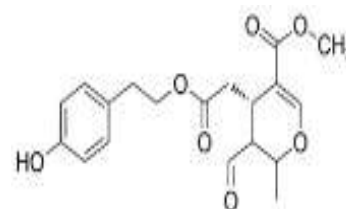
**Tableau 1:** les composés phénoliques

Les composés phénoliques	La description	La molecule
Acides phénoliques	<p>Les acides phénoliques sont des composés organiques contenant un noyau aromatique (phénol) et un groupe carboxylique. Ils sont présents dans de nombreuses plantes, sont classés principalement en acides benzoïques et acides cinnamiques.</p>	
Flavonoïdes	<p>Les flavonoïdes sont une classe de composés polyphénoliques présents dans les plantes, sont composés de deux groupes phénoliques reliés par un pont de trois atomes de carbone, formant une structure de base de C6-C3-C6.</p>	
Tanins	<p>Les tanins sont des composés phénoliques présents dans de nombreuses plantes. Ils se caractérisent par leur capacité à se lier aux protéines et à</p>	

	<p>d'autres biomolécules, ce qui leur confère des propriétés astringentes.</p>	
Lignanes	<p>Les lignanes sont une classe de composés phénoliques présents dans les plantes. Ils sont formés par la liaison de deux unités de phénylpropanoïdes, généralement par un lien <math>\beta</math>-<math>\beta'</math>. Ces composés se trouvent principalement dans les graines, les grains, les légumes, et certains fruits.</p>	
Alcools phénoliques	<p>Les alcools phénoliques sont des composés organiques qui contiennent un groupe hydroxyle (-OH) directement lié à un anneau aromatique (phénol). Ils possèdent à la fois des propriétés d'alcools et de phénols, ce qui leur confère des caractéristiques antioxydantes. Ces composés sont présents dans de nombreux végétaux et participent à la défense des plantes contre les stress biotiques et abiotiques.</p>	

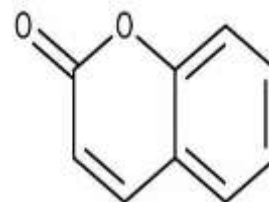
### Secoiridoïdes

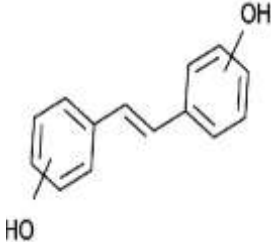
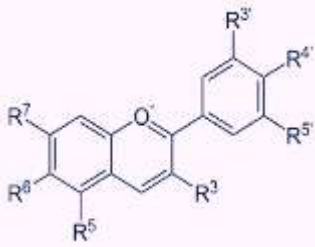
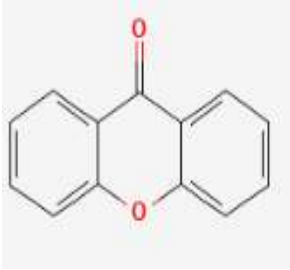
Les secoiridoïdes sont des composés bioactifs présents principalement dans les plantes de la famille des Oleaceae, comme l'olivier. Ils se caractérisent par une structure chimique dérivée des iridoïdes, mais avec une rupture de cycle qui leur confère des propriétés uniques. Les secoiridoïdes sont reconnus pour leurs effets bénéfiques sur la santé, notamment leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et cardioprotectrices.

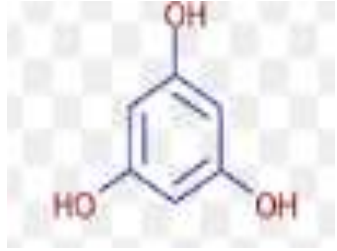


### Coumarines

Les coumarines sont des composés organiques naturels présents dans de nombreuses plantes, ainsi que dans certains champignons et bactéries. Elles se caractérisent par une structure chimique de base de type benzopyrone, comprenant un noyau coumarine constitué d'un cycle benzénique fusionné à un hétérocycle lactone (gamma-lactone).



Stilbènes	<p>Les stilbènes sont une classe de composés phénoliques présents dans diverses plantes, notamment dans les raisins, les arachides et certaines espèces de bois. Ils se caractérisent par une structure chimique comprenant deux groupes phénol reliés par une double liaison (C6-C2-C6). Les stilbènes sont connus pour leurs propriétés antioxydantes</p>	
Anthocyanes	<p>Les anthocyanes sont des pigments flavonoïdes colorés présents dans les plantes. Ils protègent contre les UV, attirent les pollinisateurs, et sont étudiés pour leurs effets antioxydants et bénéfiques sur la santé humaine.</p>	
Xanthones	<p>Les xanthones sont des composés naturels présents principalement dans certaines plantes tropicales, tels que le mangoustan. Ils sont connus pour leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, et sont étudiés pour leur potentiel bénéfique pour la santé, y compris leurs possibles effets sur les maladies inflammatoires et le</p>	

	vieillessement cellulaire.	
Phloroglucinols	Les phloroglucinols sont des composés phénoliques présents dans diverses plantes, algues et microorganismes. Ils se caractérisent par une structure chimique comprenant trois groupes hydroxyles (-OH) liés à un noyau benzénique.	

### II.3 Propriétés des composés phénoliques

Les composés phénoliques possèdent diverses propriétés bénéfiques pour la santé. Ils sont étudiés de manière approfondie afin de les utiliser comme des thérapies naturelles pour différentes affections médicales (Cory et *al.*, 2018).

### II.4 Rôle des composés phénoliques

Les composés phénoliques jouent un rôle crucial dans la physiologie des plantes, en agissant comme des métabolites secondaires végétaux impliqués dans divers processus. Ils sont essentiels à la défense des plantes contre les stress biotiques et abiotiques, à la communication cellulaire, à la pigmentation et à la biotransformation des xénobiotiques. Ils peuvent également avoir des propriétés anti-inflammatoires, antibactériennes et antifongiques, aidant ainsi les plantes à se protéger contre les infections (Nicolas et *al.*, 2013).

Les phénols jouent également un rôle important dans la protection et la communication chimique entre les plantes contre les herbivores, les insectes pollinisateurs, les bactéries, les parasites, les infections pathogènes, les radiations UV, et contribuent au renforcement des parois cellulaires, assurant la rigidité de la plante. Certains composés phénoliques, comme les flavonoïdes, peuvent moduler directement l'expression des gènes au

niveau cellulaire, ce qui démontre leur importance dans la régulation des processus biologiques chez les plantes (Nicolas et *al.*, 2013).

## **II.5 L'importance des méthodes d'extraction**

L'importance de la méthode d'extraction sur la teneur des extraits en composés phénoliques est cruciale. Le choix de la méthode peut significativement influencer la quantité et la qualité des composés phénoliques extraits, affectant ainsi leur biodisponibilité et leurs propriétés bioactives. Une méthode d'extraction appropriée peut maximiser le rendement et préserver l'intégrité des composés phénoliques, tandis qu'une méthode inadaptée peut conduire à leur dégradation ou à une extraction incomplète (Khoddami et *al.*, 2013).

## **II.6 Effets bénéfiques des composés phénoliques sur la santé**

Les composés phénoliques jouent un rôle crucial en nutrition et en médecine préventive, grâce à leurs effets bénéfiques diversifiés sur la santé humaine. Leurs propriétés antioxydantes sont particulièrement notables, permettant de neutraliser les radicaux libres et de réduire le stress oxydatif, contribuant ainsi à la prévention de maladies chroniques. De plus, ces composés présentent des effets anti-inflammatoires importants, réduisant l'inflammation chronique associée à des pathologies telles que l'arthrite et les maladies inflammatoires de l'intestin (Del Rio et *al.*, 2013).

Au niveau cardiovasculaire, les composés phénoliques exercent des effets cardioprotecteurs en améliorant la santé des vaisseaux sanguins, en réduisant l'inflammation et en diminuant le risque de formation de caillots sanguins. Ils démontrent également des propriétés neuroprotectrices, protégeant les cellules nerveuses contre les dommages oxydatifs et contribuant ainsi à la prévention de maladies neurodégénératives comme Alzheimer et Parkinson (Boizot, 2006). En outre, des études récentes soulignent le potentiel anticancéreux de certains composés phénoliques, capables d'inhiber la croissance tumorale et d'induire l'apoptose des cellules cancéreuses. Les composés phénoliques jouent également un rôle bénéfique dans le métabolisme du glucose et des lipides, ce qui pourrait être bénéfique dans la prévention et la gestion du diabète de type 2 et de l'obésité (Zhou et *al.*, 2016).

## **1.7 Utilisations traditionnelles des extraits phénoliques dans la médecine naturelle**

Les plantes aromatiques occupent une place centrale dans les traditions culinaires et médicinales mondiales depuis des millénaires, grâce à leur riche contenu en composés phénoliques aux propriétés remarquables. Ces molécules bioactives offrent des effets antioxydants et anti-inflammatoires notables, contribuant ainsi à la protection cellulaire contre le stress oxydatif et à la prévention de diverses maladies chroniques. En cuisine, ces plantes ne se contentent pas d'ajouter saveur et arôme aux plats, elles enrichissent également l'alimentation en micronutriments essentiels et en composés bénéfiques pour la santé digestive, tout en agissant comme agents naturels de conservation alimentaire (Boizot, 2006).

En phytothérapie, elles sont utilisées sous différentes formes pour traiter une gamme étendue de troubles, des problèmes digestifs aux affections respiratoires. L'aromathérapie exploite quant à elle leurs huiles essentielles pour leurs bienfaits thérapeutiques, tandis que l'industrie cosmétique les incorpore dans des soins de peau. Cette utilisation variée et polyvalente des plantes aromatiques reflète une longue tradition de reconnaissance des bienfaits à la fois gustatifs et thérapeutiques, enrichissant ainsi notre alimentation et notre bien-être global tout en continuant à être explorée et validée par la recherche moderne (Tapsell et *al.*, 2006).

## IV.1 Matériel végétale

Les plantes aromatiques examinées dans cette étude sont la menthe des champs (*Mentha arvensis*) et l'ail triquètre (*Allium triquètre*). Ces deux plantes ont été récoltées à pleine maturité dans deux zones distinctes de la wilaya de Tizi Ouzou : l'une dans la région de Michelet et l'autre à Mekla, le 5 mars 2024.

### IV.1.1 Description de la région de Michelet

Michelet est une commune de la région de Kabylie, Située entre 600 et 1800 mètres d'altitude sur le versant nord du massif montagneux du Djurdjura. Elle se situe à 45 km au sud-est de Tizi-Ouzou, à 12 km au sud-est de Fort-National et à 95 km au nord-est de Bouira. Cette localité montagneuse bénéficie d'un climat méditerranéen typique avec des hivers froids et humides, et des étés chauds et secs. Les sols de la région sont principalement composés des endosols en majorité, des sols minéraux bruts d'érosion avec quelques zones rocailleuses et de sols calcimagnésiques. La végétation est caractérisée par des forêts de chênes lièges et chênes verts, ainsi que par des maquis méditerranéens. On y trouve également des plantes médicinales telles que le romarin, le thym, la lavande, l'eucalyptus, le fenouil, la menthe poivrée, la sauge et le serpolet ( Zanetti, 2012).

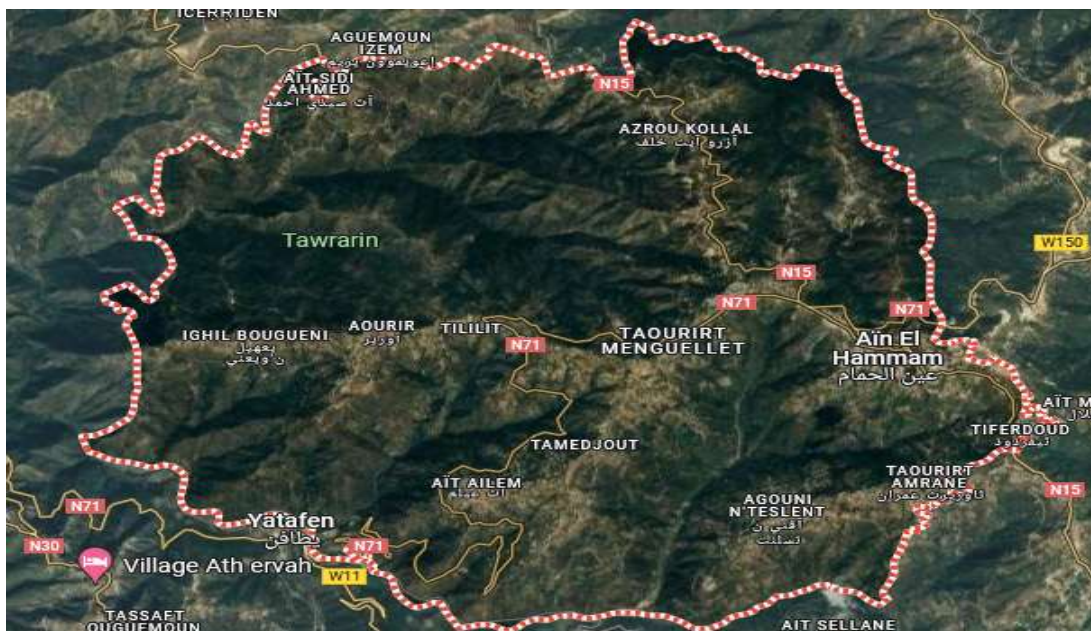


Figure 05: la localisation de Michelet (Google Maps, 2024)

#### IV.1.2 Description de la région de Mekla

La région de Mekla se situe à une altitude moyenne de 500 mètres dans les montagnes de la Kabylie, à une quinzaine de vingtaines de kilomètres au sud de Tizi-Ouzou. Le relief y est accidenté, composé de massifs montagneux entrecoupés de profondes vallées encaissées. Le climat de cette région est de type méditerranéen montagnard, avec des hivers frais et neigeux et des étés chauds et secs. Les sols sont assez variés selon les zones, avec une majorité des sols alluviaux mais aussi de nombreuses zones rocheuses et des affleurements rocheux, témoins de la nature géologique montagnaise des lieux. La végétation naturelle est dominée par la forêt dense de chênes verts et de chêne-liège, avec un sous-bois composé de maquis sempervirents denses comme lentisques, cistes, lavandes, etc. On y trouve également de nombreuses plantes aromatiques et médicinales, dont le romarin, le thym, la lavande, l'eucalyptus, le sumac des corroyeurs, le myrte, le calament ou encore la sauge sclarée. Ces plantes aux vertus reconnues sont valorisées depuis longtemps dans la pharmacopée traditionnelle locale (Bellil, 2004).



**Figure 06:** la localisation de Chaïb (Google Maps, 2024)

### IV.1.3 Préparation des échantillons

L'échantillonnage a été effectué durant la saison printanière de l'année 2024. Les plantes aromatiques sélectionnées pour cette étude sont la menthe des champs (*Mentha pulegium*) et l'ail triquètre (*Allium triquètre*). Ces deux plantes ont été récoltées à pleine maturité dans deux zones distinctes de région de Tizi Ouzou : l'une dans la commune de Michelet et l'autre à Mekla.



**Figure 07** : Processus de séchage

La cueillette est effectuée d'une manière minutieuse avec le plus grand soin, en veillant à préserver l'intégrité des plantes. Les parties récoltées sont ensuite acheminées vers un laboratoire où elles ont subi un processus de séchage contrôlé dans une étuve à une température précise de 40 °C. Une fois séchés, les plantes sont broyées pour obtenir une poudre fine et homogène. Cette étape était cruciale afin d'augmenter la surface de contact entre le solvant et les composés d'intérêt pour faciliter l'extraction. Enfin, la poudre obtenue est conservée dans des tubes adaptés, bien fermés à l'abri de la lumière et de l'humidité afin d'éviter toute détérioration de l'échantillon.

### IV.2 Préparation des extraits

Afin d'extraire les composés phénoliques contenus dans les deux espèces végétales à analyser (*Mentha pulegium* et *Allium triquètre*), nous avons opté pour la méthode d'extraction par ultrasons en utilisant comme solvant organique de l'éthanol dilué avec de l'eau. En effet, l'utilisation de l'éthanol dans la méthode d'extraction présente plusieurs avantages. Celui-ci est connu pour être non toxique et respectueux de l'environnement. Capable de dissoudre efficacement les composés volatils des plantes, l'éthanol permet d'améliorer le rendement et

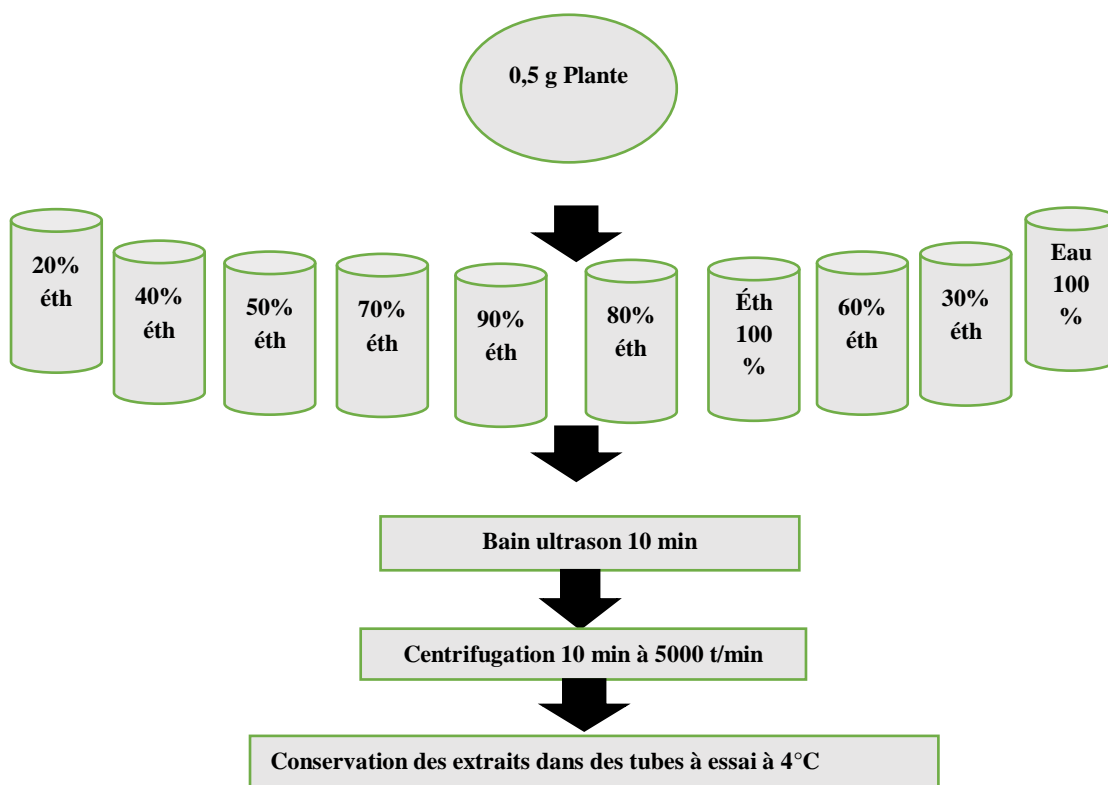
la pureté des extraits obtenus. De plus, il peut être réutilisé plusieurs fois pour l'extraction des extraits végétale.

Dix solutions différentes ont été préparés dans des erlenmeyers en variant le volume du mélange utilisés (Tableau 02).

**Tableau 02:** les différentes solutions préparées.

Solutions	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Le type et le volume du solvants	20% Eth + 80% eau	40% Eth + 60% eau	50% Eth + 50% eau	70% Eth + 30% eau	90% Eth + 10% eau	80% Eth + 20% eau	Eth 100%	60% Eth + 40% eau	30% Eth + 70% eau	eau 100%

Un échantillon de 0,5 g d'*Ail triquètre* a été pesé, puis mélangé avec les solvants préparés précédemment pour obtenir dix solutions distinctes. Ces mélanges sont ensuite placés dans un bain à ultrasons pendant 10 minutes. Après cela, ces derniers ont été centrifugés pendant 10 minutes à une vitesse de 5000 tours par minute. Enfin, les extraits obtenus sont stockés à l'abri de la lumière et à une température de 45°C jusqu'à leur utilisation.



**Figure 08:** Schéma synthétisant les différentes étapes d'extraction des composés phénoliques à partir de l'ail triquètre

### **IV.3. Extraction et dosage**

#### **IV.3.1 Phénols totaux**

Les phénols totaux sont des composés photochimiques naturels présents dans de nombreux aliments tels que les fruits, les légumes, les grains entiers et les herbes. Les phénols ont des propriétés antioxydantes et peuvent contribuer à la prévention de maladies chroniques telles que les maladies cardiaques, le cancer et le diabète. Les phénols totaux sont généralement mesurés en utilisant des méthodes scientifiques telles que la spectroscopie ou la chromatographie (Fennouche et al., 2008).

##### **IV.3.1.2 Rôle dans la plante**

Les phénols totaux sont des composés chimiques présents dans de nombreuses plantes et sont considérés comme des antioxydants puissants, jouent un rôle important dans la plante en assurant sa protection contre les dommages causés par les radicaux libres, les stress environnementaux, les maladies et les infections. Les phénols totaux peuvent également contribuer à la coloration des fleurs, des fruits et des feuilles, ainsi qu'à la défense contre les herbivores. Aussi ont des propriétés anti-inflammatoires, antibactériennes, antivirales et antifongiques, ce qui permet à la plante de se défendre contre les agents pathogènes et de favoriser sa croissance et sa survie. Ils peuvent également jouer un rôle dans la régulation de la croissance et du développement de la plante, en particulier en réponse aux changements environnementaux (Veillet, 2010).

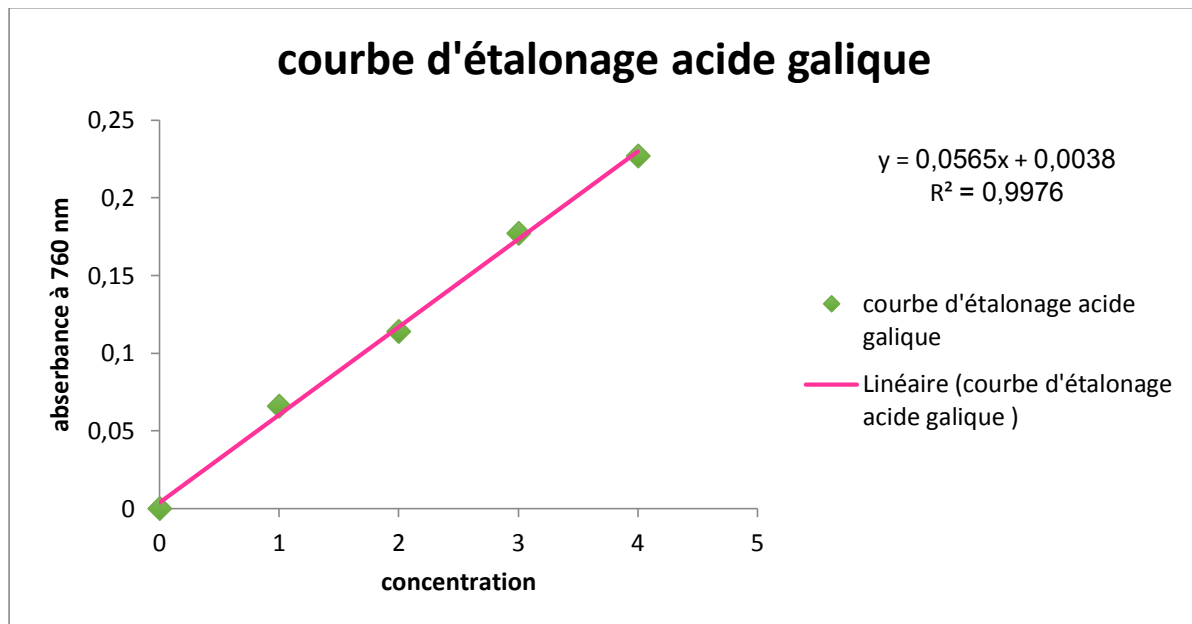
##### **IV.3.1.4 Dosage des Phénols totaux**

La détermination des phénols totaux a été effectuée en utilisant la méthode de Folin-Ciocalteu, développée par Singleton et Rossi en 1965. Cette méthode spectrophotométrique est couramment employée pour mesurer les composés phénoliques totaux dans divers échantillons végétaux, alimentaires ou biologiques. Elle repose sur l'oxydation des composés phénoliques par le réactif de Folin-Ciocalteu, formant un complexe coloré dont l'absorbance est ensuite mesurée. Cette technique spectrophotométrique repose sur une comparaison avec une courbe d'étalonnage établie à partir d'acide gallique pur (Singleton & Rossi, 1965).

On mélange 2.5ml d'extrait avec 2.5ml de Folin-Ciocalteu dilué 10 fois dans de l'eau distillée, puis on laisse reposer pendant 8 minutes à température ambiante à l'abri de la lumière, Puis on ajoute 2 ml de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (3.75g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> /50 ml d'eau distillée), et on

incube les solutions à 50°C pendant 8 minutes dans un bain-marie. Après refroidissement, on mesure la densité optique à 760 nm.

#### Courbe d'étalonnage de l'acide gallique :



**Figure 09:** Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des phénols totaux (mg/g).

La courbe d'étalonnage a été établie en mélangeant de l'éthanol et de l'acide gallique. Pour préparer la solution mère, 5 ml d'acide gallique ont été mélangés avec 45 ml d'éthanol. Les différentes concentrations d'acide gallique testées étaient de 0, 2, 4, 6 et 8.

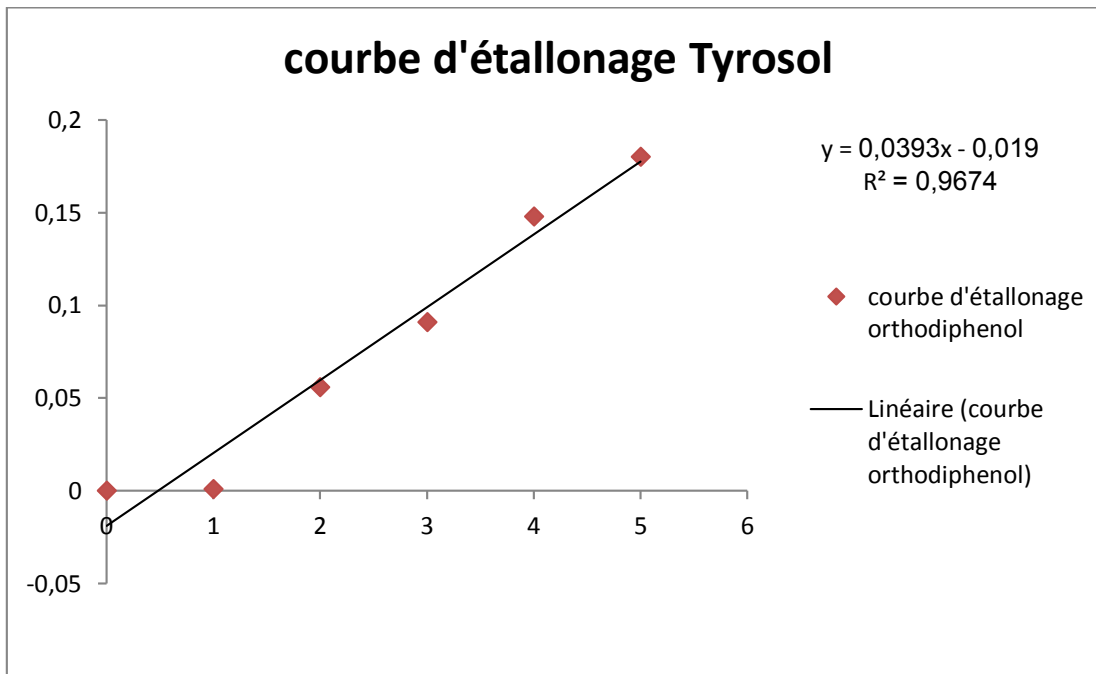
Pour réaliser les mesures, 0.5 ml de solution ont été prélevés et 2.5 ml de Folin-Ciocalteu dilué dans 10 ml d'eau distillée ont été ajoutés.

#### IV.3.2.4 Dosage des Ortho-Diphénols

Les composés ortho-di phénoliques ont été déterminés en suivant la méthode décrite par Bendini, cette méthode spectrophotométrique spécifique permet de quantifier les composés de type ortho-diphénols présents dans les échantillons (Bendini et al., 2007). Le protocole de dosage des ortho-diphénols implique de mélanger 0,3 ml d'extraction avec 20 ml d'un mélange éthanol/eau (20/80 ; v:v), puis d'ajouter 4 ml de molybdate de sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (5g de molybdate dans 150 ml d'eau). La solution est ensuite laissée à l'obscurité pendant 8 minutes. Enfin, une lecture de la densité optique a été réalisée à une longueur d'onde de 370

nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible 9200. Une lecture de densité optique a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 370 nm.

Les concentrations en ortho-diphénols des échantillons ont été calculées à partir d'une courbe d'étalonnage de Tyrosol (0, 2, 4, 6, 8 mg /g). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent de Tyrosol par gramme d'extrait sec (mg ET/g ES) (figure).



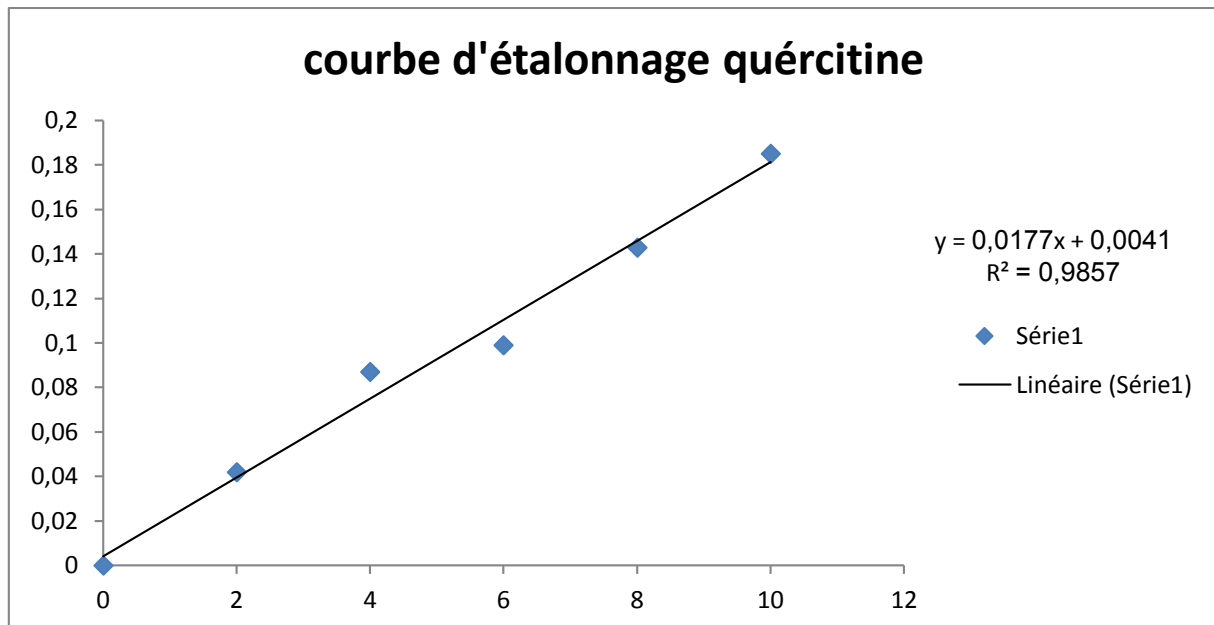
**Figure 10 :** Courbe d'étalonnage de Tyrosol pour le dosage des ortho-diphénols (mg/g)

### IV.3.3 Flavonoïdes

La quantification des flavonoïdes a été effectuée à l'aide de la méthode de Zhishen qui utilise le trichlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ ) et la soude. Un mélange de 0,125 ml d'extrait, 1,375 ml d'eau distillée et 75  $\mu$ l de solution de nitrite de sodium ( $NaNO_3$ ) a été préparé. Ensuite, 150  $\mu$ l de chlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ ) à 10% ont été ajoutés, suivi de l'incubation à température ambiante pendant 6 minutes. 0,5 ml de soude ( $NaOH$ ) ont été ensuite ajoutés aux tubes. Le volume final a été complété avec 275  $\mu$ l d'eau distillée. Les solutions ont été vigoureusement agitées pour homogénéiser le contenu, puis laissées reposer pendant 10 minutes. Enfin, l'absorbance a été mesurée à 510 nm par rapport à un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre UV 9200.

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la quercétine comme contrôle positive à différentes concentration (0,2, 4, 6, 8 mg/g).

Les résultats de la teneur en flavonoïde sont exprimés en milligramme d'équivalent de quercétine par gramme d'extrait sec (mg EQ/g ES)



**Figure 11 :** Courbe d'étalonnage de quercétine pour le dosage des flavonoïde (mg/g)

#### IV.4.5 Dosage des pigments chlorophylles

Le dosage des différents types de chlorophylles a été directement fait à partir des extraits en lisant leurs absorbances dans le spectrophotomètre à la longueur d'onde 642 nm pour la Chlorophylle (a) et 660 nm pour la chlorophylle (b), toutes les mesures sont refaites trois (03) fois. Puis nous avons fait le calcul à l'aide des formules ci-dessous décrites par Allalout (Allalout et al., 2009).

$$\text{Chlorophylle a} = 9,93 * A_{660 \text{ nm}} - 0,777 * A_{642,5 \text{ nm}}$$

$$\text{Chlorophylle b} = 17,6 * A_{642,5 \text{ nm}} - 2,81 * A_{660 \text{ nm}}$$

$$\text{Total chlorophylle} = 7,12 * A_{660 \text{ nm}} + 16,8 * A_{642,5 \text{ nm}}$$

Où :

$A_{642,5}$  : l'absorbance de l'échantillon à 660 nm.

$A_{660}$  : l'absorbance de l'échantillon à 642,5 nm.

# **Chapitre V**

## **Résultats et discussions**

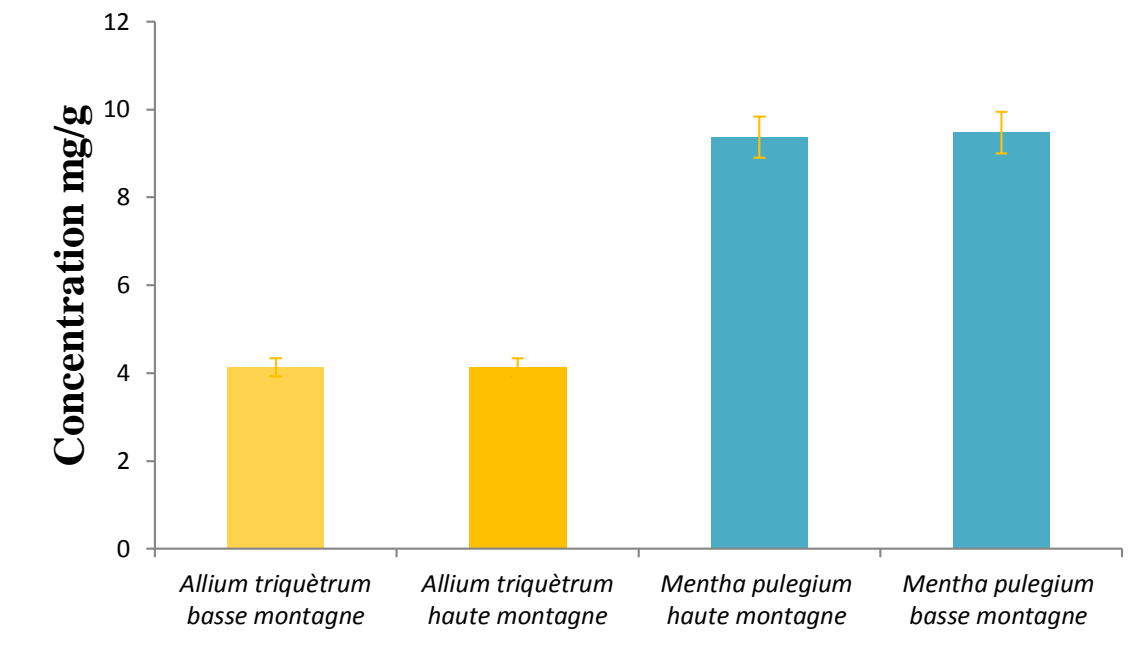
## Résultat et discussion

### Phénols totaux

Les phénols totaux représentent une classe de métabolites végétaux qui jouent un rôle crucial dans la réponse des plantes aux stress biotiques et abiotiques, en contribuant notamment à leur adaptation et à leur protection **Chen et al. (2022)**. La variation des teneurs en phénols totaux sont présentés dans la figure ci-dessous.

Les résultats obtenus (figure 12) montrent des concentrations similaires des phénols totaux présents dans les extraits provenant des différentes altitudes. La concentration en composés phénoliques de *Mentha pulegium* est en moyenne de 9 mg/g de matière sèche, largement supérieure à celle enregistrée pour *Allium triquetrum*, qui est en moyenne de 4 mg/g de plante sèche. Cette différence de production de phénols entre les deux plantes est probablement liée à la composante génétique des deux espèces, qui influence leur capacité à synthétiser et à accumuler des composés phénoliques. De plus, selon les recherches Wang et al, (2004), *Mentha arvensis* possède une voie métabolique très active pour la production de phénols, ce qui explique sa teneur plus élevée en ces composés.

Par ailleurs, les concentrations constantes de phénols totaux pour les deux espèces en fonction de l'altitude, semblent indiquer une réponse adaptative similaire aux variations des conditions environnementales étudiées. Selon les travaux de Chen et al (2022), ce phénomène pourrait s'expliquer par une réponse similaire aux stress biotiques et abiotiques à différentes altitudes, se traduisant par une production comparable de composés phénoliques. Cette observation démontre la capacité de ces espèces à s'adapter à des environnements diversifiés tout en maintenant des niveaux de métabolites constants.



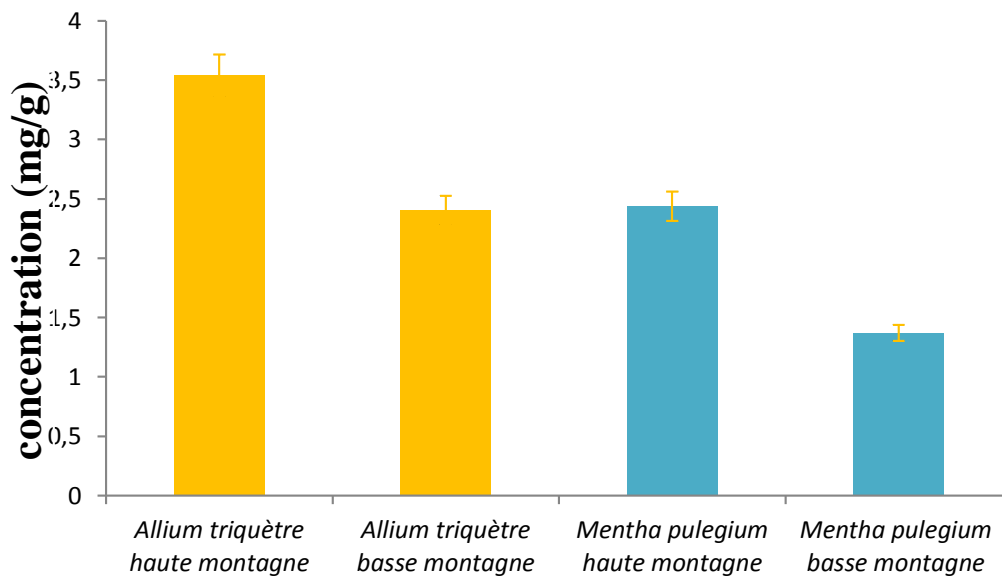
**Figure 12:** Variation de la teneur en phénols totaux

## II. Taux de Flavonoïdes

Les flavonoïdes, composés bioactifs largement répandus dans le règne végétal, jouent un rôle crucial en tant que métabolites secondaires aux propriétés antioxydantes et potentiellement bénéfiques pour la santé humaine Parniske (2008). Les teneurs en flavonoïdes des différents échantillons sont illustrés dans la figure suivante.

Les teneurs en flavonoïdes en haute et basse montagne montrent une variation significative en fonction de l'altitude. La concentration d'*Allium triquetrum* varie considérablement allant de 2.4 à 3.5 mg/g, tandis que celle de *Mentha pulegium* est plus faible, comprise entre 1,3 et 2.4 mg/g. Cette variation remarquable chez les deux espèces suggère des adaptations physiologiques particulières associées aux variations des conditions climatiques propres à chaque zone géographique. Selon Jaakola et Hohtola (2010), cette réponse unique pourrait être influencée par des paramètres tels que la température, l'intensité lumineuse ou la pression atmosphérique, démontrant la capacité de ces plantes à assurer une production de métabolites secondaires adaptée à des conditions variées. Selon Enneb, H., et al (2015), des teneurs plus élevées en flavonoïdes dans les extraits de plantes aromatiques sont en corrélation avec une activité antioxydante élevée. En effet, plusieurs études ont démontré

la forte activité biologique des flavonoïdes, notamment en tant que puissants antioxydants, antibactériens, antifongiques ou encore antiviraux



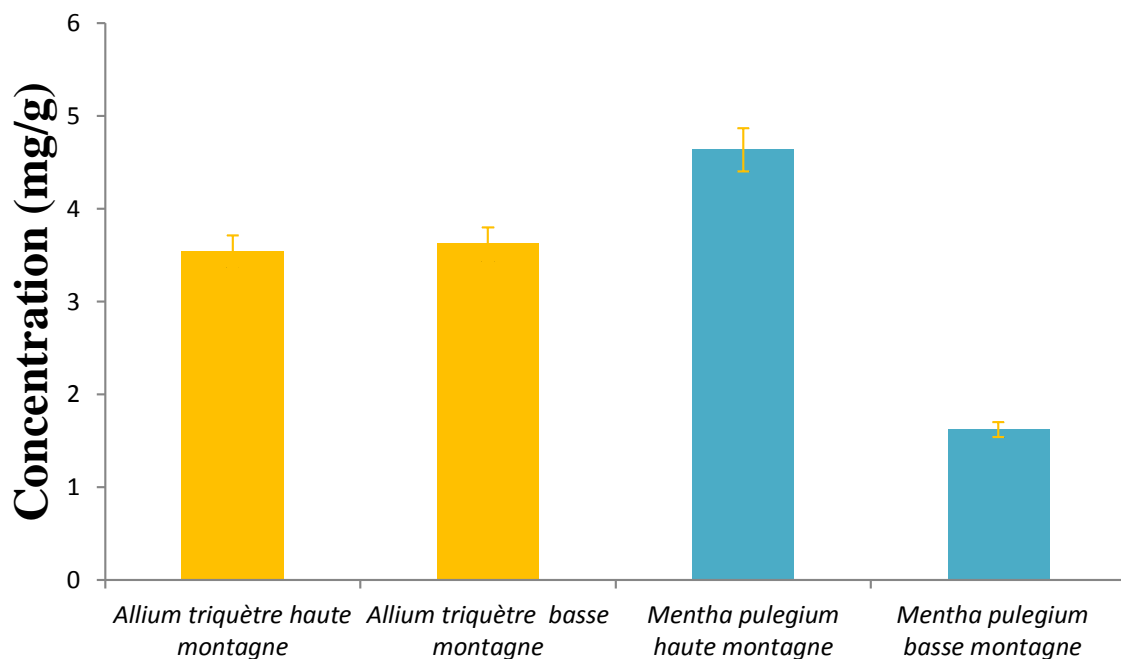
**Figure 13:** Taux des flavonoïdes

### III. Taux des orthodiphinoles

Les orthodiphinoles, également appelés catéchols, sont des composés phénoliques omniprésents dans le règne végétal, reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et leur rôle essentiel dans la protection des cellules contre le stress oxydatif Parniske (2008). La variation de leur teneur est présentée dans la figure suivante.

L'analyse des taux d'orthodiphinoles chez *Mentha pulegium* et *Allium triquetrum*, prélevées en haute et basse montagne, révèle des réponses distinctes selon l'espèce. *Allium triquetrum* maintient une concentration constante de 3,6 mg/g, indépendamment de l'altitude. En revanche, *Mentha pulegium* présente une variation significative, avec une teneur de 1,6 mg/g en basse montagne contre 4,6 mg/g en haute montagne. Cette augmentation marquée est probablement due à une sensibilité plus spécifique de la plante aux changements d'altitude, reflétée par une production plus élevée d'orthodiphinoles.

En effet, une exposition plus importante aux rayons UV, le stress oxydatif plus important, les régulations phytohormonales spécifiques et les interactions symbiotiques avec le microbiome du sol en altitude contribuent à stimuler la biosynthèse de ces composés. Cette réponse adaptative permet aux plantes de haute montagne de mieux se protéger contre les stress environnementaux et de maintenir leur vitalité. Cette plasticité métabolique de *Mentha pulegium* contraste avec la stabilité observée chez *Allium triquetrum*, soulignant des stratégies d'adaptation différentes face aux variations altitudinales (Parniske, 2008).



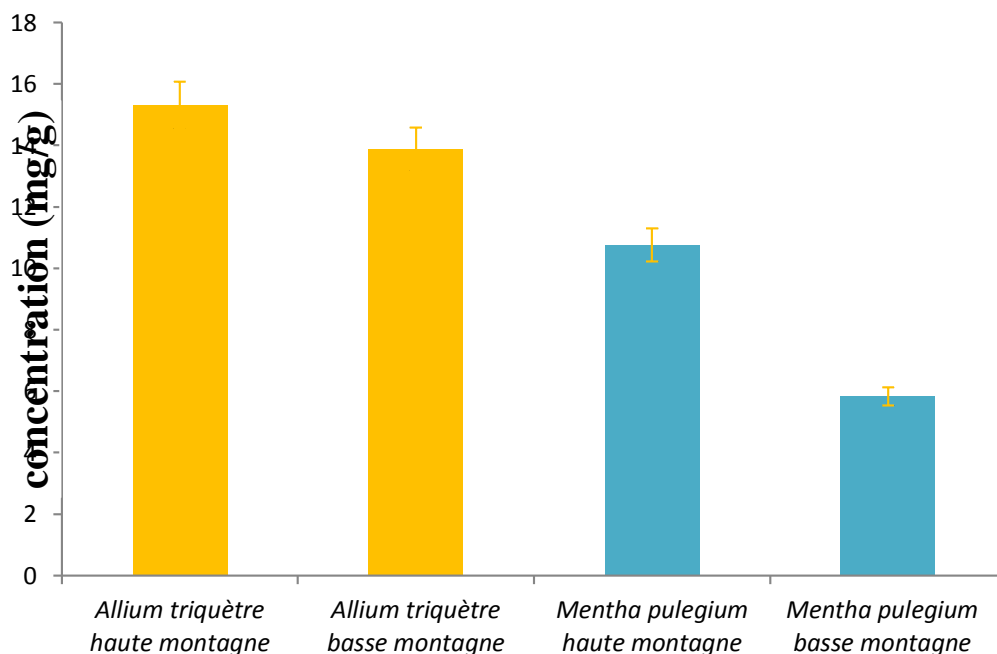
**Figure 14:** taux des orthodiphénols dans les deux plantes

#### IV. Taux de chlorophylle a

La chlorophylle a est un pigment photosynthétique essentiel présent dans les plantes, les algues et les cyanobactéries, jouant un rôle crucial dans la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique au cours de la photosynthèse (Jaakola et Hohtola, 2010). Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure ci-dessous.

Les variations de la chlorophylle a, illustrées dans la figure, montrent que les taux dans *Mentha pulegium* et *Allium triquetrum*, provenant de deux régions altitudinales différentes (haute et basse montagne), varient respectivement de 13,8 mg/g (basse montagne) à 15,3 mg/g (haute montagne) pour *Allium triquetrum*, et de 5,8 mg/g (basse montagne) à 10,7 mg/g (haute montagne) pour *Mentha pulegium*. Cette augmentation de la chlorophylle a dans *Mentha pulegium* et *Allium triquetrum* (ail triquètre) pourrait être liée à des conditions extrêmes liées aux altitudes plus élevées, comme une lumière plus intense et des températures plus basses, favorisant une plus grande synthèse de chlorophylle a. Ces observations suggèrent un ajustement adaptatif des plantes aux conditions altitudinales (Villas Bôas et al, 2019).

La chlorophylle a est le principal pigment impliqué dans la photosynthèse, elle joue un rôle clé dans l'absorption de la lumière et sa conversion en énergie chimique (Lichtenthaler, H. K. 1987).. Ainsi, une concentration plus élevée de ces pigments implique une meilleure activité photosynthétique et permet aux plantes de se développer plus facilement dans les zones climatiques les plus difficiles.



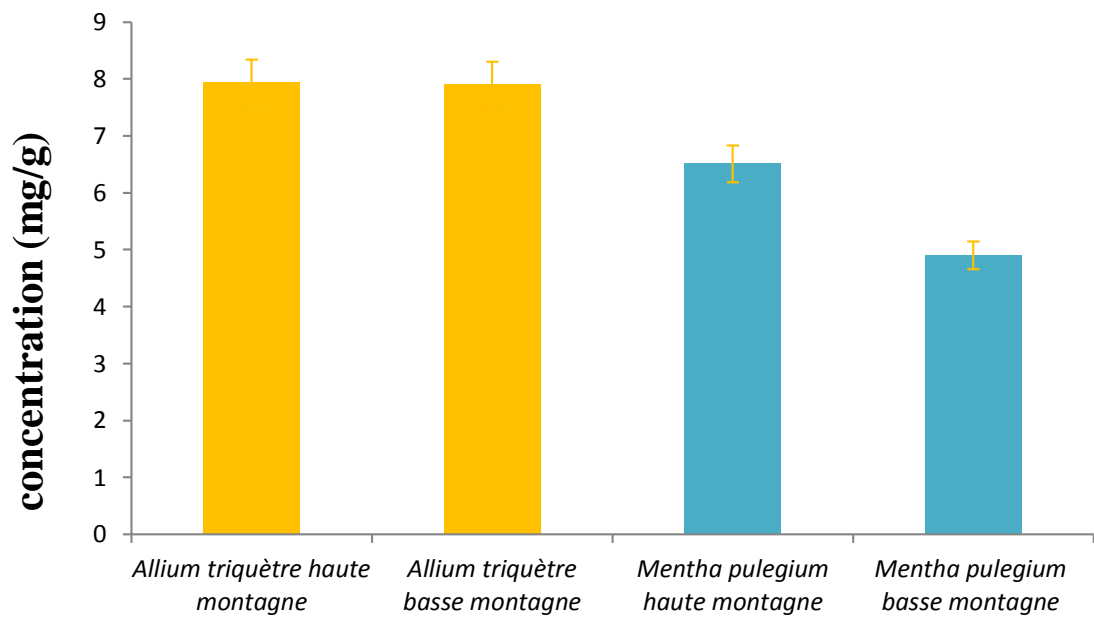
**Figure 15:** taux de chlorophylle a dans les deux plantes.

## Taux de chlorophylle b

La chlorophylle b est un pigment photosynthétique présent dans les plantes et les algues, jouant un rôle complémentaire essentiel à la chlorophylle a dans l'absorption de la lumière verte et jaune, et contribuant ainsi à maximiser l'efficacité de la photosynthèse (Smithet Zeeman, 2020).

La figure 16 montre que la teneur en chlorophylle b des deux plantes varie de 4,9 (basse montagne) à 6,5 mg/g (haute montagne) pour *Mentha pulegium* et une moyenne constante de 7 mg/g pour *Allium triquetrum* dans les deux zones. D'après ces données, les teneurs en chlorophylle b de *Allium triquetrum* sont significativement plus élevées que celles observées chez *Mentha pulegium*, aussi bien en basse qu'en haute montagne.

Les résultats montrent que l'altitude a un impact significatif sur la concentration de chlorophylle b dans les deux plantes. Cette différence pourrait être liée au choix d'une stratégie d'adaptation spécifique à chaque espèce. L'augmentation de la chlorophylle b en altitude enregistré dans les extraits de *Mentha pulegium* permet montre que la plante régule la concentration en ces pigment en fonction de l'altitude. En effet, l'augmentation de ces pigments permet d'améliorer la captation de la lumière et l'efficacité de la photosynthèse dans des conditions de stress environnementales sévères. En revanche, la constance des niveaux de chlorophylle b chez *Allium triquetrum* pourrait indiquer une régulation stable de la photosynthèse, indépendante des variations altitudinales. Par ailleurs, ce comportement pourrait être expliquée par plusieurs facteurs environnementaux propres aux altitudes élevées, tels que des niveaux plus élevés d'exposition au rayonnement solaire et des températures plus fraîches, qui favorisent une production accrue de chlorophylle b pour optimiser la photosynthèse et la survie des plantes dans des conditions climatiques plus rigoureuses (Parniske, 2008).

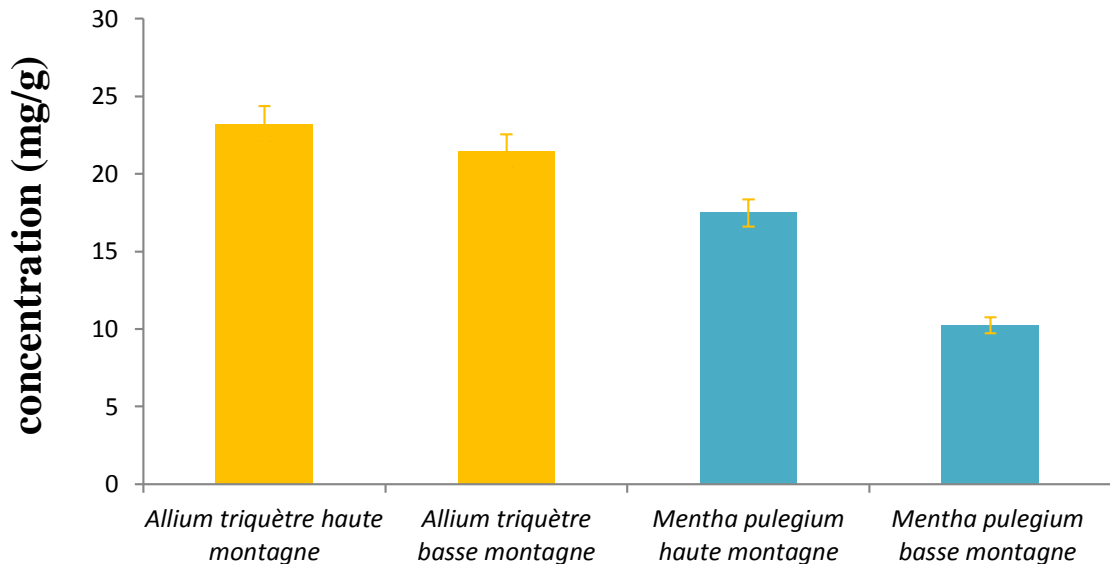


**Figure 16:** taux de chlorophylle b dans les deux plantes

## Taux de chlorophylle totale

La chlorophylle totale fait référence à la somme des pigments chlorophylliens présents dans les organismes photosynthétiques, jouant un rôle crucial dans la capture de l'énergie lumineuse nécessaire à la photosynthèse (Jaakola et Hohtola, 2010).

La figure 17 montre que les taux de chlorophylle totale dans *Mentha pulegium* et



**Figure 20:** taux de chlorophylle totale dans les deux plantes

*Allium triquetrum*, issus de deux régions altitudinales différentes (haute et basse montagne), sont respectivement de 21,4 à 23,2 mg/g pour *Allium triquetrum* dans les deux régions et de 10,2 à 17,4 mg/g pour *Mentha pulegium*.

La variation du taux de chlorophylle totale chez *la Mentha pulegium* montre une différence significative pourrait être attribuée à des facteurs tels que l'intensité lumineuse, les températures et peut-être la disponibilité des nutriments dans le sol, spécifiques à chaque zone altitudinale (Jaakola et Hohtola, 2010). Les résultats suggèrent également qu'*Allium triquetrum* maintient des niveaux plus élevés de chlorophylle totale dans les deux régions altitudinales par rapport à *Mentha pulegium*, ce qui pourrait refléter une meilleure adaptation de la plante à des conditions géo-climatique de la région de Tizi Ouzou.

**Tableaux 03 :** Tableaux récapitulatif des résultats obtenus

<b>Les résultats</b>	<i>Allium triquetrum</i> <b>haute montagne</b>	<i>Allium triquetrum</i> <b>basse montagne</b>	<i>Mentha pulegium</i> <b>haute montagne</b>	<i>Mentha pulegium</i> <b>basse montagne</b>
<b>Phénols totaux</b>	4,1	4,1	9	9
<b>Taux de Flavonoïdes</b>	3,5	2,4	2,4	1,3
<b>Taux des orthodiphénols</b>	3,6	3,6	4,6	1,6
<b>Taux de chlorophylle a</b>	15,3	13,8	10,7	5,82
<b>Taux de chlorophylle b</b>	7,9	7,9	6,5	4,9
<b>Taux de chlorophylle totale</b>	23,2	21,4	17,4	10,2

L'étude comparative des concentrations de métabolites secondaires et de pigments chlorophylliens chez *Allium triquetrum* et *Mentha pulegium* à différentes altitudes révèle une tendance générale à l'augmentation des composés avec l'élévation, à l'exception notable des phénols totaux. Cette augmentation est particulièrement prononcée pour les flavonoïdes et la chlorophylle totale dans les deux espèces, suggérant une réponse adaptative aux conditions environnementales plus stressantes des hautes altitudes. Ce phénomène corrobore les observations de Zidorn (2010), qui a documenté une augmentation des métabolites secondaires chez diverses espèces végétales en réponse à l'élévation altitudinale. *Mentha pulegium* présente une variation plus marquée entre les deux altitudes pour la plupart des paramètres mesurés, notamment pour les orthodiphénols et la chlorophylle a, indiquant une plasticité physiologique potentiellement plus importante que celle d'*Allium triquetrum*. Cette plasticité différentielle entre espèces face aux gradients altitudinaux a également été rapportée par Körner (2003) dans son étude exhaustive sur l'adaptation des plantes aux environnements alpins.

Ces résultats soulignent l'importance des mécanismes d'acclimatation spécifiques à chaque espèce en réponse aux gradients altitudinaux, probablement liés à des facteurs tels que l'intensité du rayonnement UV, les fluctuations de température et la disponibilité en eau. L'augmentation des flavonoïdes, en particulier, peut être interprétée comme une réponse protectrice contre le stress oxydatif induit par les rayons UV, comme l'ont démontré Briggs et Christie (2002) dans leurs travaux sur les photorécepteurs des plantes. De plus, les variations observées dans les concentrations de chlorophylle pourraient refléter des ajustements de l'appareil photosynthétique en réponse aux conditions lumineuses changeantes avec l'altitude, un phénomène étudié par Poorter et al. (2009) dans le contexte de l'acclimatation des plantes à différents niveaux de lumière.

Des études complémentaires sur les voies métaboliques impliquées et les facteurs environnementaux spécifiques pourraient élucider davantage les stratégies adaptatives de ces espèces face aux variations altitudinales. L'approche intégrative proposée par Rasmann et al. (2014), combinant des analyses métabolomiques et transcriptomiques, pourrait fournir des insights précieux sur les mécanismes moléculaires sous-jacents à ces adaptations.

# **Conclusion**

## Conclusion

Cette étude comparative des composés phytochimiques chez *Mentha pulegium* et *Allium triquetrum*, provenant de régions de haute et basse montagne, a révélé des adaptations métaboliques fascinantes en réponse aux variations altitudinales.

Nos résultats ont mis en évidence des réponses spécifiques à chaque espèce. *Allium triquetrum* a montré une remarquable stabilité dans la concentration de plusieurs composés, notamment les phénols totaux, les flavonoïdes et les orthodiphinoles, indépendamment de l'altitude. Cette constance suggère une stratégie d'adaptation robuste, permettant à l'espèce de maintenir son équilibre métabolique dans des environnements variés.

En revanche, *Mentha pulegium* a présenté des variations plus prononcées en fonction de l'altitude, particulièrement pour les orthodiphinoles et les chlorophylles. Cette plasticité métabolique témoigne d'une capacité d'adaptation fine aux conditions environnementales changeantes avec l'altitude, notamment en termes d'exposition aux UV, de stress oxydatif et de régulation hormonale.

Les deux espèces ont montré des augmentations significatives des taux de chlorophylle en haute altitude, soulignant l'importance de l'optimisation de la photosynthèse dans des conditions de luminosité et de température différentes.

Ces observations mettent en lumière la diversité des stratégies adaptatives des plantes face aux variations altitudinales. Elles soulignent l'importance de considérer les réponses spécifiques à chaque espèce dans la compréhension de l'écologie des plantes de montagne et dans la gestion de la biodiversité végétale face aux changements environnementaux.

Cette étude ouvre des perspectives pour de futures recherches sur les mécanismes moléculaires sous-jacents à ces adaptations et sur les implications potentielles pour l'utilisation de ces plantes en phytothérapie ou en agriculture de montagne. Elle souligne également l'importance de préserver la diversité génétique des populations de plantes à différentes altitudes, car celle-ci pourrait être cruciale pour leur adaptation future aux changements climatiques.

## **Référence bibliographique**

## Référence bibliographique

Briggs, W. R., & Christie, J. M. (2002). Phototropins 1 and 2: versatile plant blue-light receptors. *Trends in plant science*, 7(5), 204-210.

Corlett, A., Vincent, M., & Aude, V. (2023). Protéger les cultures par la diversité végétale. INRAE Institutionnel, 10-16.

Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J. (2018). The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. *Frontiers in Nutrition*, 5, 87. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087>

Crozier, A., Clifford, M., & Ashihara, H. (2014). Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure And Role In The Human Diet. <https://www.semanticscholar.org/paper/Plant-Secondary-Metabolites%3A-Occurrence%2C-Structure-Crozier-Clifford/371da0f616a00b1dd477dc8d40389c21c9206bc1>

Daglia, M. (2012). Polyphenols as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.08.007>

Del Rio, D., Rodriguez-Mateos, A., Spencer, J. P. E., Tognolini, M., Borges, G., & Crozier, A. (2013). Dietary (poly)phenolics in human health: Structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. *Antioxidants & Redox Signaling*, 18(14), 1818-1892. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.4581>

Dennis, R. G., & Lenore, G. R. (1997). Chapter 11 Supercritical fluid extraction: Principles and applications—ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167924497800200>

Enneb, H., et al. "Comparaison des composés phénoliques et du pouvoir antioxydant de la plante de henné (*Lawsonia inermis* L.)." *Journal of New Sciences* 20 (2015).

Falleh, H., Hafsi, C., Mohsni, I., & Ksouri, R. (2021). Évaluation de différents procédés d'extraction des composés phénoliques d'une plante médicinale: *Verbena officinalis*. *Biologie Aujourd'hui*, 215(3-4), 133-142. <https://doi.org/10.1051/jbio/2021009>

FLECK, M. (2022, mai 16). Les composés phénoliques ou polyphénols. *Clinique Vétérinaire des Romains*. <https://www.cliniqueveterinairedesromains.fr/les-composes-phenoliques-ou-polyphenols>

Galtier-Boissière, D. (1917). Larousse médical illustré de guerre. Larousse.

Gildemeister, E., & Hoffmann, F. (1900). Les huiles essentielles. F.A. Brockhaus.

Goudjil. (2014). Figure 5 : Montage d'extraction par Hydrodistillation. [https://www.researchgate.net/figure/Montage-d'extraction-par-Hydrodistillation\\_fig3\\_343615181](https://www.researchgate.net/figure/Montage-d'extraction-par-Hydrodistillation_fig3_343615181)

Hachi, M., Hachi, T., Belahbib, N., Dahmani, J., & Zidane, L. (2015). Corresponding Author : Maryama Hachi 754 CONTRIBUTION A L'ETUDE FLORISTIQUE ET ETHNOBOTANIQUE DE LA FLORE MEDICINALE UTILISEE AU NIVEAU DE LA VILLE DE KHENIFRA (MAROC) [ CONTRIBUTION TO THE STUDY AND FLORISTIC ETHNOBOTANY FLORA MEDICINAL USE AT THE CITY OF KHENIFRA (MOROCCO) ].

Hafsa, D., Abdelkrim, B., & Terras. (2018). Phytochemical study and evaluation of the antioxidant of *Myrtus communis* L. Fruit's Méthanolique extract. Etude phytochimique et évaluation du pouvoir antioxydant de l'extrait méthanolique de fruit du *Myrtus communis* L. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34056.47368>

Henriette, L., & Randrianjohany, E. (1996). Origine et répartition bioécologique des plantes aromatiques de Madagascar. 187-194.

Hussain, A., Chatha, S. A. S., Anwar, F., Latif, S., Sherazi, S. T., Ahmad, A., & Sarker, S. (2013). Études de composition chimique et de bioactivité des huiles essentielles de deux espèces de thymus de la flore pakistanaise, LWT – Food Sciences and Technology. LWT – Food Sciences and Technology, 50, 185-192.

Hussain, A., Chatha, S. A. S., Anwar, F., Sarker, S. D., & Sherazi, S. T. H. (2013). Chemical composition and bioactivity studies of the essential oils from two *Thymus* species from the Pakistani flora, LWT – Food Sciences and Technology. [https://www.researchgate.net/publication/236899550\\_Hussain\\_A\\_I\\_Chatha\\_S\\_A\\_S\\_Anwar\\_F\\_Latif\\_S\\_Sherazi\\_S\\_T\\_H\\_Ahmad\\_A\\_and\\_Sarker\\_S\\_D\\_2013\\_Chemical\\_composition\\_and\\_bioactivity\\_studies\\_of\\_the\\_essential\\_oils\\_from\\_two\\_Thymus\\_species\\_from\\_the\\_Pakistani\\_flora\\_L](https://www.researchgate.net/publication/236899550_Hussain_A_I_Chatha_S_A_S_Anwar_F_Latif_S_Sherazi_S_T_H_Ahmad_A_and_Sarker_S_D_2013_Chemical_composition_and_bioactivity_studies_of_the_essential_oils_from_two_Thymus_species_from_the_Pakistani_flora_L)

Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821-1835. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>

Imbert, E., Ducrettet, J., & Maurice, S. (2021). Gestion de la diversité génétique pour la conservation in situ des espèces végétales—Synthèse des principes fondamentaux et préconisations. *Biologie de la conservation [Other]*. Université de Montpellier (UM), FRA ; Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier. <https://hal.science/hal-03205827>

Jang, G. H., Kim, H. W., Lee, M. K., Jeong, S. Y., Bak, A. R., Lee, D. J., & Kim, J. B. (2018). Characterization and quantification of flavonoid glycosides in the *Prunus* genus by UPLC-DAD-QTOF/MS. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(8), 1622-1631. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.08.001>

Jerry. (2020). Dt\_extrait-plante\_schemaCO2.gif (450×298). [https://www.aroma-zone.com/cms/sites/default/files/Dossier\\_thematique/extraits\\_plantes/dt\\_extrait-plante\\_schemaCO2.gif](https://www.aroma-zone.com/cms/sites/default/files/Dossier_thematique/extraits_plantes/dt_extrait-plante_schemaCO2.gif)

Joseph, S. V., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. M. (2016). Fruit Polyphenols : A Review of Anti-inflammatory Effects in Humans. 56(3), 419-444.

Khoddami, A., Wilkes, M. A., & Roberts, T. H. (2013). Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules* (Basel, Switzerland), 18(2), 2328-2375. <https://doi.org/10.3390/molecules18022328>

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press.

Louvain, U., & Christophe, danaux. (2023). Systématique des plantes. *Biologie végétale*. <https://biologievegetale.be/regne-vegetal/systematique-des-plantes/>

Mélusine, L. J. de. (2024, mars 23). ;) Ail Triquètre ou Ail à trois angles. *Les Jardins de Mélusine*. <https://biodiversitefrance.com/ail-triquetre/>

Moerman, D. E. (1998). *Native American ethnobotany*. Portland, Or.: Timber Press. <http://archive.org/details/nativeamericanet0000moer>

Möller, K. (2005). La distillation à l'alambic : Un art à la portée de tous (Editorial UNICO édition). Editorial Unico.

Körner, C. (2003). Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems. Springer Science & Business Media.

Ngom, S., Diop, M., Mbengue, M., F, F., Kornprobst, J. M., & Samb, A. (2014). Composition chimique et propriétés antibactériennes des huiles essentielles d'*Ocimum basilicum* et d'*Hyptis suaveolens* (L.) Poit récoltés dans la région de Dakar au Sénégal. *Afrique Science: Revue Internationale Des Sciences et Technologie*, 10(4), Article 4.

Nicolas. (2013). Progrès en Dermato-Allergologie—GERDA 2013. John Libbey Eurotext.

Nicolas, S., Paul-André, C., Denis, T., & Frédéric, M.-Lp. (2013). Interactions insectes-plantes. Editions Quae.

Orhan, Didem Deliorman, et al. "Antibacterial, antifungal, and antiviral activities of some flavonoids." *Microbiological research* 165.6 (2010): 496-504.

Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270-278. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>

Poorter, H., Niinemets, Ü., Poorter, L., Wright, I. J., & Villar, R. (2009). Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New phytologist*, 182(3), 565-588.

Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2013). Beneficial effects of polyphenols on cardiovascular disease. *Pharmacological Research*, 68(1), 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2012.10.018>

Raffin, J.-P. (2005). De la protection de la nature à la gouvernance de la biodiversité. *Ecologie & politique*, N°30(1), 97. <https://doi.org/10.3917/ecopo.030.0097>

Ramos, C., Teixeira, B., Batista, I., Matos, O., Serrano, C., Neng, N. R., Nogueira, J. M. F., Nunes, M. L., & Marques, A. (2012). Antioxidant and antibacterial activity of essential oil and extracts of bay laurel *Laurus nobilis* Linnaeus (Lauraceae) from Portugal. *Natural Product Research*, 26(6), 518-529. <https://doi.org/10.1080/14786419.2010.531478>

- Rasmann, S., Pellissier, L., Defossez, E., Jactel, H., & Kunstler, G. (2014). Climate-driven change in plant–insect interactions along elevation gradients. *Functional Ecology*, 28(1), 46-54
- Rieder, P., & Zanetti, F. (2012). Le remède et ses usages historiques (1650-1820). *Histoire, médecine et santé*, 2, Article 2. <https://doi.org/10.4000/hms.110>
- Rodolphe, S. (2005). Ail à trois angles, Ail triquètre, *Allium triquetrum*. auJardin.info. <https://www.aujardin.info/plantes/allium-triquetrum.php>
- Stalikas, C. D. (2007). Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of Separation Science*, 30(18), 3268-3295. <https://doi.org/10.1002/jssc.200700261>
- Tapsell, L. C., Hemphill, I., Cobiac, L., Patch, C. S., Sullivan, D. R., Fenech, M., Roodenrys, S., Keogh, J. B., Clifton, P. M., Williams, P. G., Fazio, V. A., & Inge, K. E. (2006). Health benefits of herbs and spices : The past, the present, the future. *The Medical Journal of Australia*, 185(S4), S1-S24. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2006.tb00548.x>
- Vauzour, D. (2012). Les polyphénols alimentaires comme modulateurs des fonctions cérébrales : Actions biologiques et mécanismes moléculaires sous-jacents à leurs effets bénéfiques—PubMed. 91-42-73.
- Vernès, L., Vian, M., & Chemat, F. (2020). Chapter 12—Ultrasound and Microwave as Green Tools for Solid-Liquid Extraction. In C. F. Poole (Éd.), *Liquid-Phase Extraction* (p. 355-374). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00012-8>
- Vishnu. (2022). Digestive Problems Ayurvedic Treatment. Dheemahi Ayurveda. <https://www.dheemahiayur.com/digestive-problems-ayurvedic-treatment>.
- Wang, H., Provan, G. J., & Helliwell, K. (2004). Determination of rosmarinic acid and caffeic acid in aromatic herbs by HPLC. *Food Chemistry*, 87(2), 307-311
- Zhou, Y., Zheng, J., Li, Y., Xu, D.-P., Li, S., Chen, Y.-M., & Li, H.-B. (2016). Natural Polyphenols for Prevention and Treatment of Cancer. *Nutrients*, 8(8), 515. <https://doi.org/10.3390/nu8080515>
- Zidorn, C. (2010). Altitudinal variation of secondary metabolites in flowering heads of the Asteraceae: trends and causes. *Phytochemistry Reviews*, 9(2), 197-203.

## **Résumé**

## Résumé

Cette étude compare les composés phytochimiques de *Mentha pulegium* et *Allium triquetrum* provenant de haute et basse montagne. Les résultats montrent des réponses adaptatives différentes selon l'espèce et l'altitude. *Allium triquetrum* maintient des concentrations stables en phénols, mais distinctes des flavonoïdes et des orthodiphénols, en fonction de l'altitude. *Mentha pulegium* présente des variations plus marquées, notamment pour les orthodiphénols et les chlorophylles, en fonction de l'altitude. Les deux espèces montrent une augmentation des taux de chlorophylle en haute altitude. Ces observations révèlent diverses stratégies d'adaptation aux conditions environnementales et ouvrent des perspectives pour la recherche en écologie végétale et phytothérapie.

**Mots-clés** : phytochimie, adaptation altitudinale, *Mentha pulegium*, *Allium triquetrum*, métabolites secondaires

## Summary

This study compares the phytochemical compounds of *Mentha pulegium* and *Allium triquetrum* from high and low mountain areas. The results show different adaptive responses depending on the species and altitude. *Allium triquetrum* maintains stable concentrations of phenols, flavonoids, and orthodiphenols, regardless of altitude. *Mentha pulegium* shows more pronounced variations, particularly in orthodiphenols and chlorophylls, depending on altitude. Both species show an increase in chlorophyll levels at high altitudes. These observations reveal various adaptation strategies to mountainous environmental conditions and open perspectives for research in plant ecology and phytotherapy.

**Keywords**: phytochemistry, altitudinal adaptation, *Mentha pulegium*, *Allium triquetrum*, secondary metabolites

## ملخص

تقارن هذه الدراسة المركبات الكيميائية النباتية لنباتي (*Allium triquetrum*) والثوم المثلث (*Mentha pulegium*) النعناع البري من المناطق الجبلية العالية والمنخفضة. تظهر النتائج استجابات تكيفية مختلفة حسب النوع والارتفاع. يحافظ الثوم المثلث على تركيزات ثابتة من الفينولات والفلافونويدات والأورثوديفينولات، بغض النظر عن الارتفاع. يُظهر النعناع البري تغيرات أكثر وضوحًا، خاصة في الأورثوديفينولات والكلوروفيل، اعتمادًا على الارتفاع. يُظهر كلا النوعين زيادة في مستويات الكلوروفيل على الارتفاعات العالية. تكشف هذه الملاحظات عن استراتيجيات تكيف متنوعة مع الظروف البيئية الجبلية وتفتح آفاقًا للبحث في علم البيئة النباتية والعلاج بالأعشاب.

