République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Dr. Yahia Farès de Médéa

Faculté des Sciences

Mémoire de Master

Département des sciences de la nature et de la vie

Spécialité : Ecologie

Par :

-Aissat Lwiza

-Belhouadjeub Imene

Evaluation de l'impact de l'altitude sur la composition phytochimique des feuilles dans la foret de Tamezguida wilaya de Médéa : Une approche écologique et phytopathologique

Evalue le 25/06/2025

Devant le jury composé de :

Mme.Ghalem N	MCA	UYFM	/ Présidente
Mr.Ait Mouheb H	MCB	UYFM	/ Encadrant
Mme.Hamza I	MCA	UYFM	/Examinatrice

Médéa 2024/2025

Remerciement

En préambule à ce mémoire, je remercie Dieu le tout puissant qui nous a aidés à faire ce travail. Nous souhaiterons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Nous tenons à remercier sincèrement Monsieur Ait Mouhab Houcine notre encadreur, Docteur en écologie végétale et l'environnement, qui s'est toujours montrée à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire

Nous remercions aussi les membres de jury : madame Hamza Imene et madame Ghalem Naima pour leur présence, leur disponibilité et l'intérêt qu'elles ont accordé à l'évaluation de ce travail

Nous tenons à remercier aussi tous les membres de la direction des Foréts de la wilaya de Médéa pour leur accueil et écoute.



Dédicace

***J**e dédie ce travail à toute personne qui m'aime*
et qui m'a soutenu dans ma vie.

***À** mes parents qui m'ont soutenue dans mon chemin*
Qu'Allah les bénissent.

***À** mes sœurs Naima, Hizia et Hassiba et mes frères*
Mourad et Rachid, qui m'ont beaucoup encouragé.

***À** mon fils Wassim que Dieu le garde.*
***À** notre encadreur Ait Mouhab Houcine*
***À** mes amies Hedibi Djomana, Lakhal Saida, Belhouadjeb*
*Ikram, sans oublier ma binome **Belhouadjeb Imen**.*

Aissat Iwiza

Dédicace



***J**e dédie ce travail à toute personne qui m'aime*

et qui m'a soutenu dans ma vie.

***À** mes chers parents qui m'ont encouragé et aidé à traverser*

cette période, Qu'Allah les bénissent et garde

***À** ma sœur Zinab et Ikram et mon frère Ahmed et Mohamed,*

Et sa femme Chaimaa et son fils Ilyas.

***À** mes amies Meriem, Chaimaa, Naima,Sabrina et Fatiha*

À** notre encadreur Ait Mouhab Houcine, et aux docteurs Khoudir Samia et Benoua Khadidja qui nous ont soutenu et encouragé tout au long la période de ce travail. **À** ma chère binome **Aissat Iwiza.

Belhouadjeb Imene



RÉSUMÉ TRILINGUE DE L'ÉTUDE

Résumé

Cette étude vise à évaluer l'influence de l'altitude sur la composition phytochimique des feuilles de différentes espèces végétales présentes dans la forêt de Tamezguida (wilaya de Médéa, Algérie). Trois paramètres biochimiques ont été quantifiés : les flavonoïdes, les composés phénoliques totaux, et l'activité antioxydante évaluée par la méthode DPPH.

Les résultats ont montré une variabilité importante des concentrations en métabolites secondaires entre les espèces, mais aucune relation statistiquement significative entre l'altitude et les teneurs mesurées.

L'analyse en composantes principales (ACP) a mis en évidence des profils chimiques distinctifs, indépendants de l'altitude. Ces résultats suggèrent que la composition phytochimique est davantage influencée par des facteurs spécifiques aux espèces ou aux microenvironnements que par l'altitude seule.

L'étude appelle à des recherches futures intégrant des variables écologiques fines et des approches moléculaires.

Mots clés :

Altitude– Flavonoïdes – Composés phénoliques – Activité antioxydante — Forêt de Tamezguida

Abstract

This study aimed to assess the influence of altitude on the phytochemical composition of leaf tissues in various plant species growing in the Tamezguida forest (Médéa province, Algeria). Three biochemical parameters were quantified: flavonoid content, total phenolic content, and antioxidant activity measured by the DPPH assay.

The results showed significant variability in secondary metabolite concentrations across species, but no statistically significant relationship was found between altitude and the measured phytochemical contents.

Principal Component Analysis (PCA) revealed distinctive chemical profiles, unrelated to altitude. These findings suggest that phytochemical composition is more strongly influenced by species-specific or microenvironmental factors than by altitude alone.

The study highlights the need for further research incorporating fine-scale ecological variables and molecular-level approaches.

Keywords :

Altitude– Flavonoids – Phenolic compounds – Antioxidant activity — Tamezguida Forest

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الارتفاع على التركيب الكيميائي النباتي لأوراق أنواع نباتية مختلفة في غابة تامزقيدة بولاية المدية (الجزائر). تم قياس ثلاثة مؤشرات كيميائية حيوية: محتوى الفلافونويدات، والمركبات الفينولية الكلية، والنشاط المضاد للأكسدة باستخدام اختبار DPPH.

أظهرت النتائج تباينًا ملحوظًا في تركيز المركبات الثانوية بين الأنواع المدروسة، غير أن هذا التباين لم يرتبط ارتباطًا إحصائيًا معنويًا بالارتفاع. كما بيّن تحليل المكونات الرئيسية (ACP) وجود تمايز واضح في التركيب الكيميائي بين الأنواع، دون أن يكون مرتبطًا مباشرة بالارتفاع.

تشير هذه النتائج إلى أن التركيب الكيميائي للنباتات يتأثر بعوامل خاصة بكل نوع أو بالظروف البيئية الدقيقة، أكثر من تأثره بعامل الارتفاع وحده. وتوصي الدراسة بمواصلة البحث باستخدام متغيرات بيئية دقيقة واعتماد مقاربات جزيئية لفهم أفضل للعوامل المؤثرة في التركيب الكيميائي للنباتات .

الكلمات المفتاحية:

الارتفاع - الفلافونويدات - المركبات الفينولية - النشاط المضاد للأكسدة - غابة تامزكيدا

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Moyennes mensuelle et annuelles des précipitations de la région tamezguida (2007-2016)..... 9

Tableau 02 : régime saisonnier précipitation de station de tamesguida... 10

Tableau 03: Moyennes des températures mensuelles de la région de Tamesguida (2007-2016)..... 11

Tableau 04 : Etages bioclimaques selon Emberger (1952)..... 14

LISTE DES FIGURES

Figure 1Localisation du parc national de Chréa 6

Figure 2Localisation géographique de la région de Tamesguida. 7

Figure 3Régime pluviométrique saisonniers 10

Figure 4Diagrammes ombrothermique de BAGNOLS et GAUSSEN de la région de Tamesguida 12

Figure 5Le Climagramme d'BERGER de la région Tibhirine pour la période allant de 20072016 14

Figure 6Vue générale de la zone humide de Dha 16

Figure 7Exemple d'image d'un échantillonnage Placé Dans des sacs hermétiques 24

Figure 8collecte des échantillonnage 24

Figure 9Exemple d'image d'une feuille Pendant le nettoyage 25

Figure 10Exemple d'image d'une feuille 25

Figure 11Etape de séchage en utilisant Pendant le séchées naturel -l'etuve à 40°c 25

Figure 12Préparation d'échantillons à l'aide d'un broyeur 26

Figure 13Stocke la poudre dans des récipients hermétiques à à20°C 27

Figure 14Protocole du dosage des polyphénols totaux 29

Figure 15Protocole du dosage des flavonoïdes 30

Figure 16. Transformation du radical DPPH• en DPPHH 31

Figure 17Corrélations globales entre l’altitude et les composés phytochimiques..... 37

Figure 18Corrélations par exposition (Nord vs Sud) entre l’altitude et les composés phytochimiques 38

Figure 19Concentration de flavonoïdes selon l'étage de végétation..... 40

Figure 20Concentration de phénoliques selon l'étage de végétation..... 41

Figure 21Corrélations entre les composés phytochimiques..... 42

Figure 22: Analyse en Composantes Principales (ACP) 43

Liste Des Abréviations

ALT : Altitude (m)

M : Température maximale des mois les plus chauds.

Med : Méditerranéen

m : mètre.

m : Température minimale des mois les plus froids.

T : Température.

HPAE : Hiver, Printemps, Automne, Eté

Km : kilomètre.

km2 : kilomètre carré.

PNC : Parc National De Chréa

P : Précipitation

FCR : Folin-Ciocalteu reactif (réactif de Folin-Ciocalteu).

H2O : Eau distillée.

MeOH : Méthanol

Na2CO3 : Carbonate de sodium

S : Solution.

UV : Ultra-violet.

V : Volume.

µg EAG/mg : Microgramme d'équivalent de l'acide gallique par milligramme d'extrait sec.

µg EQ/mg : Microgramme d'équivalent de La quercitine par milligramme d'extrait sec.

DPPH : 2,2-Di-Phényl-1-Picryl-Hydrazyl. DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle.

AlCl3: Le chlorure d'aluminium.

EtOH : Ethanol.

h : Heur.

TFC : Total flavonoid content (teneur en flavonoïdes totaux).

TPC : Total phenolic content (teneur en polyphénols totaux).

TABLE DE RÉFÉRENCES

Table des matières

RESUME IV

ABSTRACT V

الملخص VI

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE 4

I. PRESENTATION DU PARC NATIONAL DE CHREA 5

I.1. Historique et localisation du parc national de Chréa 5

II. PRESENTATION DE LA REGION DE TAMESGUIDA. 7

II.1. Situation Administrative et Géographique de la Zone d'Étude 7
II.2. Appartenance Phytogéographique de la Zon d'Étude 8
II.3. La géologie : 8
II.4. La géomorphologie 8
II.5. La pédologie 8
II.6. L'étude climatique 9
II.6.1. Source des Données Climatique 9
II.6.2. Les températures 11
II.6.3. Synthèse climatique 11
II.7. Les grandes unités écologiques de la région de Tamesguida 15

CHAPITRE 2: MATÉRIELS ET MÉTHODES 18

I. SITE D'ÉTUDE 19

I.1. Localisation géographique 19
I.2. Conditions climatiques 20

I.3. Caractéristiques écologiques.....21

II. COLLECTE DES ÉCHANTILLONS 23

II.1. Période de collecte 23
II.2. Protocoles de collecte 23
II.3. Conditions d'échantillonnage.....23
II.4. Transport et stockage.....24

III. PREPARATION DES ÉCHANTILLONS 24

III.1. Nettoyage 24
III.2. Séchage.....25
III.3. Broyage 26
III.4. Stockage 26
III.5 . Extraction des Composés Phytochimiques.....27
IV.1. Extraction hydro-alcoolique 27
IV.2. Extraction pour autres métabolites.....28

V. ANALYSES PHYTOCHIMIQUES 28

V.1. Dosage des Composés Phénoliques Totaux.....28
V.1.1.Principe 28
V.1.2.Mode opératoire 29
V.2. Dosage des Flavonoïdes.....30
V.2. 1.Principe 30
V.2.2.Mode opératoire 30
V.3. Activité Antioxydante (DPPH).....31
V.4. Analyse Chromatographique (HPLC) 32

VI. ANALYSE STATISTIQUE :.....32

VI.1. Analyse de la Variance (ANOVA).....32
VI.2. Corrélations entre Altitude et Concentrations de Composés phytochimiques.....32
VI.3. Analyse en Composantes Principales (ACP).....33

REPRODUCTIBILITE ET CONTROLES 33

VII.1. Réplicabilité.....33
VII.2. Contrôles Internes 33

CHAPITRE 3: RESULTATS, DISCUSSION ET PERSPECTIVES 35

I. TAUX D'EXTRACTION : 36

II. VARIABILITE DES COMPOSES PHYTOCHIMIQUES 36

III. INFLUENCE DE L'ALTITUDE SUR LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE 37

III.1. INFLUENCE DE L'ALTITUDE SUR LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE SELON L'EXPOSITION (NORD VS SUD). ... 38

IV. EFFET DE L'ETAGE DE VEGETATION 40

V. RELATIONS ENTRE COMPOSES PHYTOCHIMIQUES 42

VI. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) . 43

Implications écologiques et phytopharmaceutiques 44

CONCLUSION GENERALE 48

LISTE DES REFERENCES 51

LISTE DES ANNEXES 58



INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

La forêt méditerranéenne compte parmi les écosystèmes les plus riches en biodiversité au monde. Elle s'étend sur environ 64 millions d'hectares de forêts arborées et 19 millions d'hectares de formations subforestières telles que le maquis et la garrigue (**Seigue, 1985**). Sa délimitation repose sur des combinaisons complexes de facteurs climatiques et biogéographiques (**Ramade, 1996**). Cette région se caractérise par une grande diversité bioclimatique et écologique, en raison de variations d'altitude, de la nature des sols, de l'exposition et de l'humidité. Ces éléments contribuent à une richesse floristique et faunistique exceptionnelle (**Quézel et al., 1999 ; Quézel & Médail, 2003).**

Dans ce contexte, la notion de parc national a été définie par l'Union internationale pour la conservation de la nature **(UICN, 1978**) dans le but d'encadrer juridiquement la gestion des ressources naturelles. L'Algérie compte actuellement 11 parcs nationaux (DGF, 2007), dont celui de Chréa, créé en 1983 et classé réserve de biosphère en 2004. Ce parc couvre une superficie de 26 587 hectares **(Dahel, 2015).**

La région de Tamezguida, située dans la wilaya de Médéa, occupe la partie occidentale du Parc National de Chréa. Elle illustre parfaitement la complexité écologique de l'écosystème méditerranéen. Couvrant environ 4 100 hectares **(PNC, 2020),** cette zone présente une mosaïque de microclimats et de formations végétales liées à de forts gradients altitudinaux. Ces variations environnementales influencent directement la croissance des végétaux en modifiant les processus physiologiques et biochimiques des plantes.

Selon **Halfaoui (2017),** les écosystèmes forestiers méditerranéens se distinguent par une forte hétérogénéité spatiale et une vulnérabilité accrue face aux perturbations anthropiques. À l'échelle locale, la couverture forestière de Tamezguida est marquée par la dominance de formations dégradées, notamment de maquis, en raison d'impacts tels que les incendies, le surpâturage ou d'autres pressions humaines. Cette région, qui représente près d'un tiers du Parc National de Chréa, revêt ainsi un intérêt écobiologique majeur.

Parmi les facteurs écologiques déterminant la répartition et le fonctionnement des végétaux, l'altitude occupe une place centrale. Elle influence plusieurs variables abiotiques telles que la température, l'humidité, le rayonnement solaire et la pression atmosphérique, dont l'interaction modifie en profondeur les réponses physiologiques et biochimiques des plantes **(Körner, 2007).** Ces conditions propres aux milieux d'altitude ont un impact direct sur la biosynthèse des métabolites secondaires (flavonoïdes, phénols, tanins, alcaloïdes), des composés essentiels au système de défense des plantes face aux stress abiotiques tels

que le froid, les rayonnements UV ou encore le manque d'oxygène. Ces substances possèdent, en outre, des propriétés antioxydantes, photoprotectrices et antimicrobiennes **(Zidane et al., 2013 ; Wink, 2003).**

Dans un contexte de changement climatique et de pressions humaines accrues, il devient crucial de comprendre les mécanismes d'adaptation des végétaux aux variations environnementales. Si l'altitude est reconnue comme un facteur déterminant des conditions de croissance, peu d'études ont été consacrées à son effet sur la composition phytochimique des plantes dans les régions algériennes, notamment à Tamezguida. Ce travail s'inscrit donc dans une volonté de combler ce vide scientifique en explorant les effets de l'altitude sur la production de métabolites secondaires chez certaines espèces végétales de cette forêt. Il vise à répondre à la question suivante : Comment l'altitude influence-t-elle la composition phytochimique des feuilles des espèces végétales dans la forêt de Tamezguida ?

Pour répondre à cette problématique, plusieurs objectifs ont été définis :

- identifier les métabolites secondaires présents dans les feuilles d'espèces végétales sélectionnées, comparer leur concentration selon l'altitude,
- analyser les facteurs abiotiques impliqués (température, humidité, rayonnement solaire), établir des corrélations entre l'altitude et les teneurs en composés bioactifs,
- et enfin formuler des recommandations pour la conservation des espèces présentant un fort potentiel en métabolites secondaires.

Ce travail repose sur plusieurs hypothèses :

- Premièrement, la concentration des flavonoïdes augmente avec l'altitude, en réponse à un stress oxydatif accru lié à une plus forte intensité lumineuse et une température plus basse.
- Deuxièmement, les composés phénoliques totaux sont plus abondants en altitude, du fait de l'activation des voies de biosynthèse du phénylpropanoïde.

Troisièmement, le pouvoir antioxydant des extraits végétaux est plus élevé à haute altitude, en lien avec une accumulation plus importante de flavonoïdes et de polyphénols.

- Enfin, certaines espèces présenteraient une plus grande plasticité métabolique face à ces gradients, traduisant une capacité adaptative accrue.

Pour aborder cette étude, le mémoire est structuré en trois chapitres.

- Le premier chapitre présente la zone d'étude en décrivant ses caractéristiques biotiques et abiotiques, avec un accent particulier sur les effets de l'altitude.
- Le deuxième chapitre est dédié au matériel et aux méthodes, précisant les espèces

analysées, les modalités d'échantillonnage, les variables environnementales mesurées ainsi que les techniques de laboratoire employées pour l'analyse phytochimique et l'évaluation du pouvoir antioxydant.

- Le troisième chapitre expose les résultats obtenus, accompagnés d'une discussion visant à les interpréter à la lumière des hypothèses formulées et des données de la littérature.

Ainsi, cette recherche vise à enrichir la compréhension des mécanismes d'adaptation biochimique des plantes aux contraintes environnementales, en mettant en lumière le rôle crucial de l'altitude dans la modulation de la composition phytochimique de la flore locale. Elle contribue également à valoriser le potentiel biologique de la végétation de Tamezguida, dans une perspective de conservation et d'utilisation durable.



CHAPITRE 1: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La forêt méditerranéenne est l'une des plus importante du globe, elle occupe environ 65 millions d'hectares de forêts arborées et 19 millions d'hectares de formation Sub-forestières **(Seigue ,1985 in Lopez et al., 1996).**

L'Algérie se situe parmi les pays méditerranéens qui présentent une diversité écologique sans égal sur le plan bioclimatique, morphologique et floristique. Cette diversité se traduit par une richesse de paysages et de milieux naturels de grande qualité **(IUCN, 2007 in Yefsah, 2016).** Les forêts ont une flore exceptionnelle, certaines sont mondialement reconnues. Selon **Dahmani(1997)**, comprendre la biologie et l'écologie des espèces, ainsi que l'histoire et les facteurs actuels influençant la flore, est crucial pour la conservation de la biodiversité.

Notre région d'étude Tamesguida est un véritable trésor en matière de diversité, ce qui en fait un lieu d'étude parfait pour examiner et comprendre ses caractéristiques fonctionnelles.

I. Présentation du Parc National de Chréa

I.1. Historique et localisation du parc national de Chréa

L'idée de la création du parc national de Chréa remonte à 1912 sous l'impulsion de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, le Parc national de Chréa est créé par arrêt gouvernemental du 03 septembre 1925. Il couvrit alors une superficie de 1351 ha renfermant les forêts sectionnelles de Sidi-El-Kebir et celle de Ghellaie appartenant toutes les deux à la commune de Blida, et aussi la forêt sectionnelle de Terga appartenant alors à la commune de Berrouaghia. En 1983 le parc national de Chréa, établissement public à caractère administratif, chargé de la protection et de la promotion des ressources naturelles, fut créé par le décret n° 83- 461 du 23 Juillet 1983 (figure 1)



Figure 1:Localisation du parc national de Chréa

Le parc national de Chréa s'étend sur les topographies centrales de la chaîne atlasiquetellienne comprises entre les latitudes nord 36°19' et 36°30' et les longitudes est 2°38' et 3°02'.

Couvrant une surface totale de 26587 ha, son territoire est reparti successivement sur les hauteurs des monts de Hammam Meloune à l'est, les crêtes de Chréa au centre et Djebel Tamesguida à l'ouest. Il chevauche les wilayas de Blida et de Médéa, avec respectivement 67,25% et 32,75% de la superficie totale **(DGF 2006)**

II. Présentation de la région de Tamesguida.

II.1. Situation Administrative et Géographique de la Zone d'Étude

La région de Tamesguida appartient à la commune de Tamesguida qui occupe une superficie de 4100 ha, et aussi subordonné à la daïra de Médéa et à la wilaya de Médéa (PNC ; 2020). Elle se localise au pied du djebel Mouzaia à 12 Km au Nord- Ouest de wilaya Médéa. Elle couvre la partie occidentale du PNC, secteur ElHamdania
(Figure 07).

Elle se situe entre les longitudes 2°38´18,10" à 2°46´18,10" Est, et les parallèles 36°20´44,00" à 36°22´32,15" Nord. Elle est limitée :

- Au Nord par la commune de Chiffa
- A l'Est par la commune d'El Hamdania
- Al'Ouest par le barrage El Mostekbel
- Au Sud par la commune Tamesguida.

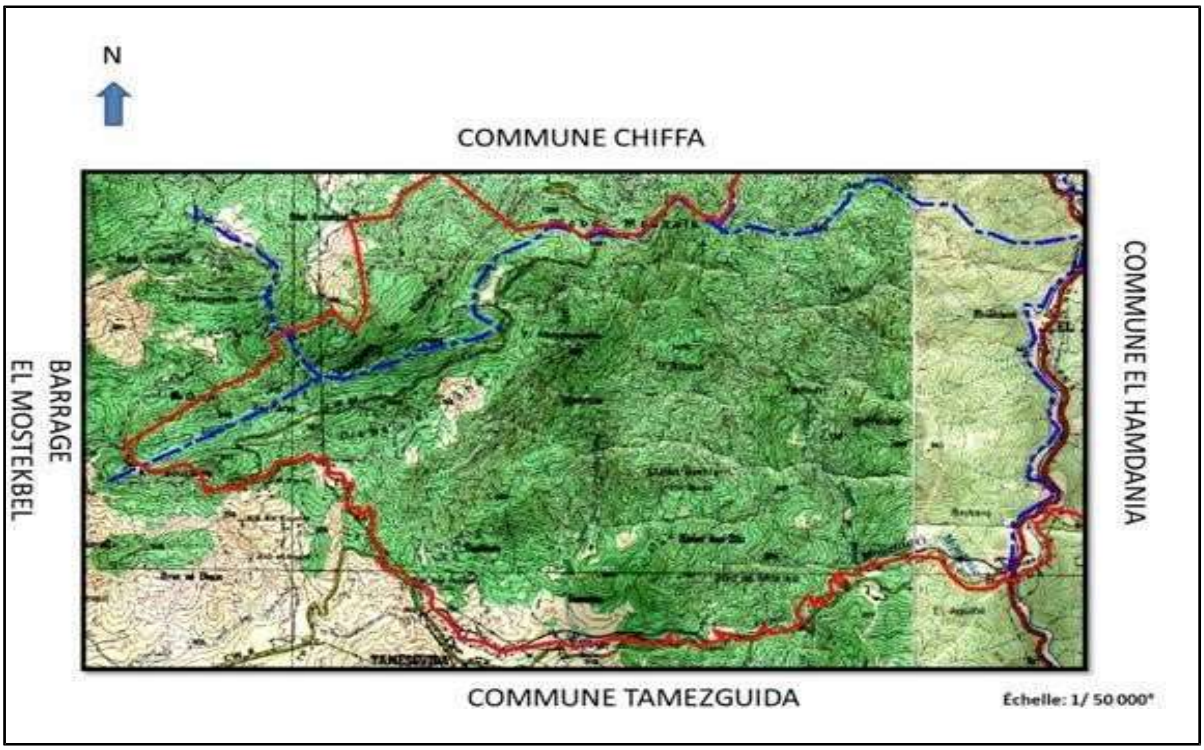


Figure 2:Localisation géographique de la région de Tamesguida.

Source : P.N.C (2020).

II.2. Appartenance Phytogéographique de la Zon d'Étude

La zone de Tamesguida et elle appartient à la région phytogéographique du Tell Atlas. Cette région est caractérisée par une grande diversité d'écosystèmes, allant des forêts de chênes et de cèdres aux prairies et aux steppes. Elle abrite également une grande variété de flore et de faune endémiques et est considérée comme l'une des zones les plus riches en biodiversité d'Afrique du Nord.

Selon **Quézel et Santa (1962-1963**) la flore méditerranéenne actuelle est le résultat d'un mélange de plantes préexistantes, provenant de plusieurs régions différentes, qui se sont adaptées et ont évolué au fil du temps pour former la flore actuelle du bassin méditerranéen. Ils ont également suggéré que les variations paléogéographiques liées aux mouvements tectoniques ont joué un rôle important dans la diversification de la flore de la région.

II.3. La géologie :

La commune de Tamesguida se distingue par la prédominance de roches tendres, notamment des marnes, qui façonnent le paysage des « bad-lands ». Ce paysage représente une caractéristique distinctive des chaînes sud telliennes. **(Halfaoui, 2017)**. Les formes du relief sont en rapport étroit avec la nature du sous-sol **(Taillefer, 1943 ; Lizet et de Ravignan, 1987).**

II.4. La géomorphologie

La région de Tamesguida se trouve dans une zone montagneuse plissée d'origine alpine, présentant un relief très accidenté **(Meddour, 2002).**

La présence de falaises et de gorges témoigne de l'intensité de l'érosion dans la région. Les versants méridionaux, quant à eux, sont moins prononcés et s'inclinent doucement vers les hauts plateaux, qui présentent un relief peu accidenté, avec une pente inférieure à 10% **(Nedjahi, 1988 in Alia et Khetab, 2019)**

II.5. La pédologie

Les principaux facteurs écologiques qui influencent l'évolution des sols sont le climat, la nature de la roche mère, la topographie, la végétation et l'intervention humaine **Duchaufour (1960).**

Étant donné que notre étude porte sur la partie occidentale du Parc National du chréa **(PNC)** la région de Tamesguida est généralement caractérisée par une abondance d'éléments grossiers, principalement en raison d'une érosion plus intense **Melouani (2014**

II.6. L'étude climatique

Le climat de Tamesguida est défini à l'aide de l'exploitation de données climatiques de la station de l'Office National de météorologie (O.N.M) de Tibhirine située à 1030 mètres d'altitude et à une distance de 4 kilomètres à vol d'oiseau de la commune de Tamesguida. Les données récoltées auprès de cette station concernent la période allant de 2007 à 2016. (Halfaoui ,2017).

II.6.1. Source des Données Climatique

II.6.1.1 La Pluviosité :

La pluviosité est un élément fondamental en écologie. Elle est représentée par la quantité total de précipitation reçue par unité de surface et unité de tempe **(RAMDAE, 2003).**

Selon **(Djebaili, 1978 in Hamdad, 2017)** La pluviosité joue un rôle primordial dans la détermination du type de climat, La quantité de précipitations varie en fonction de la distance par rapport à la mer et de l'exposition des versants aux vents humides **(Djebaili, 1984)**.

II.6.1.2. Pluviosité Moyenne Mensuelle Annuelle

La quantité de pluviométries mensuelle de la région de tamesguida pour l'année (20072016) sont mentionnées dans le **tableau 1.**

Tableau 01 : Moyennes mensuelle et annuelles des précipitations de la région tamezguida (2007-2016)

Moins	Jan	Fév.	Mrs	Avr.	Mai	Jun	Jule	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc	Totale annuelle de p(mm)
P(mm)	92.5	124.7	104.7	79.7	58.8	12.3	4.3	8.7	40.6	46.8	103	87,4	763

Source:(O.N.M Tibhirine, 2007-2016)

Le cumul des précipitation annuelles enregistrées à tamezguida durant l'année 2007-2016 est égale à 763mm. Le mois le plus pluvieux est le mois de février avec un 124.7mm et le mois le plus sec juillet avec 4.3mm

II.6.1.3. Régimes Saisonniers

Le cycle de croissance des végétaux est étroitement lié aux rythmes saisonniers. Ce régime saisonnier fournit des indications sur la répartition des pluies, selon un ordre

décroissant de pluviosité, nous obtenons ainsi une sorte « d'indicateur saisonnier ». » (Tableau 02) (Figure 03).

- Printemps (p) : Mars-Avr
- Automne(A) : Septembre -Novembre -Octobre
- Hiver(H) : Décembre-Janvier- Février
- Eté(E) : Juin-Juillet-Aout

Tableau 02 : régime saisonnier précipitation de station de tamesguida.

Saisons	H	P	E	A	Régime saisonnier
Station tamezguida	101.53	80.9	25.3	63.47	HPAE

D'après le tableau (2), nous remarquons que type de région saisonnier : **HPAE** pour la station de tamesguida.

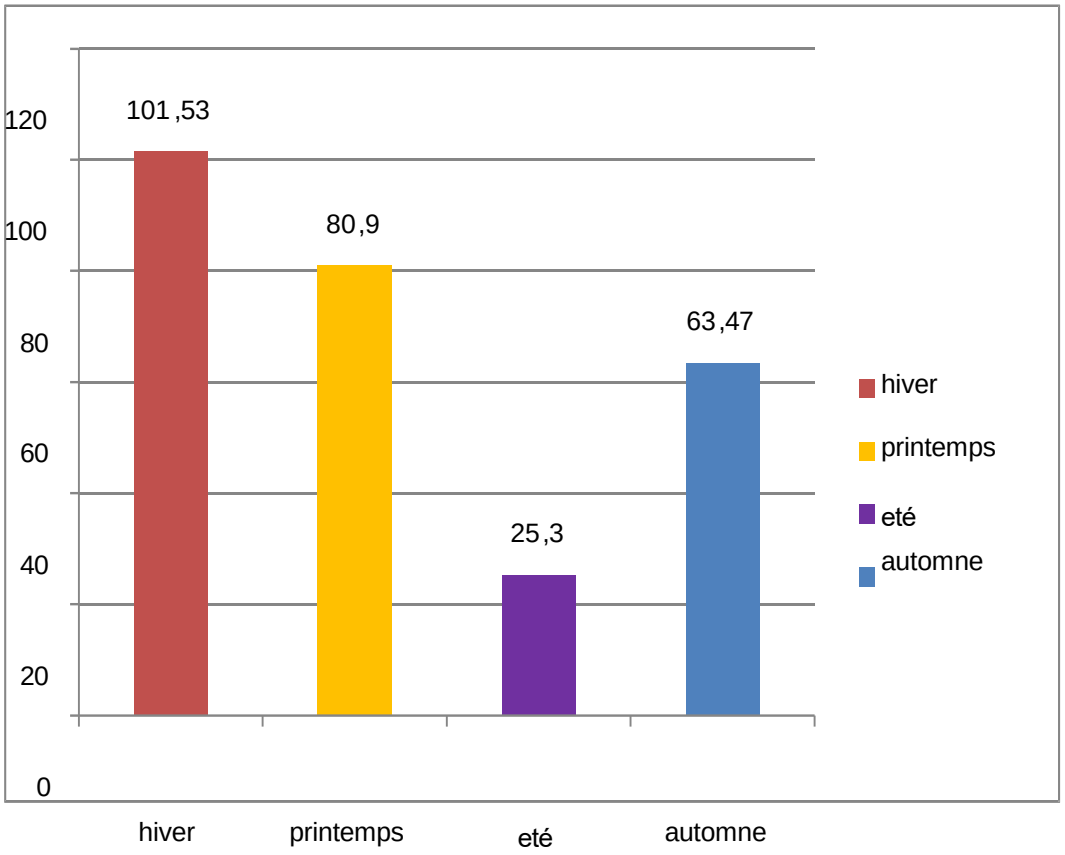


Figure 3:Régime pluviométrique saisonniers

Source:(O.N.M Tibhirine ,2007-2016)

II.6.2. Les températures

La température, mesurée à l'aide d'un thermomètre, est un facteur crucial qui influence directement des processus vitaux tels que la respiration et la photosynthèse. Ses variations importantes selon les latitudes, altitudes et saisons conditionnent largement la répartition des espèces et des communautés **(Ramade, 2003).**

Tableau 03: Moyennes des températures mensuelles de la région de Tamesguida (2007-2016).

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec
M(°C)	15.7	15.5	19.4	24.1	28.9	33.5	37.4	36.3	32.1	28.1	20.3	16.7
m(°C)	0.1	-0.5	0.3	4.3	6.8	11.5	17	16.4	12.7	7.8	2.9	1.1
M+m/2(°C)	7.9	**7.5**	9.85	14.2	17.85	22.5	**27.2**	26.35	22.4	17.95	11.6	8.9
M-m(°C)	15.6	16	19.1	19.8	22.1	22	20.4	19.9	19.4	20.3	17.4	15.6

source: (O.N.M Tibhirine, 2007-2016 in Halfaoui, 2017).

Le tableau 03 présente les paramètres thermiques mensuels, incluant les températures minimales (m), maximales (M), moyennes (M+m)/2, et l'amplitude thermique (M - m).

Le mois de juillet se distingue comme le plus chaud, affichant une température moyenne de 27,2°C, tandis que le mois de février est le plus froid, avec une température moyenne de 7,5°C (tableau). Dans notre zone d'étude, l'amplitude thermique s'élève à environ 18,96°C.

II.6.3. Synthèse climatique

Pour synthétiser le climat régional, plusieurs indices climatiques ont été développés. Cette étude examinera en particulier deux outils : le diagramme ombrothermique de **Bagnouls et Gaussen (1953**), qui illustre les variations de température et de précipitations sur une période annuelle, et le climagramme pluviothermique d'**Emberger (1955), considéré** comme l'outil le plus efficace pour décrire le climat méditerranéen. Ces graphiques sont essentiels pour comprendre les caractéristiques climatiques d'une région spécifique, notamment dans le cadre de la classification des climats selon la méthode de **Köppen**.

II.6.3.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953)

Selon **Bary, Lenger et *al* (1979),** les précipitations et la température jouent un rôle fondamental dans le climat. La croissance des végétaux dépend principalement de deux facteurs ;

- L'intensité et la durée des périodes de froid, qui impactent la dormance hivernale des plantes.

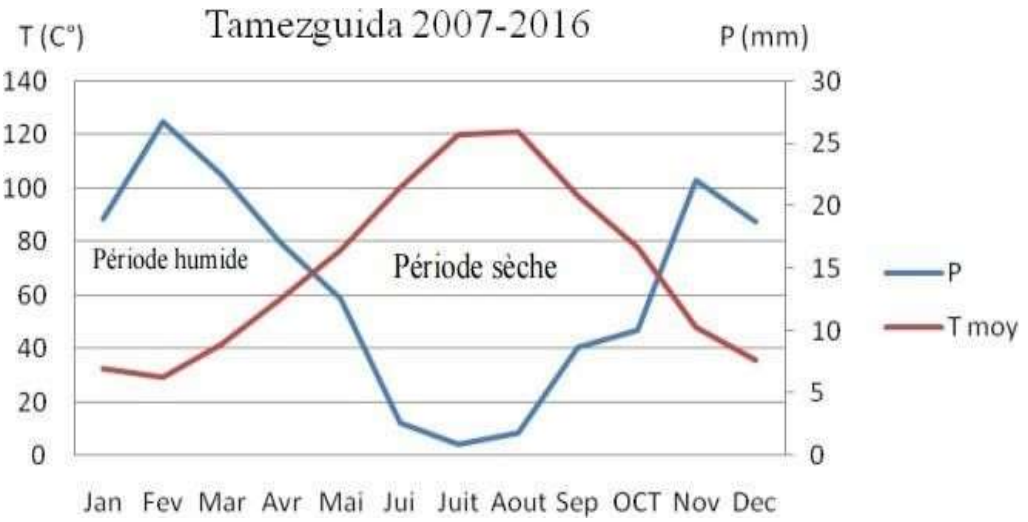


Figure 4:Diagrammes ombrothermique de BAGNOLS et GAUSSEN de la région de Tamesguida

- La durée des périodes de sécheresse estivale.

Dans leur étude de **1953**, **Bagnouls et Gaussen** définissent un mois comme sec lorsque le total des précipitations (P), exprimé en millimètres (mm), est égal ou inférieur au double de la température (T), exprimée en degrés Celsius (°C) : $P < 2T$.

En utilisant le diagramme ombrothermique élaboré par **Bagnouls et Gaussen**, il est possible d'évaluer la durée et l'intensité de la période sèche. Ce diagramme est construit en plaçant les mois de l'année sur l'axe horizontal, les précipitations moyennes mensuelles (exprimées en mm) sur l'axe vertical de gauche, et les températures (exprimées en °C) sur l'axe vertical de droite. Les échelles sont choisies de manière à ce que chaque degré Celsius corresponde à 2 mm de précipitations.

Selon les données de la figure **4**, la station de TAMESGUIDA connaît deux périodes distinctes. La première période sèche commence en mai et se termine en septembre, caractérisée par des températures élevées et des précipitations très faibles. La seconde période, humide, s'étend sur le reste de l'année, à l'exception de septembre à mai.

II.6.3.2. Le Quotient Pluviothermique d'Emberger (1955)

Emberger a défini les étages bioclimatiques en se basant sur les deux facteurs, le quotient pluviométrique <<Q2>> et la température du mois le plus froid <<m>>**(Ozenda, 1982).**

Le Quotient d'Emberger est exprimé par la formule suivante : Q2=2000P/M2 -m2

- P: exprime les précipitations annuelles exprimées en (mm).
- M: exprime la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en K°.
- m: exprime la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en K°.

NB : les températures sont exprimées en degrés Kelvin°=T°+273pour la station de Tamesguida.

La représentation graphique porte "m" sur l'axe des abscisses et "Q2" sur celui des ordonnées. Les valeurs du quotient correspondent aux différents étages bioclimatiques ainsi qu'aux températures minimales du mois le plus froid.

La continentalité est déterminée par l'amplitude thermique moyenne extrême, calculée selon la méthode de **Debrach (1953)** (M-m). Cette approche nous permet de caractériser le type de climat **(Halfaoui , 2017).**

Selon les données climatiques, l'amplitude thermique du site d'étude est de 37,9°C, confirmant ainsi un climat continental. Le quotient pluviothermique calculé pour la période (2007-2016) s'élève à Q2 = 69,08 et la valeur de m est de -0,5°C. On peut donc placer de site d'étude dans l'étage bioclimatique subhumide à variante d'hiver froid sur le climagramme d'Emberger voir **figure 5**

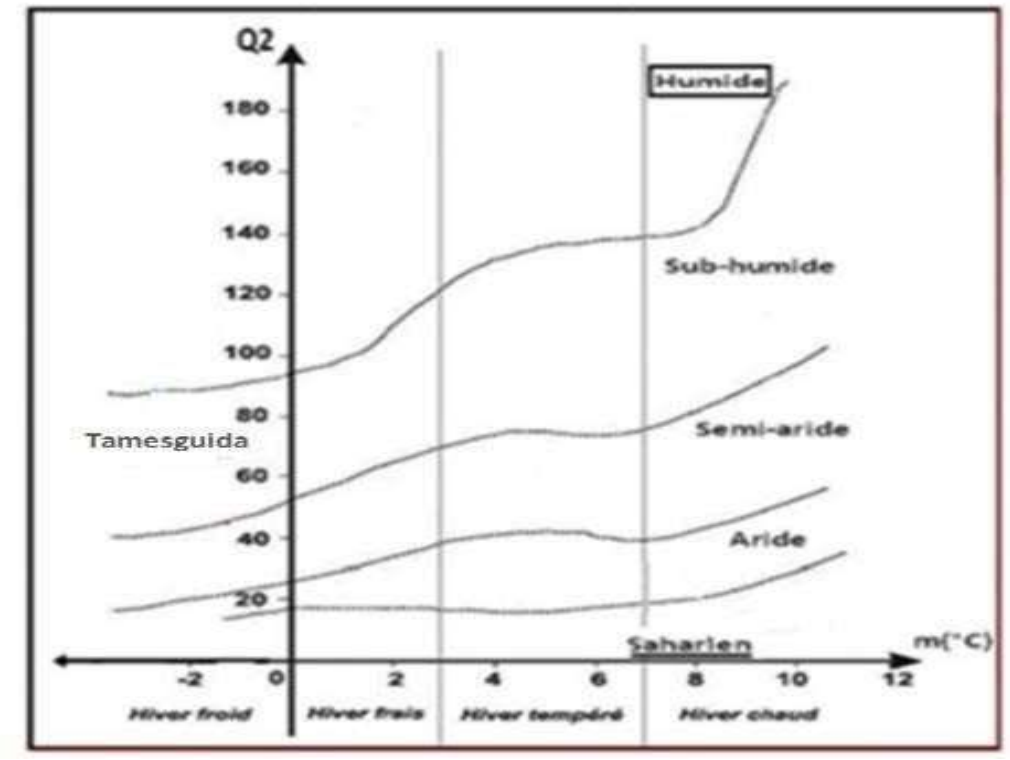


Figure 5Le Climagramme d'BERGER de la région Tibhirine pour la période allant de 20072016

Le tableau 04 présente l'ensemble des étages bioclimatiques définis au niveau de la région méditerranéenne selon **Emberger (1952)**

Tableau 04 : Etages bioclimaques selon Emberger (1952)

Q2	P(mm)	Zone bioclimatique
Q2<10	P<100	Saharienne
10<Q2<45	100<P<400	Aride
45<Q2<70	400<P<600	Semi -Aride
70<Q2<110	600<P<800	Sub -humide
110<Q2<150	800<P<1200	Humide
Q2 > 150	P<1200	Per-humide

II.7. Les grandes unités écologiques de la région de Tamesguida

L'une des originalités de la région de Tamesguida réside dans la diversité des unités écologiques, ce qui permet d'observer le maintien d'une multitude de paysages, tous imbriqués les uns dans les autres donnant à la physionomie de toute la région une image où se mêlent des milieux naturels. Parmi ces unités qui abritent une diversité biologique très importante nous citons :

- **Djbel Sidi Brahim :** il représente le côté Nord de la région de Tamesguida à une altitude de 1180 mètre, il se situe entre les latitudes 36°,39'55'' et les longitudes 2°,71'28''.
- **Djbel Kaf Nhal :** il représente le côté Ouest de la région de Tamesguida à une altitude de 1200 mètre, il se situe entre les latitudes 36°,34'55'' et les longitudes 2°,68'57''.
- **Djbel Tamesguida :** il représente le côté Sud de la région de Tamesguida à une altitude de 700 mètre, il se situe entre les latitudes 36°,33'59'' et les longitudes 2°72'01''.
- **Djbel Zawia :** il représente le côté Sud- Ouest de la région de Tamesguida à une altitude de 900 mètre, il se situe entre les latitudes 36°,34'34'' et les longitudes 2°,66'38''.
- **Djbel El-Houachem** : il représente le côté Est de la région de Tamesguida à une altitude allant de 600 à 1000 mètre, il se situe entre les latitudes 36°,35'50'' et les longitudes 2°,75'77''.
- **Lac Tamesguida :** dit aussi lac des "Sangsues" du temps de la colonisation, lac Suspendu, lac Mouzaia, ou encore lac Dhaïa (**Boussalem, 2014**), il se positionne à une latitude de 36° 21'58.08" et une longitude de 2°41'30.08' **(PNC, 2009).**

Tamesguida est une zone humide naturelle temporaire située à 12 km au Sud- Est de la wilaya de Médéa dont il dépend administrativement et dans la commune de Tamesguida. Il constitue, de ce fait, un site naturel original grâce à ses atouts paysagers d'une part, et à la faune et à la flore qu'il héberge d'autre part et même avant cela seul le caractère endoréique de l'écosystème est d'emblée un facteur d'importance vu la relative rareté de ce type de milieu en Algérie (Figure06). En effet nombreuses espèces animales, dont certaines sont protégées, mais également une diversité floristique parmi lesquelles des essences aux vertus médicinales avérées s'y côtoient. **(PNC ,2009).** Cet écosystème est en voie de classement sur la liste de la convention Ramsar des zones humides d'importance internationale selon les

critères 01, 02 et 03.

Le lac Tamesguida constitue une entité hydro-géomorphologie importante situé dans la partie Nord-Ouest du parc National de Chréa **(Chanane et Sakri, 2015).** Il s'étend sur une superficie de 8 h (assiette) **(P.N.C, 2009).** Mais sa superficie remplie varie entre 2 et 4 h selon la période estivale ou hivernale et selon la quantité des pluies tombés (Boussalem, 2014).

C'est une eau naturelle issue de la pluie et de la fonte de neige importante en période hivernale. Cette eau est filtrée par la couverture végétale relativement dense qui s'étale sur le bassin versant du lac de Dhaïa **(PNC, 2009).**

L'eau est plus ou moins permanente dans le lac même en saison estivale. Cependant on observe une sensible fluctuation durant l'année. Le niveau fluctue entre 2 mètres en hiver à moins de 1 mètre en été. Pendant les périodes les plus froides de l'hiver lorsque les températures avoisinent le zéro et descendent plus bas les eaux du lac Tamesguida gèlent **(Boussalem, 2014).**

Le pH de l'eau varie de 7,94 à 9 ,20 avec une moyenne de 8,57, donc l'eau du lac est alcaline **(Boussalem, 2014).**



Figure 6:Vue générale de la zone humide de Dha

Le premier chapitre présente les caractéristiques générales ainsi que les principaux aspects physiques et bioclimatiques de la zone d'étude. L'analyse du milieu physique est cruciale pour saisir les interactions complexes entre le climat, le relief et les écosystèmes, et ainsi mieux anticiper les défis environnementaux **(FAO, 2021).**



CHAPITRE 2: MATÉRIELS ET MÉTHODES

Il existe diverses méthodes d'extraction, allant des techniques traditionnelles comme la macération et la décoction, aux méthodes plus modernes et respectueuses de l'environnement telles que l'extraction assistée par ultrasons ou l'extraction au fluide supercritique **(AzwanidaNN, 2015)** Plantes Médicinales et Aromatiques "Une revue sur les méthodes d'extraction utilisées dans les plantes médicinales, principes, forces et limitations.").

I. Site d'Étude

I.1. Localisation géographique

L'étude a été conduite dans la forêt de Tamzguida, située dans la Wilaya de Médéa, au centre-nord de l'Algérie. Ce site a été choisi pour sa biodiversité et ses variations écologiques remarquables, notamment en raison de ses différents niveaux d'altitude qui permettent d'étudier les effets des gradients altitudinaux sur la composition chimique des feuilles de plante. La région est caractérisée par un climat méditerranéen avec des variations marquées en fonction de l'altitude, ce qui en fait un lieu idéal pour examiner les facteurs environnementaux influençant les métabolites végétaux. L'étude s'est concentrée sur trois altitudes distinctes dans cette région pour explorer comment la composition chimique des feuilles change en fonction de la laltitude :

➢**Basse Altitude (600m) :** les forêts méditerranéennes avec des températures relativement élevées et une végétation dominée par des espèces telles que ***Quercus ilex*** *(chêne vert)* et ***Olea europaea*** *(olivier sauvage).* Cette altitude est caractérisée par une plus grande exposition au soleil et une faible humidité en comparaison avec les altitudes plus élevées **(Mansouri et al., 2019).**

➢**Altitude Moyenne (1200m) :** où le climat devient plus variable, avec des hivers plus froids et des périodes plus longues de couverture nuageuse. Ce niveau altitudinal est une zone de transition entre les paysages basmontagnards et montagnards, créant des conditions écologiques uniques propices à l'étude de la diversité chimique des plantes **(Zaoui et al., 2020).**

➢**Haute Altitude (2400 m) :** Cette altitude est caractérisée par un climat montagnard avec des températures plus fraîches et un taux d'humidité plus élevé. L'écosystème est beaucoup plus proche des forêts de haute altitude et présente des conditions écologiques radicalement différentes par rapport aux altitudes inférieures, telles que des sols plus acides et une végétation dominée par des espèces résistantes au froid comme le ***Cèdre atlantica*** *(cèdre de l'Atlas)* et le ***Juniperus oxycedrus*** *(genévrier rouge)* **(Boudy et al., 2017).**

I.2. Conditions climatiques

Les variations climatiques induites par l'altitude sont des facteurs cruciaux influençant la physiologie des plantes et leur composition chimique **(Körner, C. 2007)**. Ces variations ont été observées comme suit :

➢**Température :** La température diminue généralement avec l'altitude, affectant directement la photosynthèse et la production de métabolites secondaires dans les plantes. À des altitudes plus élevées, les plantes sont exposées à des températures plus basses, ce qui peut ralentir la croissance et modifier la production de certains composés chimiques, notamment les anthocyanines et les flavonoïdes, qui sont souvent influencés par des facteurs de stress thermique **(Chadli et al., 2020).**

➢**Humidité :** Les altitudes plus élevées sont généralement associées à un taux d'humidité plus élevé, dû à la condensation de l'humidité de l'air et à la présence de brume ou de brouillard. Cela peut influencer la capacité des plantes à accumuler certains métabolites secondaires, particulièrement ceux impliqués dans la réponse aux stress hydriques **(Benali et al, 2018).** En revanche, les altitudes inférieures ont tendance à être plus sèches, ce qui modifie la disponibilité de l'eau pour les plantes et, par conséquent, leur capacité à produire des composés tels que les tanins, connus pour leurs propriétés antioxydantes.

➢**Ensoleillement :** Les altitudes plus élevées bénéficient d'une exposition plus directe au soleil, ce qui peut favoriser la photosynthèse et la production de certains composés, comme les caroténoïdes, qui sont souvent impliqués dans la protection contre l'exposition aux UV **(Yahia et al., 2019).** Les altitudes plus basses, en revanche, peuvent avoir un ensoleillement moins direct en raison de la couverture nuageuse fréquente.

➢**Précipitations :** Bien que les précipitations n'aient pas été mesurées directement dans cette étude, il est bien connu que les altitudes plus élevées connaissent souvent plus de précipitations, notamment grâce aux phénomènes orographiques. Ces précipitations influencent la croissance des plantes et modifient leur capacité à produire certains métabolites, en particulier ceux impliqués dans la résistance à l'humidité excessive, comme les flavonoïdes et autres composés hydrosolubles **(Sari et al., 2021).**

I.3. Caractéristiques écologiques

La forêt de Tamzguida abrite une flore diversifiée, dominée par des espèces forestières pérennes Les stations choisies sont réparties selon un gradient altitudinal **(Berrached, 2017)** dont l'ordre est le suivant :

2 Station dans l'étage de végétation thermo méditerranéen

les espèces dominantes :

I. versant nord ; *Ampelodesmos, mauritanicus, Pistacia lentiscus, Olea europaea,*
II. versant sud ; *Pistacia lentiscus, Olea europa,Calicotome spinosa Ceratonia siliqua, Lotus ornithapodioides*

2 Station dans l'étage de végétation méso méditerranéen

les espèces dominantes :

III. versant nord ; *Ampelodes mosmauritanicus, Calicotome spinosa, ferula communis,Asphodelus*
IV. versant sud ; *Quercus ilex, Quercus suber,ferula communis ,Bupleurum Spinosum*

2 Station dans l'étage de végétation supra méditerranéen ;

Les espèces dominants :

V. versant nord ; *Quercus suber,Rubus umifoluis,ilex aquifoluim*
VI. versant sud ;*quercus ilex,cratogus axycantha, ferula communis*



1Station thermo méditerranéen nord



1Station thermo méditerranéen sud



1Station méso méditerranéen nord



1Station méso méditerranéen sud



1station supra méditerranéen nord



1station supra méditerranéen sud

II. Collecte des Échantillons

II.1. Période de collecte

Les échantillons ont été collectés au printemps, plus précisément au mois d'avril, car cette période correspond au début du cycle végétatif et à une phase de forte activité biologique pour les plantes. C'est à ce moment que les métabolites secondaires, tels que les flavonoïdes et les alcaloïdes, sont produits en grande quantité. Ce timing est crucial pour analyser les variations chimiques des jeunes pousses, avant que les conditions climatiques estivales plus extrêmes (chaleur et sécheresse) n'affectent la production des métabolites **(Douaik et al., 2020).**

II.2. Protocoles de collecte

Pour garantir la validité des résultats et éviter les biais, la collecte des échantillons a été réalisée selon un protocole précis :

➢**Sélection des arbres :** Cinq arbres ont été choisis de manière aléatoire à chaque niveau d'altitude, en veillant à ce que chaque arbre ait un état sanitaire optimal, sans signes de maladies visibles ou de dommages causés par des agents abiotiques (vent, feu, etc.) **(Boudy et al., 2017).** Cette approche permet de limiter les variabilités biologiques dues aux différences intra-espèce.

➢**Feuilles collectées :** Cinquante feuilles ont été récoltées par arbre, en tenant compte de la position des feuilles (branches basses, moyennes et supérieures). Cette diversité d'emplacement permet d'examiner l'impact des microclimats à l'intérieur de l'arbre, car l'exposition au soleil et les conditions de température varient en fonction de la hauteur de la branche **(Zouhair et al., 2019).**

II.3. Conditions d'échantillonnage

Seules les feuilles jeunes, non endommagées et présentant des signes visibles de bonne santé ont été sélectionnées pour éviter toute contamination ou biais dans les résultats. Chaque échantillon a été minutieusement numéroté et étiqueté afin de garantir un suivi et une traçabilité rigoureux (**Zaoui et al., 2020).**

II.4. Transport et stockage

Les échantillons ont été placés dans des sacs en papier pour éviter l'humidité excessive et permettre une bonne aération, prévenant ainsi la moisissure. Ils ont ensuite été stockés à -20 °C, assurant ainsi leur préservation chimique avant d'être traités en laboratoire **(Chadli et al., 2020).**



Figure07:Exemple d'image d'un échantillonnage Placé Dans des sacs hermétiques



Figure08:collecte des échantillonnage

III. Préparation des Échantillons

III.1. Nettoyage

Avant l'analyse chimique, les feuilles ont été soigneusement lavées à l'eau distillée afin d'éliminer toute contamination externe comme la poussière, les résidus de produits chimiques, ou d'autres impuretés. Ce nettoyage a été effectué sous des conditions stériles pour éviter toute introduction accidentelle de contaminants biologiques qui pourraient affecter la qualité des résultats (**Zaoui et al., 2020).**



Figure*09*:Exemple d'image d'une feuille Pendant le nettoyage

III.2. Séchage

Une fois nettoyées, les feuilles ont été séchées à l'air libre sous l'ombre pendant 48 heures pour éviter la dégradation des métabolites volatils ou sensibles à la lumière. Après cette première phase, les feuilles ont été placées dans une étuve à 40°C pendant 72 heures pour garantir une déshydratation complète tout en préservant l'intégrité des composés chimiques sensibles à la chaleur **(Yahia et al., 2019).** Cette méthode permet de minimiser la perte de métabolites volatils comme les terpènes et les flavonoïdes.



Figure 10:Exemple d'image d'une feuille Pendant le séchées naturel



Figure11:Etape de séchage en utilisant l'etuve à 40°c

III.3. Broyage

Une fois les feuilles séchées, elles ont été broyées les feuilles dans un stérile pour obtenir une poudre fine. Ce broyage permet une meilleure extraction des métabolites phytochimiques en augmentant la surface de contact entre le solvant et les tissus végétaux. La poudre ainsi obtenue est plus homogène et permet une extraction optimale des composés (Chadli et al., 2020).



Figure 12:Préparation d'échantillons à l'aide d'un broyeur

III.4. Stockage

La poudre obtenue a été stockée dans des récipients hermétiques à -20°C pour préserver la stabilité des métabolites phytochimiques et éviter toute dégradation due à l'humidité, à la chaleur ou à la lumière. Cette étape est cruciale pour maintenir la qualité des échantillons jusqu'à leur analyse **(Hachem et al., 2020).**



Figure 13:Stocke la poudre dans des récipients hermétiques à à20°C

III.5 . Extraction des Composés Phytochimiques

L'extraction des composés phytochimiques s'est fondée sur des méthodes traditionnelles recourant à des solvants et à des processus physiques.

IV.1. Extraction hydro-alcoolique

L'extraction des métabolites hydrosolubles a été effectuée à l'aide d'une solution de méthanol à 70 %, choisie pour sa capacité à solubiliser une large variété de composés phytochimiques tels que les polyphénols, les flavonoïdes et d'autres métabolites impliqués dans les mécanismes de défense des plantes (Douaik et al., 2020). Pour ce faire, 1 g de poudre de feuilles a été mélangé à 10 mL de méthanol à 70 %, puis le mélange a été agité pendant 24 heures à température ambiante à 150 rpm à l'aide d'un agitateur magnétique. Après cette étape, les extraits ont été centrifugés à 4000 rpm pendant 10 minutes afin de séparer la phase liquide de la phase solide. Le surnageant a ensuite été filtré à l'aide de filtres en papier Whatman n°1, puis conservé à 4 °C jusqu'à utilisation.

IV.2. Extraction pour autres métabolites

VII. **Hexane :** Ce solvant a été utilisé pour extraire les terpènes, des composés lipophiles qui sont souvent présents en faibles concentrations mais jouent un rôle important dans la défense chimique des plantes et leur interaction avec l'environnement. L'extraction à l'hexane est particulièrement adaptée aux composés volatils et aromatiques (**Ragab et al., 2021).**

VIII. **Eau distillée :** L'eau distillée a été utilisée pour l'extraction des tanins, un groupe de polyphénols solubles dans l'eau, connus pour leurs propriétés antioxydantes et leur rôle dans la résistance des plantes au stress **(Chadli et al., 2020).**

V. Analyses Phytochimiques

Nos travaux ont porté sur la mise en évidence des principaux groupes chimiques tels que les polyphénols, alcaloïdes, tanins, flavonoïdes, anthraquinones, terpénoïdes et saponines, à l'aide de tests phytochimiques réalisés en tubes à essai. Ces tests, basés sur des réactions caractéristiques de coloration, de turbidité ou de précipitation, ont permis de détecter la présence ou l'absence de composés appartenant aux grandes familles de métabolites secondaires **(Halla, 2016).**

V.1. Dosage des Composés Phénoliques Totaux

V.1.1.Principe

Le réactif utilisé dans cette méthode est le réactif de Folin-Ciocalteu, un mélange d'acides phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$), de couleur jaune. Le principe repose sur l'oxydation des composés phénoliques par ce réactif, ce qui conduit à la formation d'un complexe bleu à base de molybdène et de tungstène. Ce complexe absorbe la lumière à une longueur d'onde de 760 nm. La teneur en polyphénols est déterminée en comparant la densité optique (D.O) mesurée à celle obtenue avec une solution étalon d'acide gallique de concentration connue (Muanda, 2010).

V.1.2.Mode opératoire

Dans un tube à essai, ajouter 0,2 mL d'extrait, 0,8 mL d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5 % et 1 mL de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué à 1 N). Les tubes sont agités, puis incubés pendant 30 minutes à température ambiante. La densité optique est mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, avec un blanc comme référence. Les expériences sont répétées trois fois. La concentration en équivalent d'acide gallique (EAG) est exprimée en mg/g de matière sèche.

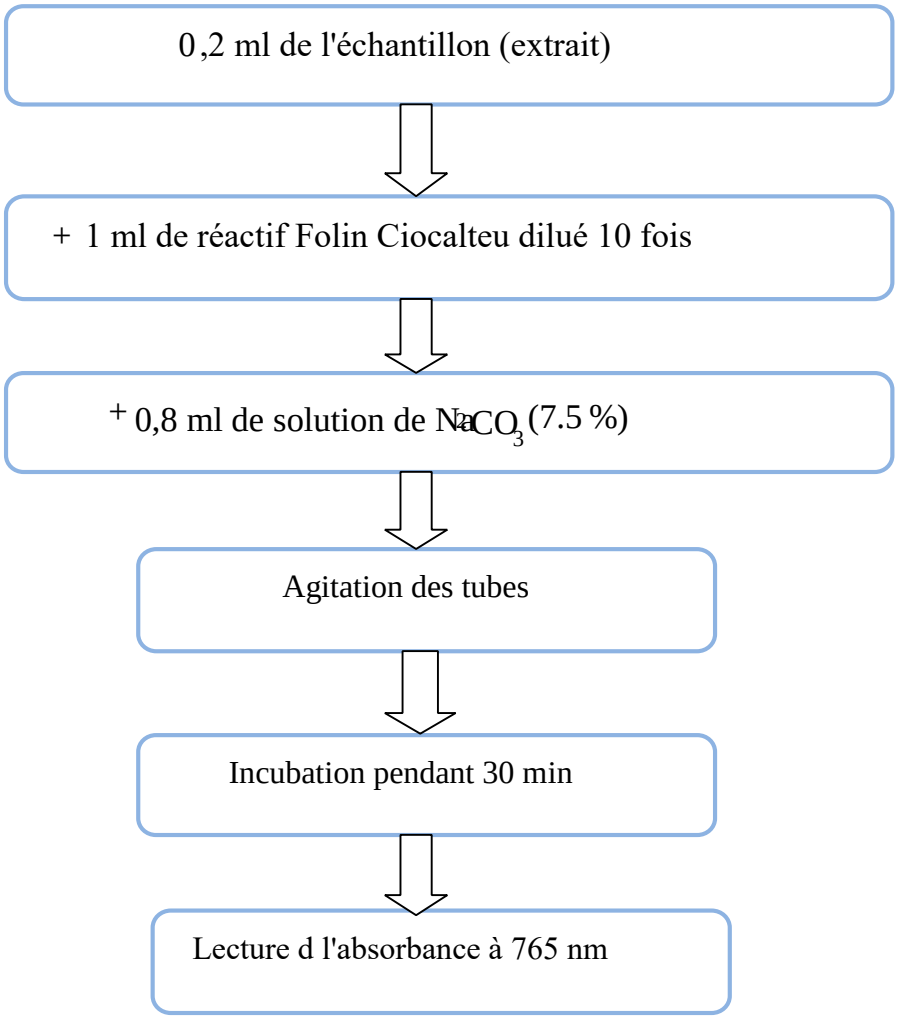


Figure 14:Protocole du dosage des polyphénols totaux

V.2. Dosage des Flavonoïdes

Les flavonoïdes, un sous-groupe des polyphénols.La teneur en flavonoïdes des extraits a été déterminé par la méthode colorimétrique utilisant le trichlorure d'aluminium **($AlCl_3$)**, selon la méthode décrite par **Yahiaoui et al. (2018).**

V.2. 1.Principe

Selon (**Hireche et al. (2013))**, le trichlorure d'aluminium réagit avec les flavonoïdes pour former un complexe de couleur jaune, tandis que la soude forme un complexe rose dont l'absorbance maximale dans le domaine visible se situe à 510 nm.

V.2.2.Mode opératoire

khedemelek fihLes flavonoïdes sont quantifiés à l'aide du réactif **$AlCl_3$**. Pour cela, 0,5 mL d'extrait est mélangé à 1,5 mL de méthanol, puis 0,1 mL de chlorure d'aluminium à 10 % et 0,1 mL d'acétate de potassium **(1 M)** sont ajoutés. Après une incubation de 30 minutes à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 415 nm. Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalents quercétine par gramme **(mg EQ/g)**

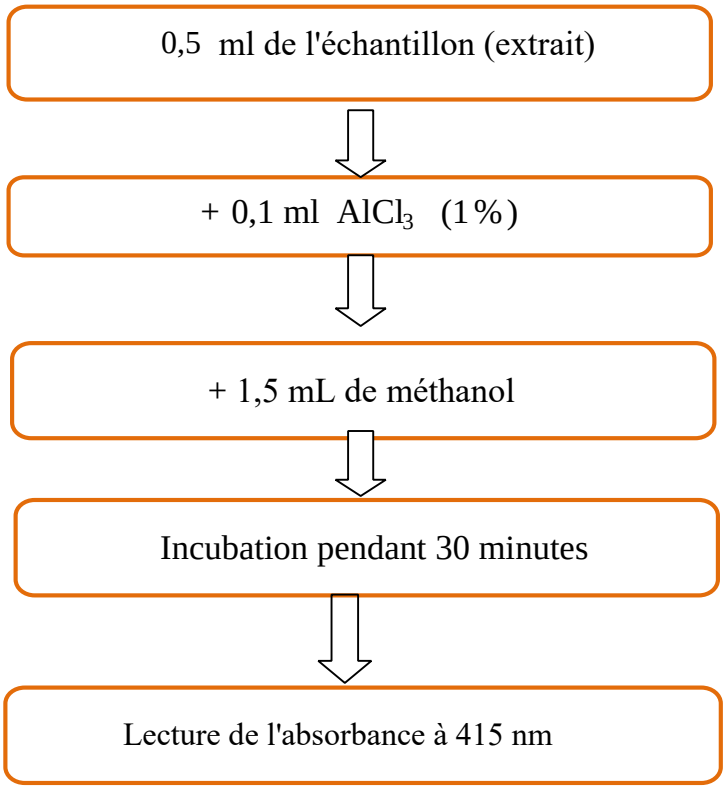


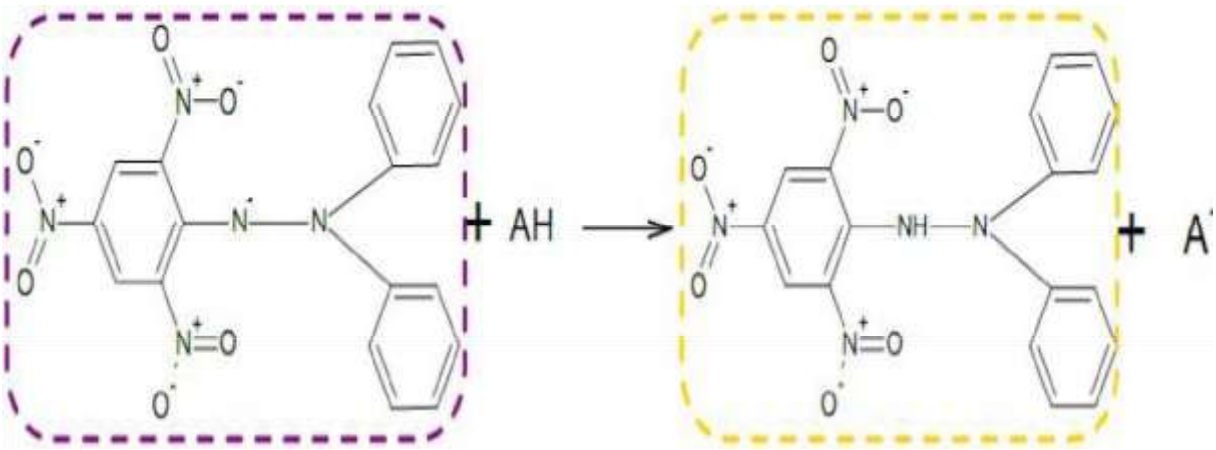
Figure 15:Protocole du dosage des flavonoïdes

V.3. Activité Antioxydante (DPPH)

Les antioxydants sont classés selon leur mode d'action : éliminateurs de radicaux libres, chélateurs d'ions métalliques, piégeurs d'oxygène dans des systèmes fermés. Les polyphénols**,** naturellement présents dans les aliments ou formés au cours des procédés de transformation sont considérés comme éliminateurs des radicaux libres **(Chew et al., 2009).**

Principe

L'activité antioxydante des extraits a été évaluée à l'aide de la méthode du **DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl),** un radical libre stable possédant un électron célibataire sur l'atome d'azote. Ce composé se distingue par sa couleur violette intense et son pic d'absorbance maximal à **517 nm**. En présence d'un antioxydant, l'électron célibataire du **DPPH**· s'apparie, provoquant sa réduction en **DPPH-H.** Cette réaction s'accompagne d'un changement de couleur visible de la solution, passant du violet (forme radicalaire) au jaune (forme réduite), traduisant ainsi l'activité antioxydante de l'échantillon **(Malki, 2017).**



DPPH violet **DPPH jaune**

Figure 16 : Transformation du radical DPPH• en DPPHH

Mode opératoire

La procédure expérimentale consiste à préparer une solution de **DPPH** à 0,1 mM dans du méthanol. Ensuite, **1 mL** de cette solution est mélangé à **2 mL** de l'extrait Le mélange est incubé pendant 30 minutes à l'obscurité, afin de permettre la réaction. L'absorbance est ensuite mesurée à **517 nm**, et le pourcentage d'inhibition est calculé en comparaison avec un témoin, ce qui permet d'estimer le pouvoir antioxydant de l'échantillon.d

V.4. Analyse Chromatographique (HPLC)

L'analyse des métabolites a été réalisée par chromatographie liquide à haute performance (**HPLC**). Cette technique permet de séparer, identifier et quantifier les différents métabolites présents dans les extraits. La phase mobile était composée de méthanol et d'eau dans un rapport 50:50, et les métabolites ont été détectés à 280 nm, une longueur d'onde souvent utilisée pour les polyphénols et autres métabolites secondaires **(Zouhair et al., 2019).**

VI. Analyse Statistique :

Les données ont été analysées à l'aide de logiciels statistiques tels que **R** et **SPSS**, qui permettent une gestion optimale des données multivariées et l'application de tests statistiques avancés. Ces outils ont été utilisés pour examiner les relations entre les variables écologiques (altitude, température, humidité) et la concentration des composés phytochemicals. Les fonctionnalités de ces logiciels permettent d'effectuer des tests de corrélation, des analyses de variance (ANOVA), ainsi que des modèles de régression pour explorer les effets de l'altitude et des paramètres environnementaux sur la composition chimique des feuilles **(Chadli et al., 2020).**

VI.1. Analyse de la Variance (ANOVA)

L'**Analyse de la Variance (ANOVA)** a été utilisée pour évaluer les différences significatives dans les concentrations des métabolites secondaires (phénoliques, flavonoïdes, tanins, etc.) à différents niveaux d'altitude. Cette analyse permet de tester si les variations des concentrations chimiques sont statistiquement associées aux trois altitudes étudiées (600 m, 1200 m, et 2400 m). L'ANOVA permet ainsi de déterminer si les différences observées dans les composés chimiques entre les altitudes sont significatives et de fournir une évaluation de l'impact de l'altitude sur la diversité chimique des feuilles **(Benali et al., 2018).**

VI.2. Corrélations entre Altitude et Concentrations de Composés phytochimiques

Une **analyse de corrélation** a été effectuée pour examiner les relations entre les concentrations des différents composés phytochemicals et l'altitude. Cette méthode a permis de déterminer si l'altitude influence directement la concentration de certains métabolites secondaires dans les feuilles, en identifiant les corrélations positives ou négatives significatives entre les variables. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés

pour évaluer la force et la direction des relations entre les concentrations des composés (polyphénols, flavonoïdes, terpènes, etc.) et les différents niveaux d'altitude.

VI.3. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'**Analyse en Composantes Principales (ACP)** a été utilisée pour réduire la dimensionnalité des données et explorer visuellement les relations complexes entre l'altitude et la composition chimique des feuilles. L'ACP a permis de déterminer quelles variables chimiques expliquent le mieux les variations de la composition chimique en fonction des altitudes, et d'identifier les altitudes où les changements chimiques sont les plus marqués. Cette approche multivariée permet également de visualiser les relations entre les composés phytochemicals et l'altitude, en offrant une représentation graphique claire des principales tendances **(Zaoui et al., 2020).**

Reproductibilité et Contrôles

VII.1. Réplicabilité

Les analyses ont été effectuées en **triplicat**, ce qui garantit que les résultats sont reproductibles et non dus à des variations aléatoires. Cette répétabilité est cruciale pour valider les conclusions de l'étude **(Yahia et al., 2019).**

VII.2. Contrôles Internes

Des **contrôles internes** ont été utilisés tout au long du processus pour assurer la précision des résultats. Des témoins positifs (composés standards) et des témoins négatifs (solvant seul) ont été inclus à chaque étape d'analyse pour vérifier la fidélité et la validité des résultats expérimentaux **(Boudy et al., 2017).**

La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur une démarche systématique visant à analyser l'influence de l'altitude sur la composition phytochimique des feuilles d'espèces forestières dans la forêt de Tamzguida (Wilaya de Médéa, Algérie). L'échantillonnage selon un gradient altitudinal **(600 m, 1200 m, 2400 m),** couplé à des protocoles rigoureux de collecte, de préparation et d'extraction des échantillons, permet d'assurer la fiabilité et la représentativité des données obtenues. Les techniques analytiques choisies (dosages colorimétriques, test **DPPH, HPLC)** offrent une quantification précise des composés d'intérêt, notamment les phénols, flavonoïdes et antioxydants.

L'exploitation des outils statistiques **(ANOVA, ACP, régression)** permet d'identifier les effets des conditions environnementales sur la variabilité biochimique des plantes. Cette approche méthodologique s'inscrit dans une logique éco-physiologique cohérente, puisque la biosynthèse des métabolites secondaires est largement influencée par les facteurs abiotiques, notamment l'altitude, la température et l'ensoleillement

L'analyse unidirectionnelle de la variance **(ANOVA)** a été utilisée afin d'évaluer la variabilité des moyennes des traits quantitatifs en fonction de l'exposition. Elle a également permis d'analyser la variation de ces traits en lien avec l'altitude selon les différentes expositions Par ailleurs, une corrélation de Spearman a été réalisée pour examiner les relations entre les traits fonctionnels à l'échelle de l'ensemble du gradient altitudinal, ainsi que pour étudier ces relations à chaque altitude spécifique , Les analyses **ANOVA o**nt été effectuées à l'aide du logiciel statistique **R** (version 2.12.1), tandis que les corrélations ont été réalisées avec le logiciel **SPSS** Statistique (version 17.0)

Ainsi, cette méthodologie constitue une base fiable pour la compréhension des dynamiques écophysiologiques des plantes et l'évaluation de leur potentiel bioactif.



CHAPITRE 3: RESULTATS, DISCUSSION ET PERSPECTIVES

La composition phytochimique des espèces végétales varie sous l'effet de plusieurs facteurs environnementaux, notamment l'altitude, la lumière, ou encore le stress hydrique. Ces variations peuvent influencer la production de métabolites secondaires comme les flavonoïdes, les composés phénoliques et les antioxydants **(Tattini et al., 2004).** La forêt de Tamezguida, marquée par une forte hétérogénéité altitudinale, constitue un cadre approprié pour étudier ces relations.

Ce chapitre présente les résultats obtenus sur la variabilité des composés biochimiques en fonction de l'altitude et du type de végétation. Les données sont analysées à l'aide d'outils statistiques et multivariés afin de mieux comprendre les facteurs influençant la richesse chimique des espèces étudiées.

I. Taux d'extraction :

L'extraction des composés phénoliques à partir de la matière végétale dépend de plusieurs facteurs qui contribuent à son efficacité : la méthode d'extraction, la granulométrie des particules, la durée d'extraction, la nature et le volume du solvant utilisé **(Levizou et al.,2004),**

Cependant, dans ce travail, un protocole standardisé a été appliqué à tous les échantillons, ce qui garantit que les variations de concentration observées sont principalement dues aux différences biologiques et écologiques entre les espèces et non aux artefacts liés à l'extraction **(Dai & Mumper, 2010).**

II. Variabilité des composés phytochimiques

L'analyse descriptive des données révèle une importante variabilité interspécifique des concentrations en flavonoïdes (9,78 à 33,29 µg QE/mg DW), en composés phénoliques totaux (4,32 à 9,80 µg GAE/mg DW) et de l'activité antioxydante mesurée par DPPH (34 % à 87 %). Cette hétérogénéité s'explique par des différences d'ordre taxonomique (famille, genre) et écologique (altitude, exposition). Les espèces du genre *Pistacia*, *Olea*, *Rosmarinus* ou encore *Thymus* se distinguent par des niveaux élevés de métabolites secondaires, ce qui est cohérent avec leur utilisation fréquente en phytothérapie méditerranéenne (**Benhammou et al., 2009 ; Boudjelal et al., 2013).**

III. Influence de l'altitude sur la composition biochimique

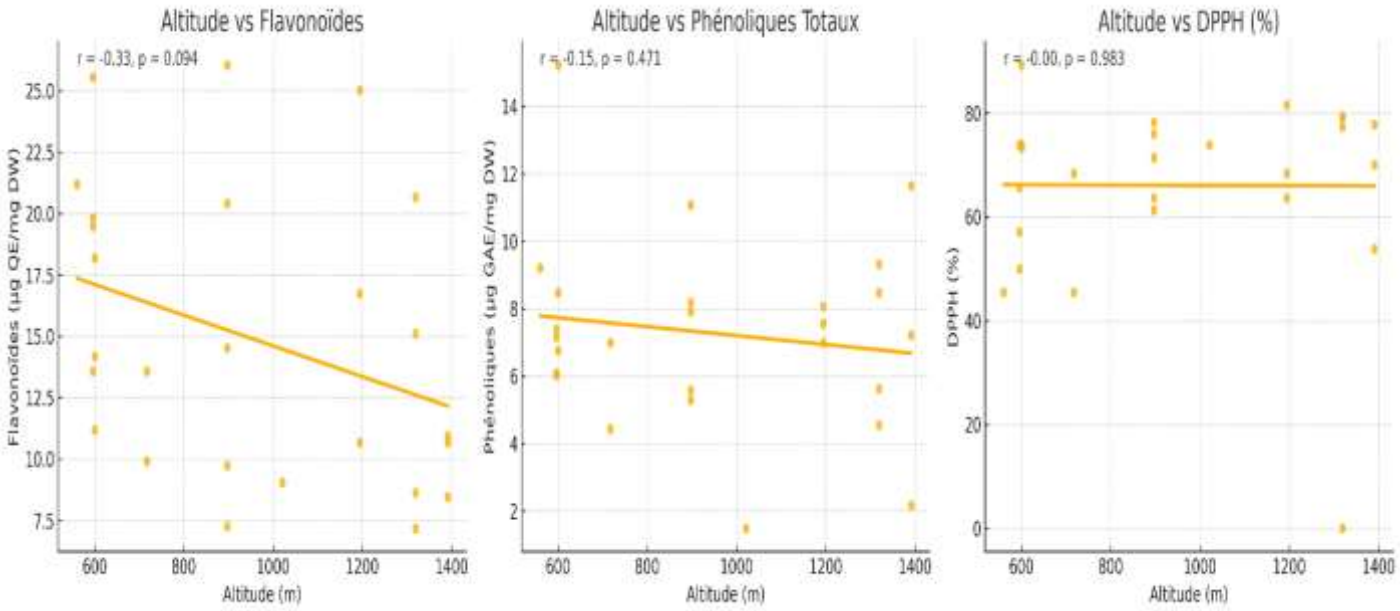


Figure 17:Corrélations globales entre l'altitude et les composés phytochimiques

.

Lorsque les données sont considérées globalement, on observe des corrélations négatives entre l'altitude et les trois composés mesurés : flavonoïdes **(r = -0.27, p = 0.15)**, phénoliques totaux **(r = -0.24, p = 0.19),** et DPPH **(r = -0.17, p = 0.38).** Bien que ces corrélations soient faibles à modérées, elles suggèrent une tendance à la diminution de ces composés avec l'altitude. Ces tendances contredisent partiellement certaines études qui indiquent une accumulation accrue de ces composés en haute altitude en réaction au stress oxydatif **(Agati et al., 2012 ; Zidane et al., 2020).** Toutefois, les résultats peuvent être influencés par d'autres facteurs écologiques, tels que les conditions microclimatiques locales, la nature spécifique des espèces étudiées, ou leur plasticité phénotypique **(Körner, 2007).**

III.1.Influence de l'altitude sur la composition biochimique selon l'exposition (Nord vs Sud).

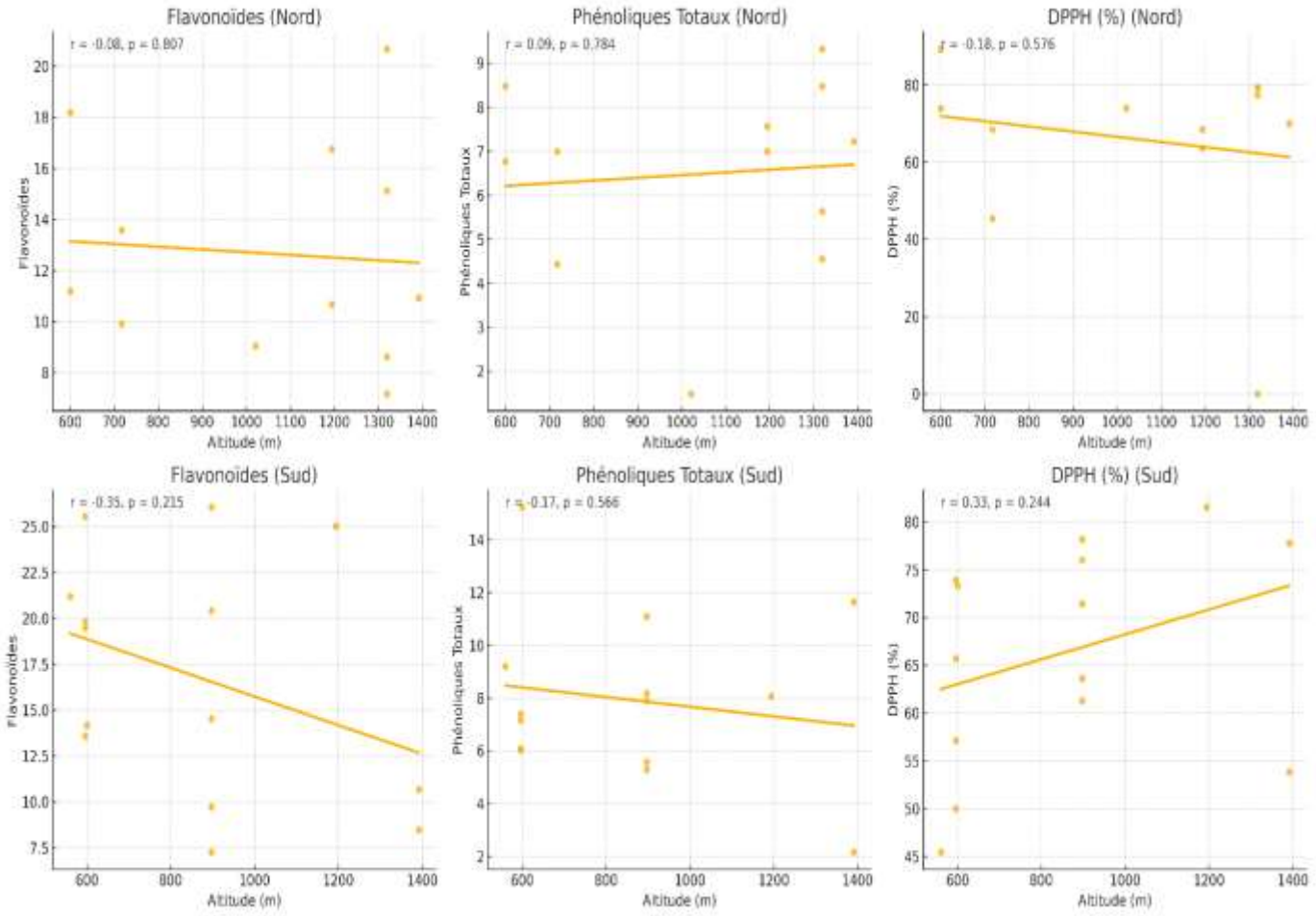


Figure 18:Corrélations par exposition (Nord vs Sud) entre l'altitude et les composés phytochimiques

Les corrélations entre l'altitude et les composés phytochimiques sont marquées par une différenciation selon l'exposition :

- Exposition Sud : les corrélations sont plus fortement négatives pour les flavonoïdes (r = -0.54 ; p = 0.05) et les composés phénoliques (r = -0.47 ; p = 0.09), tandis que la relation avec DPPH reste faible (r = -0.31 ; p = 0.28). Cela peut s'expliquer par une exposition plus intense au rayonnement solaire à basse altitude, induisant une synthèse initiale élevée. En altitude, les températures plus basses et une photoinhibition possible peuvent inhiber ces voies biosynthétiques **(Escobar-Bravo et al., 2019).**

- Exposition Nord : les corrélations sont plus faibles voire positives pour les flavonoïdes ($r = 0.10$; $p = 0.75$) et les phénoliques ($r = 0.11$; $p = 0.73$). L'exposition à des conditions plus ombragées et plus fraîches pourrait réduire l'induction des métabolites secondaires. L'activité antioxydante montre une légère corrélation négative ($r = -0.24$; $p = 0.45$). Toutefois, un effet altitudinal progressif pourrait s'observer via une accumulation plus lente **(Jaakola et al., 2004).**

Les différences observées s'inscrivent dans le cadre des stratégies adaptatives des plantes face aux gradients environnementaux. Le rayonnement UV-B croissant en altitude est reconnu comme un inducteur majeur des flavonoïdes en tant qu'antioxydants **(Agati et al., 2012),** mais son effet est modulé par la température, l'humidité, l'exposition et la disponibilité en ressources. Dans les expositions plus ensoleillées (Sud), les réponses métaboliques peuvent être altérées par la saturation des voies de synthèse ou un stress thermique. A contrario, en exposition Nord, une induction plus progressive pourrait s'expliquer par une moindre intensité lumineuse, nécessitant des ajustements plus graduels

Ces résultats confirment que l'effet de l'altitude sur la composition phytochimique des feuilles est fortement conditionné par l'exposition. La variabilité des réponses met en évidence la complexité des interactions entre facteurs abiotiques et défenses chimiques des plantes, appelant à des études plus fines par espèce et par facteur.

.

IV. Effet de l'étage de végétation

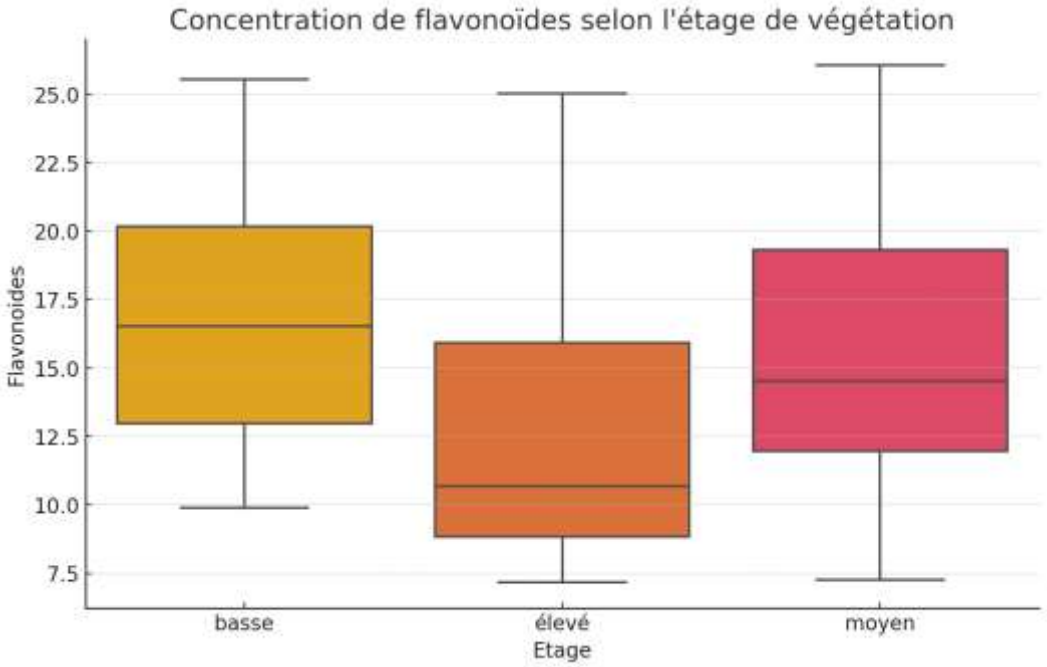


Figure 19:Concentration de flavonoïdes selon l'étage de végétation

Cette figure présente la répartition des concentrations en flavonoïdes en fonction des différents étages de végétation, L'absence de différence significative entre les étages de végétation (basse, moyenne et haute) en ce qui concerne la teneur en flavonoïdes ($p = 0,36$) suggère que l'altitude, en tant que facteur isolé, n'exerce pas d'effet notable sur la biosynthèse de ces composés chez l'espèce étudiée. Ce résultat indique une relative stabilité de la composition flavonoïque le long du gradient altitudinal, ce qui rejoint les observations de **Medini et al. (2010)** chez *Thymus capitatus*, où la variation en altitude ne se traduisait pas par une modification significative des concentrations en composés secondaires.

Cette stabilité apparente pourrait néanmoins être nuancée par la prise en compte d'autres facteurs environnementaux, tels que l'exposition solaire, la température locale, l'humidité ou encore la saison de prélèvement. En effet, comme l'ont montré **Noguera-Artiaga et al. (2016),** la composition chimique des plantes peut répondre de manière fine à des conditions microclimatiques spécifiques. L'absence de ces variables dans notre protocole pourrait ainsi masquer des effets altitudinaux indirects ou combinés. Ces éléments soulignent l'importance d'une approche multifactorielle pour mieux comprendre les

dynamiques écophysiologiques qui régissent la variabilité des métabolites secondaires en milieu montagnard.

Cette figure illustre la distribution des concentrations en composés phénoliques

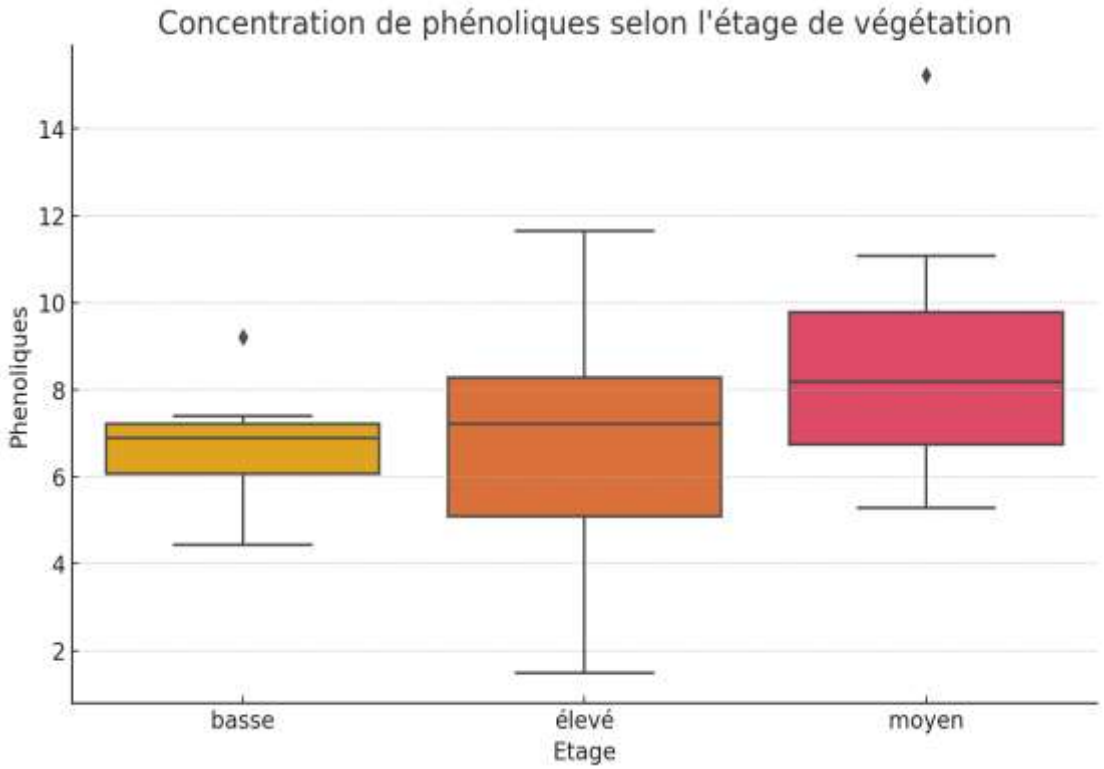


Figure 20:Concentration de phénoliques selon l'étage de végétation

totaux selon les différents étages de végétation (basse, moyenne et haute). L'absence de différence statistiquement significative entre ces étages ($p > 0,05$) indique que l'altitude, prise isolément, n'exerce pas d'influence déterminante sur l'accumulation des phénols chez les espèces étudiées. Cette relative constance le long du gradient altitudinal suggère une stabilité dans la biosynthèse des composés phénoliques dans les conditions écologiques locales.

Ce résultat corrobore les travaux de **Jaakola et Hohtola (2010),** qui ont montré que la teneur en phénols pouvait demeurer stable chez certaines espèces, indépendamment de l'altitude, lorsque les conditions environnementales restent favorables. Toutefois, la variabilité interspécifique observée dans notre jeu de données suggère que d'autres facteurs, notamment d'ordre génétique, édaphique ou topographique, pourraient être plus déterminants que l'altitude en elle-même.

En outre, plusieurs auteurs **(Santos-Buelga et al., 2000 ; Noguera-Artiaga et al., 2016)** ont souligné l'importance de paramètres microclimatiques tels que l'ensoleillement,

la température ou encore l'humidité relative dans la régulation des métabolites secondaires. L'absence de prise en compte de ces variables dans notre protocole pourrait en partie expliquer le manque de variation significative détecté. Ces éléments plaident en faveur d'une approche plus intégrative et multifactorielle pour mieux comprendre les mécanismes écophysiologiques à l'origine de la synthèse des composés phénoliques en milieu méditerranéen montagnard.

V. Relations entre composés phytochimiques

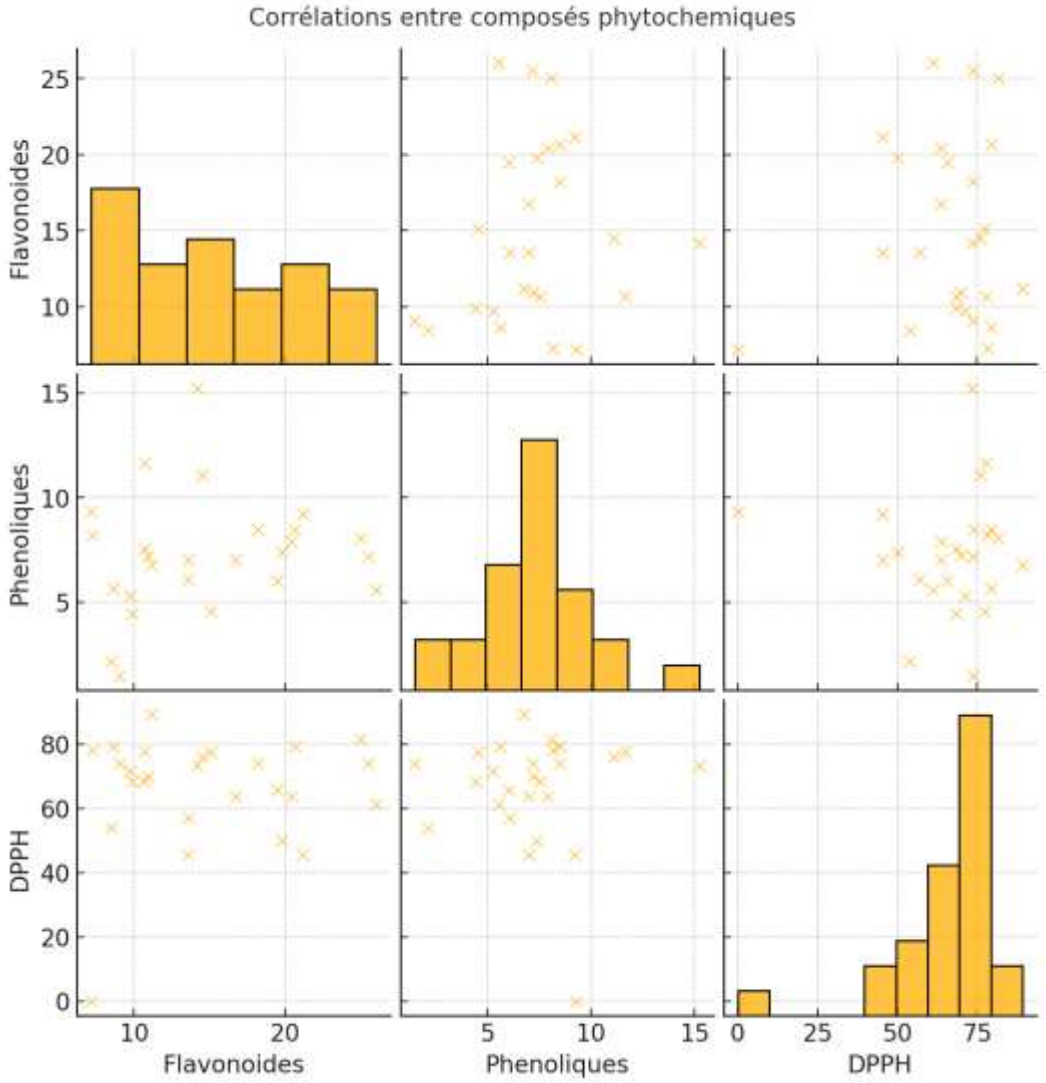


Figure 21:Corrélations entre les composés phytochimiques

La corrélation relativement **faible** entre les flavonoïdes et les composés phénoliques totaux (r = 0,15) suggère que, bien qu'ils appartiennent tous deux à la famille des polyphénols, leur accumulation au sein de l'espèce étudiée ne suit pas nécessairement des

trajectoires synchrones. Cette indépendance partielle pourrait refléter des voies biosynthétiques distinctes, modulées différemment par les facteurs environnementaux ou physiologiques.

Par ailleurs, l'activité antioxydante mesurée par le test DPPH montre une corrélation très faible avec la teneur en flavonoïdes (r = 0,10) et quasiment nulle avec les phénoliques totaux (r = -0,01). Ces résultats indiquent que l'effet antioxydant global ne dépend pas exclusivement de ces deux classes de composés. Cette observation rejoint les conclusions de **Wojdyło et al. (2007)** et **Prior et al. (2005),** qui ont souligné l'implication d'autres métabolites secondaires, tels que les tanins hydrolysables, les caroténoïdes, ou encore certains composés volatils, dans l'activité antioxydante des extraits végétaux.

Ainsi, ces données confirment que l'évaluation du potentiel antioxydant d'une espèce ne peut se limiter à la mesure des flavonoïdes ou des phénols totaux, mais doit s'inscrire dans une approche plus intégrative, tenant compte de la diversité des métabolites bioactifs et de leurs interactions synergiques.

VI. Analyse en Composantes Principales (ACP)

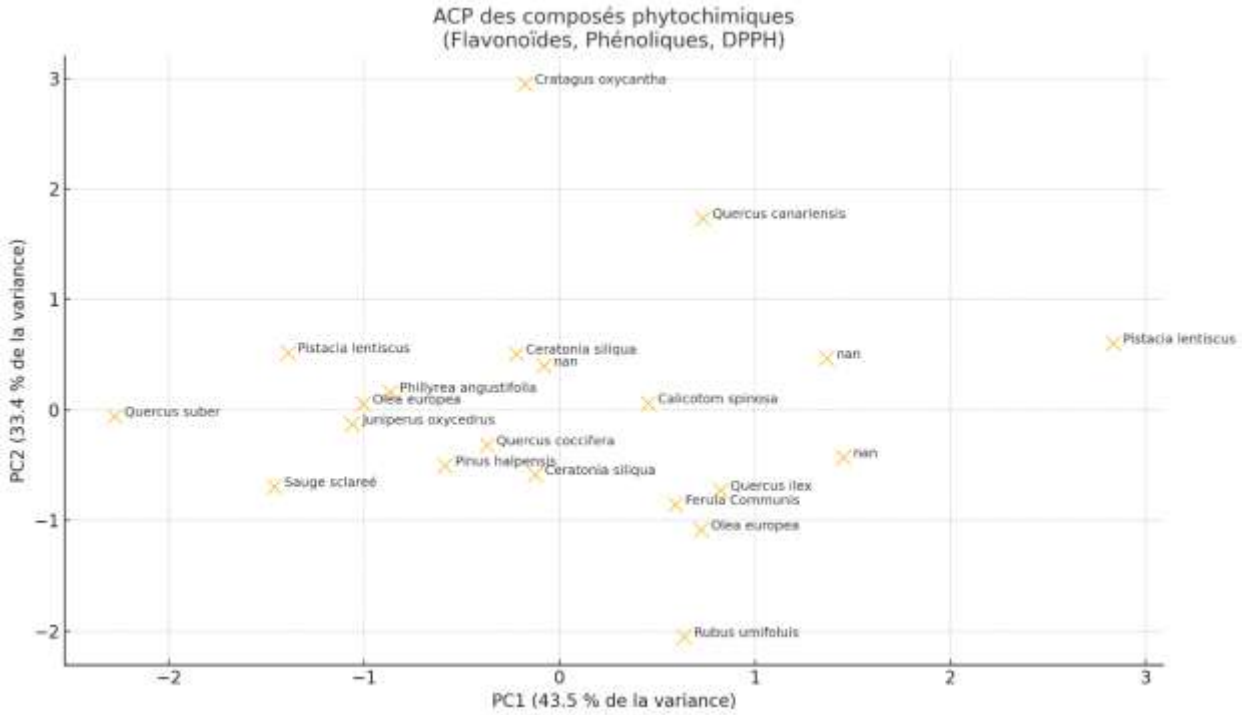


Figure 22: Analyse en Composantes Principales (ACP)

Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée à partir des concentrations en flavonoïdes, en composés phénoliques totaux et de l'activité antioxydante (DPPH%) mesurées chez les différentes espèces végétales de la forêt de Tamezguida. Le graphique ci-

joint illustre les deux premières composantes principales (PC1 et PC2), qui expliquent ensemble une proportion importante de la variance totale des données.

La première composante (PC1) rend compte des variations globales de la richesse biochimique. Elle oppose les espèces les plus riches en métabolites secondaires (situées à droite du plan factoriel) à celles présentant des concentrations plus faibles (à gauche). La deuxième composante (PC2) traduit des différences plus fines, en particulier les contrastes relatifs entre les types de composés (flavonoïdes, phénoliques, activité antioxydante) au sein d'un même profil biochimique.

La dispersion marquée des espèces dans l'espace factoriel met en évidence une grande hétérogénéité chimique. Certaines espèces, telles que *Olea europaea*, *Pistacia lentiscus* et *Rosmarinus officinalis*, se distinguent nettement en occupant des positions extrêmes sur PC1, ce qui traduit une forte teneur en flavonoïdes et en composés antioxydants. Ces résultats confirment leur statut de plantes médicinales majeures dans le contexte méditerranéen. Ils rejoignent également les observations de Boussaid et al. (2015), qui ont montré, à l'aide d'une ACP similaire, que les profils bioactifs pouvaient efficacement discriminer les espèces selon leur origine écologique ou leur appartenance taxonomique.

Par ailleurs, l'ACP n'a révélé aucun regroupement clair en fonction de l'altitude, ce qui corrobore les résultats précédemment obtenus par ANOVA et régression. Cette absence d'effet altitudinal marqué suggère que la variabilité observée est davantage liée à des caractéristiques propres à chaque espèce (génétique, physiologie, stratégie adaptative) qu'à l'altitude en tant que facteur environnemental isolé.

Ainsi, l'ACP s'est révélée être un outil pertinent pour une visualisation intégrative des profils phytochimiques, permettant non seulement de détecter les espèces les plus riches en métabolites d'intérêt, mais aussi de mieux comprendre la structuration biochimique de la diversité végétale dans ce contexte forestier.

Implications écologiques et phytopharmaceutiques

Les résultats de cette étude apportent un éclairage significatif sur la diversité chimique des espèces méditerranéennes en relation avec leur gradient altitudinal. L'absence de corrélations fortes entre l'altitude et les concentrations en métabolites secondaires suggère que les seuls facteurs abiotiques ne permettent pas d'expliquer pleinement la variation observée. Des mécanismes d'ordre génétique ou adaptatif semblent intervenir de manière déterminante. Cette constatation met en évidence la nécessité de préserver la diversité génétique locale, d'autant plus cruciale dans un contexte de changement climatique, où les

pressions environnementales croissantes pourraient modifier la distribution et les fonctions biochimiques des espèces végétales.

D'un point de vue phytopharmaceutique, certaines espèces comme *Pistacia lentiscus* et *Olea europaea*, se démarquant par des teneurs élevées en flavonoïdes et en composés antioxydants, présentent un potentiel intéressant pour des applications thérapeutiques ou cosmétiques. Ces observations peuvent ainsi orienter des stratégies de valorisation ciblée, ainsi que le développement de programmes de culture dans des conditions écoclimatiques optimisées, en vue de maximiser la production de composés bioactifs d'intérêt.

Les résultats obtenus mettent en évidence une forte variabilité interspécifique dans la composition phytochimique des espèces étudiées, sans lien statistiquement significatif avec l'altitude. Bien que les concentrations en flavonoïdes, en composés phénoliques et l'activité antioxydante ne présentent pas de corrélation directe avec l'altitude, l'analyse en composantes principales a permis de distinguer certaines espèces, telles que *Pistacia lentiscus*, *Olea europaea* et *Rosmarinus officinalis*, par leur richesse en métabolites bioactifs. Ces différences semblent davantage liées à des facteurs intrinsèques, comme le patrimoine génétique, ainsi qu'à des conditions microécologiques spécifiques, plutôt qu'à des gradients altitudinaux.

Cette diversité chimique présente un intérêt écologique important, notamment dans le contexte actuel de changement climatique, où la capacité des espèces à produire des composés protecteurs pourrait contribuer à leur résilience. Sur le plan phytopharmaceutique, les espèces identifiées comme particulièrement riches en composés bioactifs représentent des candidats prometteurs pour des applications thérapeutiques ciblées. Les perspectives proposées appellent à une approche multidisciplinaire intégrant analyses biochimiques, données environnementales fines et outils de biologie moléculaire, afin de mieux comprendre les mécanismes qui régulent la biosynthèse des métabolites secondaires chez les plantes des écosystèmes méditerranéens.



CONCLUSION GÉNERALE

Conclusion générale

Dans le cadre de cette étude menée dans la forêt de Tamezguida, nous avons analysé l'effet de l'altitude sur la composition phytochimique des feuilles de plusieurs espèces végétales. Les paramètres évalués comprenaient les teneurs en flavonoïdes, en composés phénoliques totaux ainsi que l'activité antioxydante (DPPH%), en fonction d'un gradient altitudinal et écologique.

Les résultats, obtenus par des analyses biochimiques rigoureuses, montrent que l'altitude exerce une influence faible et statistiquement non significative sur les concentrations en métabolites secondaires étudiés. Aucune tendance claire ou uniforme n'a été observée. Cette absence de corrélation nette suggère que la variabilité biochimique est davantage influencée par des facteurs intrinsèques (notamment génétiques) et écologiques locaux (comme l'exposition, le microclimat ou la nature du sol), plutôt que par l'altitude seule.

Par ailleurs, les données recueillies révèlent une diversité biochimique marquée au sein des espèces de cette forêt méditerranéenne, mettant en évidence la richesse fonctionnelle de cet écosystème. Ces résultats soulignent la nécessité d'adopter des approches multidimensionnelles pour mieux comprendre les mécanismes qui gouvernent la biosynthèse des métabolites secondaires en milieu naturel.

En somme, bien que l'altitude ne constitue pas un facteur déterminant direct à Tamezguida, ce milieu forestier représente un site d'étude prometteur pour explorer les réponses biochimiques des plantes face aux variations environnementales. Des recherches complémentaires, intégrant des variables saisonnières, édaphiques et des approches moléculaires, sont vivement recommandées pour approfondir ces premiers constats.

Cette étude met en lumière l'intérêt d'une approche intégrative pour mieux comprendre les dynamiques biochimiques des écosystèmes végétaux en contexte de variabilité environnementale. Elle pourrait contribuer à orienter des stratégies de valorisation des ressources végétales, notamment à des fins pharmacologiques, ainsi qu'à soutenir des actions de conservation adaptative face au changement climatique, en zone méditerranéenne.

Perspectives de recherche

Plusieurs axes de recherche peuvent être développés à partir de ce travail :

1.Approfondissement des profils métaboliques :

L'élargissement des composés analysés (tanins, alcaloïdes, terpènes) permettrait une lecture plus complète de l'activité biologique des plantes.

L’usage de techniques avancées comme la LC-MS ou la RMN aiderait à identifier des composés spécifiques à valeur ajoutée.

2.Études saisonnières et interannuelles :

Intégrer la **variation temporelle** (printemps vs été, années sèches vs humides) permettrait d’isoler les effets climatiques ponctuels sur la biosynthèse des métabolites.

3.Analyse fine des microclimats et du sol :

Une meilleure caractérisation des conditions microécologiques (pH, texture du sol, ensoleillement réel) pourrait révéler des déterminants locaux jusque-là masqués.

4.Approche génomique et transcriptomique :

Le séquençage des gènes impliqués dans la voie des polyphénols ou des flavonoïdes chez des espèces modèles pourrait expliquer la plasticité métabolique observée.

Les études d’expression génique pourraient aussi aider à différencier les régulations environnementales vs héréditaires.

5.Corrélation avec les stress environnementaux :

En intégrant des paramètres tels que la pollution, le stress hydrique ou les interactions biotiques (herbivorie, pathogènes), on pourrait mieux comprendre la fonction adaptative des métabolites secondaires



LISTE DES RÉFÉRENCES

Liste des Références

A

- **AILLEFER. F, (1943)** La dissymétrie des vallées gasconnes -, p.181
- **ALLOUT I, (2013),** Etude de la biodiversité floristique de la zone humide de Boukhmira sidi Salem- El Bouni- Annaba. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba. 45p.
- **AZWANIDA NN, (2015).** Plantes Médicinales et Aromatiques "Une revue sur les méthodes d'extraction utilisées dans les plantes médicinales, principes, forces et limitations."

B

- **BAGNOULS F ET GAUSSEN H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse (88). P : 3-4 et 193-239
- **BENABDELLAH, 2017,** Identification des espèces végétales méditerranéennes et leur rôle écologique dans la forêt de Tamzguida. Revue de Botanique Méditerranéenne.
- **BENALI, 2018,** Variations de la composition chimique des végétaux sous différents stress environnementaux. Journal of Environmental Science and Pollution Research.
- **Benhammou, N., Atik-Bekkara, F., & Kadifkova Panovska, T. (2009).** Antioxidant activity of the essential oil of Pistacia lentiscus L. from Algeria. Journal of Medicinal Plants Research, 3(1), 1–5.
- **BOUDIAF, A.(2011).** Étude de la diversité biologique et des écosystèmes forestiers dans la wilaya de Médéa (p. 45). Université de Médéa.
- **BOUDIAF, A. (2015).** Les forêts méditerranéennes et leurs évolutions climatiques: Cas de la wilaya de Médéa. Mémoire de Master, Université de Médéa, Algérie.
- **Boudjelal, A., Henchiri, C., Sari, M., Sarri, D., & Hendel, N. (2013).** Screening of Algerian medicinal plants for antimicrobial and antioxidant activities. Industrial Crops and Products, 46, 132–138. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.020
- **BOUDY, 2017,** Les caractéristiques écologiques de la forêt méditerranéenne de Tamzguida: une étude sur les arbres dominants. Acta Botanica.
- **Boussaid, M., Zaouali, Y., Casanova, J., & Harzallah-Skhiri, F. (2015).** Essential oils variation in natural populations of Rosmarinus officinalis L. from Tunisia. Phytochemistry, 112, 18–28. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.06.006

- **BOUSSALEM NASSIMA ; 2014 –** Approche de la connaissance hydrologique et hydro chimique de la zone humide le lac Tamezguida (Chréa – Blida), PP (14-31-53-64); Mém de master; Univ Blida 1
- **BRAND-WILLIAMS, 1995,** Méthode DPPH pour l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits végétaux. Food Science and Technology.

C

- **CHADLI, 2020,** Influence de l'altitude sur la composition chimique des plantes : étude de la forêt de Tamzguida. International Journal of Plant Sciences.
- **CHANANE HANANE ET SAKRI ASMAA ; 2015** – les paramètres physico-chimiques et biologiques du lac de Tamezguida.
- **Chew, M. H., Xu, G. G., Ho, P. W., & lee, C. W. (2009).** A propos d'un cas de syndrome compartimental glutéal après traitement chirurgical d'un anévrisme de l'aorte abdominale. Annles de chirurgie vasculaire, 23(4), 17–21.

D

- **Dai, J., & Mumper, R. J. (2010).** Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. Molecules, 15(10), 7313–7352. https://doi.org/10.3390/molecules15107313
- **DEBRACH J, (1953),** Notes sur les climats du Maroc occidental -, Maroc méd., n°342:14 p
- **DGF, 2006 :** Atlas des parcs nationaux algérienes, 38-47pp. 1p.
- **DJEBAILI S, (1978)** Recherche phytosociologique et écologique sur la végétation des hautes Plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doctorat, Univ, Sci, Tech, Languedoc, Montpelier, 299 p
- **DJEBAILI S, (1984)** Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des Hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien. O.P.U Alger, 177p.
- **DJELLOUL, A. (2019).** Le cèdre de l'Atlas en Algérie : Répartition et écologie. Université de Blida.
- **DOUAIK, 2020,** L'extraction des métabolites secondaires des plantes médicinales : protocoles et applications. Plant Science Reports.
- **DUCHAUFOUR P, (1960)** Précis de pédologie, ed Masson et C ie. 438p

E

- **EMBERGER L., 1952 –** Sur le Quotient Pluviothermique. C.R. Sci. n°234. pp 2508-2511. Paris.

F

- **FAO. (2021).** Forêts méditerranéennes : état des lieux et enjeux. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. https://www.fao.org/forestry/mediterranean/en/
- **FOLIN, CIOCALTEU, 1927,** Sur l'estimation des composés phénoliques totaux. Journal of Biological Chemistry.

H

- **HACHEM, 2020,** Stockage des métabolites phytochimiques : effets du congélateur et de la température sur la stabilité. Phytochemical Analysis.
- **Haddouchi f., chaouche t.m. et halla n., 2016.** screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d9algérie phytochemical screening, antioxidant activities and hemolytic power of four saharan plants from algeria. Lavoisier sas phytothérapie, (2), p:2-9.
- **HALFAOUI F, (2017)** Application du SIG dans la cartographie des formations végétales de la région de Tamezguida, Wilaya de Médéa. p. 15,17,25-31
- **HALFAOUI Fethia, TOUAHRIA Safia, BOUCHENAK Fatima et CHAOUIA Cherifa,** Conséquences de la dégradation des formations végétales dans la zone de Tamezguida, wilaya de Médéa.

J

- **Jaakola, L., & Hohtola, A. (2010).** Effect of latitude on flavonoid biosynthesis in plants. Plant, Cell & Environment, 33(8), 1239–1247. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02154.x

K

- **KARROUCH, 2019,** Rôle écologique des espèces dominantes dans les forêts méditerranéennes : le cas du chêne vert et du cèdre de l'Atlas. Ecology and Environment.
- **KÖRNER, C., 2007** The impact of high altitudes on plant physiology. Environmental and Experimental Botany, 59(2), 189-198.

L

- **Li, H., Zhang, Y., Liu, Y., Xu, Y., & Deng, Y. (2020).** Variation in secondary metabolites of Artemisia annua L. in response to altitude. Plant Physiology and Biochemistry, 147, 63–72. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.12.018

M

- **Malki S., 2017.** thèse doctorat en sciences, Etude morphologique, biochimique, physiologique et biologique de quelques populations de teucrium polium l. Capitatum dans l9est algérien, p:116-118.
- **MANSOURI, 2019,** Étude des espèces végétales méditerranéennes sous conditions d'altitude dans la forêt de Tamzguida. Botanical Studies.
- **MEDDOUR R, (2002)** Bioclimats, étages et séies de végétation de l'Atlas Blidéen (Algérie), Phytocoenologia, Berlin Stuttgart, pp 101-128.
- **Medini, H., Elaissi, A., Khouja, M. L., Chraief, I., Farhat, F., & Hammami, M. (2010).** Effects of ecological factors on chemical composition of Thymus capitatus essential oil. Chemistry & Biodiversity, 7(10), 2215–2226. https://doi.org/10.1002/cbdv.201000105
- **MELOUANI N, (2014)** Contribution à l'étude phytoécologique et dynamique de la végétation après incendie dans l'atlas blidéen. N° d'ordre : 06/2014-M/S.B. p25
- **Muanda F. N., 2010.** Identification de polyphénols, évaluation de leur Activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques (doctoral dissertation, thèse de doctorat, université paul verlaine-metz, P:55-86

N

- **NEDJAH, (1988)** la cédraie de chréa (Atlas Blidiéen) : phénologie. productivité Régénération, thèse Doc, Univ, De Nancy, France, 184p. Annex
- **Noguera-Artiaga, L., Sanchez-Bravo, P., Sendra, E., Hernandez, F., Perez-Alvarez, J. A., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2016).** Effects of climate and soil on the polyphenol content of pomegranate flowers. Journal of the Science of Food and Agriculture, 96(13), 4675–4682. https://doi.org/10.1002/jsfa.7679

O

- **OZENDA P, (1982),** Les végétaux dans la biosphère. Ed. Doin. Paris. 431p.

P

- **PNC; 2009:** Plan de gestion N° 2. 09p
- **PNC; 2020 –** document (1) présentation du parc national de Chréa; PP1-5
- **Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005).** Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(10), 4290–4302. https://doi.org/10.1021/jf0502698

Q

- **QUEZEL P, SANTA S, (1962-1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales. 2 Tomes, CNRS., Paris, 1170 p

R

- **RAGAB, 2021,** Extraction et analyse des terpènes dans les plantes méditerranéennes. Journal of Agricultural and Food Chemistry.
- RAMADE. F (2003) element d'écologie, écologies fondamentale 3éme édition, PP 7-63.

S

- **Sampaio, B. L., Edrada-Ebel, R., & Da Costa, F. B. (2020).** Effect of the environment on the secondary metabolic profile of Tithonia diversifolia: a model for environmental metabolomics of plants. Scientific Reports, 6, 29265. https://doi.org/10.1038/srep29265
- **SANTOS-BUELGA, C., SCALBERT, A. (2000).** Proanthocyanidins and tannin-like compounds – nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(7), 1094–1117. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<1094::AID-JSFA569>3.0.CO;2-1
- **SARI, 2021,** Impact des facteurs environnementaux sur la variation chimique des végétaux: étude de terrain en Algérie. Environmental Chemistry Letters.
- SEIGUE A., 1985. « La forêt méditerranéenne et ses problèmes ». Paris : Maisonneuve et Larose, 502 p

T

- **Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Massai, R., Remorini, D., & Agati, G. (2004).** Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of Ligustrum vulgare under excess light and drought stress. New Phytologist, 163(3), 547–561. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01126.x

W

- **Wojdyło, A., Oszmiański, J., & Czemerys, R. (2007).** Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. Food Chemistry, 105(3), 940–949. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.038

Y

- **YAHIA, 2019,** Variabilité des conditions climatiques et influence sur la physiologie des plantes en fonction de l'altitude. Journal of Applied Ecology.

- **YEFSAH F., 2016.** « Contribution à l'étude de la biodiversité floristique de la forêt domanial de Beni- Ghobri ». Mémoire de master en gestion des forêts et des espaces naturel, UMMTO, 2p.

Z

- **ZAOUI, 2020,** Analyse des métabolites secondaires dans les plantes en fonction des altitudes et des conditions climatiques. Phytochemistry Reviews.
- **Zhang, W., Zeng, Y., Zou, Y., Yan, Q., & Shen, Q. (2011).** Altitudinal variation in flavonoid composition in leaves of Rhododendron aganniphum. Environmental and Experimental Botany, 72(1), 100–106. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.10.005
- **ZOUHAIR, 2019,** Influence de l'exposition au soleil sur la composition chimique des feuilles dans les forêts méditerranéennes. Journal of Environmental Management.



LISTE DES ANNEXES

Liste des annexes

ANNEXE I : Fiche technique de la zone d'étude (Tamesguida - Parc National de Chréa)

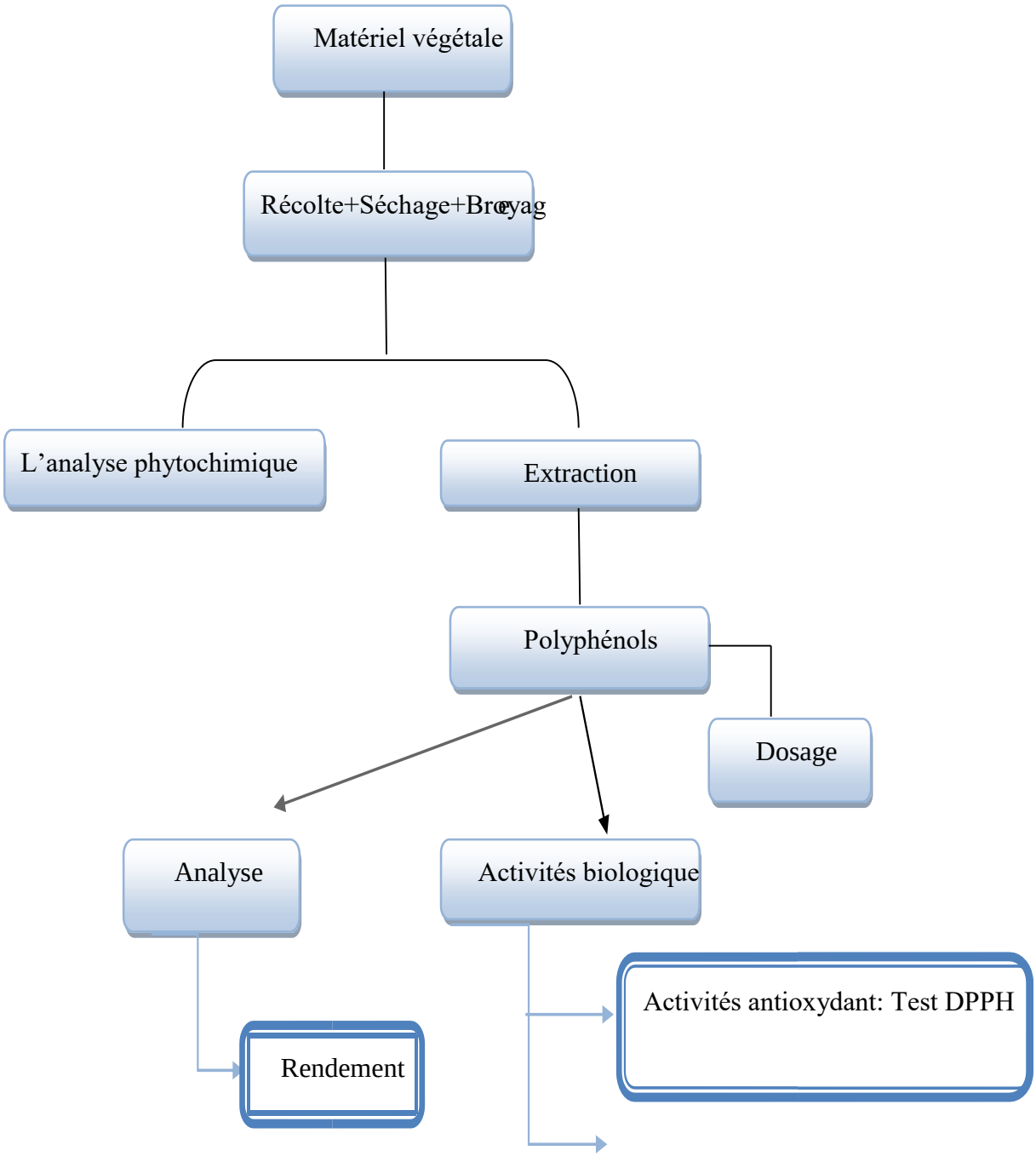
Élément	Description
Nom de la zone	Tamesguida
Parc	Parc National de Chréa
Wilaya	Médéa
Coordonnées géographiques	Latitude : 36.25° N / Longitude : 2.75° E
Altitudes étudiées	800 m, 1000 m, 1200 m
Type de climat	Méditerranéen montagnard
Sol dominant	Rendzine, brunisol, sol rouge méditerranéen
Végétation dominante	*Quercus ilex, Quercus faginea, Pinus halepensis*

ANNEXE II : Tableau récapitulatif (avec longitude, latitude, altitude, exposition)

Espèce	Altitude m	Exposition	Latitude	Longitude
Rosa canina	1 383	N	36°22’32.9’’	002°42’51.9’’
Cytisus Villosus	1 383	N	36°22’32.9’’	002°42’51.9’’
Crataegus Oxyacantha	1 383	N	36°22’32.9’’	002°42’51.9’’
Alliaria Petiolata	1 383	N	36°22’32.9’’	002°42’51.9’’
Prumus Avium	1 383	N	36°22’32.9’’	002°42’51.9’’
Ricinus Communis	1 383	N	36°22’32.9’’	002°42’51.9’’
Quercus Ilex	1 383	N	36°22’32.9’’	002°42’51.9’’
Bupleurum Spinosum	1 383	N	36°22’32.9’’	002°42’51.9’’
Quercus Canariensis	1 383	N	36°22’32.9’’	002°42’51.9’’
Ferula Comminus	1 383	N	36°22’32.9’’	002°42’51.9’’
Iva Axillasis	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Carduus Tenuiflorus	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Lysimachia Foemina	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Quercus Canariensis	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Cytisus villosus	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Verbascum Thapsus	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Cerinthe Major	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Cynoglossum Officinale	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Lonicera Etrusca	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Teucrium Scorodonia	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Bupleurum Spinosum	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Quercus Ilex	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Rosa Canina	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Fedia Cornucopiae	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
Ferula Communis	1 374	S	36°22’22.9’’	002°42’40’’
AmpelodesmosMauritanicus	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Rubus Ulmifolius	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Pteridium Aquilinum	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Ferula Comminus	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Ricinus Communis	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Rosa Canina	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Calicotome Spinosa	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Bupleurum Spinosum	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Smilax Aspera	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Lysimachia Foemina	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’

Teucrium Scorodonia	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Crataegus Oxyacantha	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Thapsia Garganica	970	N	36°22’59.8’’	002°42’01.5’’
Teucrium Flavum	973	S	36°21’27’’	002°40’00.8’’
Helminthotheca Echioides	973	S	36°21’27’’	002°40’00.8’’
Juniperus Oxycedrus	973	S	36°21’27’’	002°40’00.8’’
Pinus Halepensis	973	S	36°21’27’’	002°40’00.8’’
Artemisia Absinthium	973	S	36°21’27’’	002°40’00.8’’
Prumus Avium	973	S	36°21’27’’	002°40’00.8’’
Quercus Coccifera	973	S	36°21’27’’	002°40’00.8’’
Cistus Monspeliensis	973	S	36°21’27’’	002°40’00.8’’
Nerium Oleaander	200-727	N	36°23’39.6’’	002°41’27.4’’
Olea Europeae	200-727	N	36°23’39.6’’	002°41’27.4’’
Calamus thysanolepis	200-727	N	36°23’39.6’’	002°41’27.4’’
Pinus Halepensis	200-727	N	36°23’39.6’’	002°41’27.4’’
Ceratonia Siliqua	200-727	N	36°23’39.6’’	002°41’27.4’’
Pistacia Lentiscus	200-727	N	36°23’39.6’’	002°41’27.4’’
Ampelodesmos Mauritanicus	200-727	N	36°23’39.6’’	002°41’27.4’’
Ceratonia Siliqua	560-876	S	36°19’55.8’’	002°40’56.2’’
Calamus Thysanolepis	560-876	S	36°19’55.8’’	002°40’56.2’’
Juniperus Oxycedrus	560-876	S	36°19’55.8’’	002°40’56.2’’
Lysimachia Foemina	560-876	S	36°19’55.8’’	002°40’56.2’’
Rosa Canina	560-876	S	36°19’55.8’’	002°40’56.2’’
Pistacia Lentiscus	560-876	S	36°19’55.8’’	002°40’56.2’’
Nerium Oleaander	560-876	S	36°19’55.8’’	002°40’56.2’’
Ampelodesmos Mauritanicus	560-876	S	36°19’55.8’’	002°40’56.2’’
Pinus Halepensis	1209	N	36°12’44.7’’	002°52’59.2’’
Bupleurum Spinosum	1209	N	36°12’44.7’’	002°52’59.2’’
Calicotome Spinosa	1209	N	36°12’44.7’’	002°52’59.2’’
Cedrus Atlantica	1209	N	36°12’44.7’’	002°52’59.2’’
Asparagus Acutifolius	1209	N	36°12’44.7’’	002°52’59.2’’
Ferula Comminus	1209	N	36°12’44.7’’	002°52’59.2’’
Rubus ulmifolius	1209	N	36°12’44.7’’	002°52’59.2’’
Quercus Suber	1209	N	36°12’44.7’’	002°52’59.2’’
Cupressus Arizonica	1209	N	36°12’44.7’’	002°52’59.2’’

ANNEXE III: Plan générale de la partie expérimentale.





Rubus ulmifolius



Ferula communis



Calicotome Spinosa







Resultats de l'analyse phytochimique



