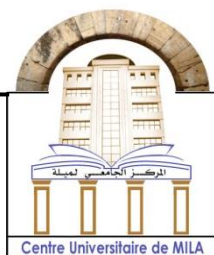


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Ref :

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème :

Morphologie des trichomes foliaires chez
Quercus spp.

Présenté par :

- **BENKARA MOSTEPHA Sabrina**
- **AYACHE Hadil**

Devant le jury :

Présidente :	Dr. BENMAKHLOUF Zebida	MCA
Examinatrice :	Dr. BOUSMID Ahlem	MCA
Promoteur :	Dr. TORECHE Yacine	MCA

Année Universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et ma sincère reconnaissance à mon encadrant, Monsieur [**Torche Yacine**], pour le temps et les efforts qu'il a consacrés au suivi de ce travail, ainsi que pour ses orientations précises et ses remarques pertinentes qui ont grandement contribué à l'enrichissement et à l'aboutissement de ce mémoire.*

*J'adresse également mes remerciements respectueux à Madame la Docteure **Benmakhlouf Zoubida**, membre du jury, pour l'attention qu'elle a portée à ce travail ainsi que pour ses observations enrichissantes, qui ont permis d'ouvrir des perspectives de réflexion importantes.*

*Mes remerciements les plus sincères vont aussi à Madame la Docteure **BOUSMID Ahlem**, pour avoir accepté de faire partie du jury, et pour la pertinence de ses commentaires ainsi que l'intérêt manifesté à l'égard de ce mémoire.*

Enfin, je renouvelle mes remerciements à l'ensemble des membres du jury pour leur professionnalisme, leur exigence scientifique et la bienveillance de leurs échanges, qui ont permis d'enrichir ce travail et d'en élever le niveau académique.



Dédicace

À Allah, par Sa bonté et Sa grâce, les choses se parfont.

Louange et gratitude à Lui pour la réussite, la force et la patience qu'Il m'a accordées à chaque pas.

À ma mère Nadia, source intarissable de tendresse, sculptrice de miracles dans le silence. Toi qui as été mon refuge lorsque les épreuves m'écrasaient, et ma lumière quand tout semblait s'éteindre. Je te dois chaque battement de mon cœur, chaque pas accompli sur ce chemin. Tu es le début et la fin, l'incarnation sacrée du mot « réconfort ». De toi, j'ai appris que les mères sont uniques et que derrière toute réussite, il y a une mère... encore plus grande.

À mon père parti trop tôt djamel, me laissant enfant, sans avoir eu le temps de m'abreuver de sa tendresse.... Ton départ n'a pas été une simple absence, mais une fissure dans l'âme qui ne se referme jamais.

J'ai grandi, mais je ne t'ai jamais dépassé dans mon cœur.

Tu es resté une prière en suspens, un silence rempli de ta voix,

Paix à ton âme, et paix à chaque instant où je t'ai attendu sans te trouver.

Chaque réussite est pour toi, dans l'espoir qu'elle te parvienne, là-haut, dans un ciel qui ne pleure plus.

À mon frère mouhamed, mon pilier après mon père, Tu es mon refuge, mon repère, et ma paix silencieuse.

En toi, j'ai retrouvé la force d'un père et la tendresse d'un frère. Que Dieu te protège et fasse de toi une lumière sur mon chemin.

À ma meilleure amie et âme sœur Hadil, Tu es l'âme que la mienne a choisie. Tu as été la lumière qui a dissipé mes ténèbres. À toi, tout mon amour.

À vous, mes chères bien-aimées : Malak, Anfal, Rehab, Houyem, Aya, Ilham. Amies du cœur et sœurs de l'âme, merci pour votre présence, votre chaleur et votre sincérité.

À ma complice dans ce travail, Hadil, Merci pour ta présence sincère durant les nuits de labeur.

Aujourd'hui, nous récoltons ensemble le fruit de nos efforts. Que tu restes toujours la fidèle partenaire de mes succès à venir.

Et à moi-même, À toi qui as enduré en silence, qui t'es relevée sans témoin ni applaudissement, Tu as été ton propre refuge dans l'abandon, ton propre soutien dans les tempêtes. Je suis fière de toi, parce que malgré tout... tu as choisi la lumière.

Reste comme tu es : fière, déterminée, fidèle à tes rêves, et digne de tout ce qui est beau.



Dédicace

À Allah, Le Tout-Puissant,

Lui qui, par Sa grâce, parachève les bonnes œuvres. Louange et gratitude infinies pour le courage, la patience et les bénédictions accordées à chaque étape de ce parcours.

À moi-même,

À celle qui n'a jamais cédé, qui a résisté à la fatigue, défié l'impossible, et enduré en silence. À celle qui a veillé des nuits entières, affronté les difficultés avec détermination... Aujourd'hui, je me tiens fière devant moi-même et je dis : oui, j'ai réussi, et je suis tellement fière de toi.

À mes parents bien-aimés : Noureddine et Aziza,

Aucune parole ne saurait rendre justice à votre amour et vos sacrifices. Vous êtes la lumière qui a éclairé mon chemin et la prière qui m'a accompagnée à chaque étape de ma vie. Merci pour votre soutien indéfectible, pour chaque sacrifice silencieux, et pour votre présence constante dans ma vie. Votre amour est le plus grand cadeau de Dieu.

À mes chers frères : Amine et Sid Ahmed,

Vous êtes mon roc, mes alliés, et mes conseillers. Merci pour votre soutien et votre amour, que vous me donnez sans jamais compter. Vous êtes toujours là pour moi, et je vous en suis profondément reconnaissante.

À ma cousine bien-aimée : Salsabil,

Ma complice de toujours, celle qui connaît chaque recoin de mon cœur. Merci d'être toujours présente, d'être celle à qui je peux tout confier, et de partager avec moi tant de moments précieux. Tu es un véritable trésor dans ma vie.

À mon amie, mon âme sœur : Aya,

Tu es cette sœur que j'aurais toujours voulu avoir. Merci d'être mon pilier, de m'avoir guidée dans les moments les plus sombres, de m'avoir donnée l'espoir quand je doutais. Chaque étape de ma vie est plus belle grâce à toi.

À mes amies précieuses : Sabrina, Ilhem, Saïda, Houyem, Malak, Anfal, Rahab, Lamis,

Vous êtes les fleurs qui ont embelli mes années universitaires. Merci pour votre soutien, vos rires et pour toutes les aventures partagées. Vous êtes l'essence de mes plus beaux souvenirs.

Et enfin, à ma compagne de travail : Sabrina,

Ta détermination, ton engagement et ton esprit de collaboration ont rendu ce projet possible. Merci de m'avoir accompagnée dans ce voyage intellectuel et de partager cette expérience précieuse avec moi.



Résumé

Le genre *Quercus* en Algérie se caractérise par une grande diversité morphologique, notamment au niveau des trichomes foliaires. chez cinq espèces de chêne (*Q. afares*, *Q. suber*, *Q. canariensis*, *Q. ilex* et *Q. coccifera*), réparties sur trois étages bioclimatiques du nord-est algérien : humide (Skikda), (Annaba), subaride à semi-aride d'altitude (Batna), et semi-aride supérieur (Constantine). par observation microscopique (microscope optique avec caméra Optika) de feuilles , permettant d'analyser la forme, le nombre et la longueur des brins.

Les résultats montrent des variations significatives de la densité des trichomes selon les espèces et les sites étudiés. *Q. afares* de Skikda présente une forte densité de trichomes sur la face supérieure des feuilles, indiquant une stratégie adaptative même en milieu humide. En revanche, les feuilles de *Q. coccifera* d'Annaba sont dépourvues de trichomes en raison de leur maturité (trichomes caducs). *Q. suber*, également de Skikda, affiche une densité modérée, inférieure à celle de *Q. afares*. Les échantillons de Batna et Constantine montrent une densité élevée de trichomes, témoignant d'une adaptation aux conditions environnementales rigoureuses. les trichomes foliaires apparaissent comme des structures adaptatives sensibles aux variations écologiques.

Mots-clés : Quercus, trichomes foliaire ,morphologie,adaptation écologique , gradient bioclimatique.

ملخص

يتميز جنس البلوط في الجزائر بتنوع مورفولوجي واسع، خصوصًا على مستوى الشعيرات الورقية. شملت الدراسة خمس أنواع من البلوط (*Q. afares*, *Q. suber*, *Q. canariensis*, *Q. ilex*, *Q. coccifera*) موزعة على ثلاث مستويات بيوكليمية في شمال شرق الجزائر: رطب (سكيدة)، (عنابة)، شبه جاف إلى شبه قاحل جبلي (باتنة)، و شبه قاحل علوي (قسنطينة). تم تحليل عينات الأوراق بواسطة المجهر الضوئي المزود بكاميرا (Optika)، لدراسة شكل الشعيرات الورقية وعددها وطولها.

أظهرت النتائج اختلافات معنوية في كثافة الشعيرات الورقية حسب النوع والموقع المدروس. حيث سجلت أوراق *Q. afares* من سكيدة كثافة عالية من الشعيرات الورقية على السطح العلوي للورقة، مما يشير إلى استراتيجية تكيف حتى في البيئات الرطبة. في المقابل، لوحظ غياب الشعيرات الورقية على أوراق *Q. coccifera* المأخوذة من عنابة، نتيجة سقوطها مع نضج الأوراق (الشعيرات الورقية متساقطة). أما *Q. suber* من نفس المنطقة (سكيدة) فقد أظهر كثافة معتدلة من الشعيرات الورقية، أقل مقارنة بـ *Q. afares*. وسجلت العينات القادمة من باتنة وقسنطينة كثافة عالية من الشعيرات الورقية، مما يعكس تكيفها مع الظروف البيئية القاسية (جفاف، برودة، إشعاع شمسي).

تُبرز هذه النتائج أن الشعيرات الورقية تمثل بنى تكيفية حساسة للتغيرات البيئية.

الكلمات المفتاحية: بلوط، الشعيرات الورقية، مورفولوجيا، التكيف البيئي، التدرج البيوكليمي.

Abstract

The genus *Quercus* in Algeria is characterized by a high morphological diversity, particularly in the foliar trichomes. This study focuses on five oak species (*Q. afares*, *Q. suber*, *Q. canariensis*, *Q. ilex*, and *Q. coccifera*), distributed across three bioclimatic zones in northeastern Algeria: humid (Skikda, Annaba), sub-arid to semi-arid highlands (Batna), and upper semi-arid (Constantine). Through microscopic observation (optical microscope with Optika camera) of leaves, the shape, number, and length of the trichomes were analyzed.

The results show significant variations in trichome density depending on the species and sites studied. *Q. afares* from Skikda exhibits a high density of trichomes on the upper surface of the leaves, indicating an adaptive strategy even in a humid environment. In contrast, the leaves of *Q. coccifera* from Annaba lack trichomes due to their maturity (deciduous trichomes). *Q. suber*, also from Skikda, shows a moderate density, lower than that of *Q. afares*. The samples from Batna and Constantine exhibit a high density of trichomes, reflecting adaptation to harsh environmental conditions. Foliar trichomes appear to be adaptive structures sensitive to ecological variations.

Keywords: *Quercus*, foliar trichomes, morphology, ecological adaptation, bioclimatic gradient.

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Dédicace

Résumé

ملخص

Abstract

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

I. Présentation du genre *Quercus* 4

I.1. Le chêne 4

I.2. Bref aperçu sur l'histoire des chênes..... 4

I.3. Répartition géographique des chêne 5

I.3.1. Dans le monde 5

I.3.2. En Algérie..... 7

II. L'importance des chênes 8

III. Les espèces sous études..... 9

III.1. Le *Quercus ilex* (Chêne vert)..... 9

III.1.1. Caractéristiques de l'espèce *Quercus ilex* (Chêne vert)..... 9

III.1.2. Classification APG V de *Quercus ilex* L 9

III.2. Chêne Liège (*Quercus suber* L)..... 11

III.2.1. Caractéristiques de l'espèce Chêne Liège (*Quercus suber* L) 11

III.2.2. Classification APG V <i>Quercus suber</i>	11
III.3. Chêne de l'espèce <i>Quercus afares</i>	13
III.3.1. Description botanique	13
III.3.2. Classification APG V <i>Quercus afares</i> Pomel.....	13
III.4. <i>Quercus canariensis</i>	14
III.4.1. Description botanique	14
III.4.2. La classification APG V <i>Quercus canariensis</i>	15
III.5. Chêne Kermès (<i>Quercus coccifera</i>)	16
III.5.1. Caractères botaniques	16
III.5.2. la classification APG V <i>Quercus coccifera</i> L.....	17
III.6. Processus de régénération et de croissance des chênes	18
III.7. Rôle et fonction des trichomes foliaires chez les plantes	18
IV. Types de trichomes	19
IV.1. Classification morphologique et fonctionnelle.....	19
IV.1.1. Feuille développée	19
IV.1.1.1. Trichomes glandulaires	19
IV.1.1.2. Trichomes non glandulaires	19
IV.1.2. Feuille immature.....	20
IV.1.2.1. Trichomes glandulaires	20
IV.1.2.2. Trichomes non glandulaires	20
IV.2. Classification et rôle écologique	20
IV.3. Importance écologique et physiologique des trichomes.....	21
IV.3.1. Le rôle des trichomes dans la défense des plantes.....	21
IV.3.2. Effets des trichomes sur les insectes.....	21
IV.3.3. Rôle des trichomes glandulaires dans la défense chimique.....	21
IV.3.4. Protection contre les grands herbivores	21

IV.3.5. Variation écologique des trichomes.....	22
IV.3.6. Diversité et fonctions taxonomiques des trichomes foliaires chez <i>Quercus</i>	22
IV.3.7. Variations au cours de la maturation foliaire.....	22
IV.3.8. Différences entre les faces adaxiale et abaxiale.....	22
IV.3.9. Variation écologique et géographique	22
IV.3.10. Impact de l'hybridation.....	22
V. Étude morphologique de trichomes chez les chênes péri-méditerranéens	23
V.1. Rôle des trichomes dans les interactions eau-feuille : étude chez <i>Quercus ilex</i>	23

Chapitre 2 : matériel et méthode

I. Matériels et Méthodes.....	25
I.1. Site d'étude et conditions environnementales	25
I.2. Les Caractéristiques Climatiques Des Zones D'Études.....	25
I.3. Matériel biologique et échantillonnage	26
II. Techniques d'observation et d'analyse.....	27
II.1. Microscopie optique.....	27
II.2. Méthodologie d'évaluation du longueur des brins des trichomes	27
III. Analyse statistique.....	28

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Analyse descriptive des trichomes foliaires chez les espèces étudiées.....	30
Conclusion.....	55
Références	58

Liste des abréviations

Q : *Quercus*

ANOVA :analyse de la variance

Liste des figures

Figure 1 : Répartition géographique du genre quercus dans le monde.....	7
Figure 2 : arbre de chêne vert.....	10
Figure 3 : feuilles de chêne vert.	11
Figure 4 : feuilles de <i>Q. suber</i>	12
Figure 5 : une arbre de <i>Q. afares</i>	14
Figure 6 : une arbre de <i>Q. canariensis</i>	16
Figure 7 : Fruits, fleurs et gland de chêne kermès.	17
Figure 8 : Localisation des zones d'études des cinq espèces de genre <i>Quercus</i>	25
Figure 9 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de <i>Q. afares</i> .10X10 et 10X40.	32
Figure 10 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de <i>Q. canariensis</i> .10X10 et 10X40.....	35
Figure 11 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de <i>Q. coccifera</i> .10X10 et 10 X40.	38
Figure 12 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de <i>Q. ilex</i> chettaba constantine.10X10 et 10 X40.....	43
Figure 13 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de <i>Q. ilex</i> chelia batna.10X10 et 10 X40.....	43
Figure 14 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de <i>Q. subre</i> Skikda sioune .10X10 et 10 X40.....	46
Figure 15 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de <i>Q. subre</i> Skikdaouldja bou el balout .10X10 et 10 X40	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : types de trichomes, nombre et longueur des brins chez le chêne afares.	31
Tableau 2 : analyse de variance un facteur chez le <i>Q. afares</i>	33
Tableau 3 : types de trichomes, nombre et longueur des brins chez le chêne zen	34
Tableau 4 : analyse de variance un facteur chez le <i>Q. cnariensis</i>	35
Tableau 5 : types de trichomes, nombre et longueur des brins chez le chêne kermès.	36
Tableau 6 : analyse de variance un facteur pour le <i>Q. coccifera</i>	37
Tableau 7 : types de trichomes , nombre et longueur des brins chez le chêne vert.	39
Tableau 8 : analyse de variance deux facteurs avec répétition d'expérience pour <i>Q. ilex</i>	42
Tableau 9 : types de trichomes, nombre et longueur des brins chez le chêne liège.	44
Tableau 10 : analyse de variance de deux facteurs avec répétition d'expérience pour le <i>Q. suber</i>	45
Tableau 11 : types de trichomes, nombre et longueur des brins chez les cinq espèces étudié.	47
Tableau 12 : analyse de variance de deux facteurs avec répétition d'expérience pour cinq espèces étudié.	50
Tableau 13 : Tableau des conditions édaphiques des sites de collecte.	51

Introduction

Introduction

Le genre *Quercus* (famille des Fagaceae), communément appelé « chêne », constitue l'un des groupes végétaux les plus diversifiés et largement répartis de l'hémisphère nord, avec environ 550 espèces recensées (Nixon, 1993). Ce genre se caractérise par une grande complexité taxonomique, liée à sa variabilité morphologique et écologique, ainsi qu'aux phénomènes d'hybridation et de flux génétique, qui compliquent la délimitation entre les espèces, notamment dans des zones de cohabitation comme le nord de l'Algérie.

Bien que des efforts de classification aient été entrepris depuis le XVIII^e siècle, plusieurs taxons restent mal définis. Les espèces maghrébines, notamment algériennes, présentent un intérêt particulier dans l'étude du genre *Quercus*, en raison des chevauchements morphologiques entre espèces à feuillage caduc et persistant (Aissi, 2019).

Parmi les caractères morphologiques observables à l'échelle foliaire, les trichomes sont des structures épidermiques fines présentes sur les feuilles et les rameaux. Leur morphologie variable leur confère plusieurs rôles dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales, notamment la protection contre la dessiccation, les agressions biotiques, ou encore l'excès de lumière (Fahn, 1986 ; Kim et al., 2011). Toutefois, chez le chêne, les trichomes ne sont pas connus pour sécréter des sels, contrairement à certaines espèces halophytes.

Alors que la majorité des études précédentes s'inscrivaient dans une perspective systématique, notre problématique actuelle s'intéresse principalement à l'effet de l'environnement – notamment le climat – sur la forme, le nombre et la répartition foliaire des trichomes. En d'autres termes, nous analysons ces structures comme des caractères adaptatifs, et non uniquement taxonomiques.

Ainsi, la présente étude a pour objectif d'évaluer l'influence de différents étages bioclimatiques sur la morphologie et la distribution foliaire des trichomes, en comparant cinq espèces de chêne présentes dans le nord de l'Algérie : *Quercus afares*, *Q. suber*, *Q. canariensis*, *Q. ilex* et *Q. coccifera*. L'analyse inclut à la fois des comparaisons interspécifiques (entre espèces) et intraspécifiques (au sein d'une même espèce selon la localité). Elle vise également à tester, de manière complémentaire, la valeur discriminante de ces structures dans un contexte d'hybridation naturelle fréquente.

L'étude repose sur l'hypothèse que la diversité morphologique des trichomes est non seulement marquée entre espèces, mais sensible aux facteurs environnementaux tels que la

sécheresse, l'altitude ou l'humidité. Cela confère à ces structures un double intérêt : écologique et morpho-adaptatif, permettant de mieux comprendre la réponse des chênes aux gradients bioclimatiques algériens.

Le présent travail, réalisé dans le cadre du mémoire de fin d'études en master, s'articule autour de trois chapitres complémentaires. Le premier chapitre est consacré à une revue de la littérature scientifique, où nous avons abordé les principales connaissances sur les espèces du genre *Quercus* ainsi que sur les trichomes foliaires. Le deuxième chapitre traite des caractéristiques morphologiques des trichomes foliaires, analysées à l'aide du microscope optique. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et leur discussion, avant de conclure par un résumé général des principales conclusions de notre étude.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

I. Présentation du genre *Quercus*

I.1. Le chêne

Le chêne est un arbre emblématique appartenant à la famille des Fagacées, très répandu dans le bassin méditerranéen. Il peut atteindre une hauteur de 20 à 25 mètres et se distingue par un tronc souvent tortueux et fortement ramifié. Ses feuilles sont en général alternes et caduques, c'est-à-dire qu'elles tombent en automne.

Cependant, certaines espèces comme le chêne vert et le chêne-liège possèdent des feuilles persistantes, qui restent vertes toute l'année. La floraison du chêne a lieu en avril. Les fleurs mâles apparaissent sous forme de chatons pendants et discrets, tandis que les fleurs femelles sont isolées ou regroupées en petits épis dressés.

Le fruit du chêne est le gland, généralement de forme ovoïde. Il est partiellement enveloppé par une cupule écailleuse, longue, grise et légèrement duveteuse. L'écorce du chêne-liège est utilisée pour la fabrication de bouchons de haute qualité. Au cours de la vie d'un arbre, on peut effectuer jusqu'à 12 récoltes de liège. Bien que le bois de ce chêne soit très dense et dur, il est difficile à travailler et donc peu exploité dans l'industrie du bois. Avec plus de 550 variétés différentes, le chêne est considéré comme l'un des arbres les plus importants et majestueux au monde. (Mahmoud, 2011)

I.2. Bref aperçu sur l'histoire des chênes

Le genre *Quercus* regroupe plus de 550 espèces d'arbres et d'arbustes, majoritairement présentes dans l'hémisphère Nord. Ces espèces sont classées en plusieurs sections taxonomiques, parmi lesquelles les plus importantes sont :

- la section *Quercus* (également appelée chênes blancs ou *white oaks*),
- la section *Lobatae* (chênes rouges ou *red oaks*),
- et la section *Cerris* (chênes de Turquie ou *Turkey oaks*).

Chacune de ces sections compte plusieurs dizaines, voire plus d'une centaine d'espèces. En Europe, les chênes blancs comme le Chêne pédonculé (*Quercus robur*) et les chênes à feuillage persistant comme le Chêne liège (*Quercus suber*) occupent une place importante. Les chênes s'adaptent à une large gamme d'habitats, allant des régions arides jusqu'aux zones tropicales, avec une diversité particulièrement riche dans les régions méditerranéennes. Sur le plan évolutif, les chênes sont apparus au cours de l'Oligocène en Amérique du Nord, mais leur origine probable remonte à l'Asie du Sud-Est ou à l'Amérique

du Nord. Une importante diversification a eu lieu au Pliocène, marquant une phase clé dans l'évolution du genre. Durant le Quaternaire, les chênes ont été fortement influencés par les variations climatiques, notamment à travers 17 cycles glaciaires et interglaciaires. Ces fluctuations ont profondément modelé la répartition actuelle des chênes, ainsi que la diversité génétique des forêts. À l'heure actuelle, des interrogations subsistent quant à la capacité des chênes à faire face aux changements climatiques futurs. Certains scientifiques soulignent les défis à venir, tandis que d'autres mettent en avant leur fort pouvoir d'adaptation, démontré à travers leur histoire évolutive. Ces visions contrastées nourrissent le débat sur leur avenir écologique et génétique. (Kremer et al, 2002)

I.3. Répartition géographique des chêne

I.3.1. Dans le monde

Le chêne (*Quercus*) occupe une position majeure parmi les essences forestières, couvrant environ 33 % de la surface forestière boisée à l'échelle mondiale. À lui seul, il représente près de la moitié du couvert feuillu, lequel constitue 66 % des formations forestières mondiales. (Bouderoua, 1995)

Bien que le principal centre de diversification se situe en Amérique du Nord, une part significative des espèces est également présente dans la région méditerranéenne ainsi que dans l'ouest de l'Asie, où les conditions climatiques et géologiques ont favorisé une importante diversification (Bonfils et al, 2005).

En Asie, certaines espèces de chênes présentent une répartition strictement endémique. C'est notamment le cas de *Quercus semecarpifolia*, *Quercus lanata* S.M., et *Quercus leucotrichophora* Camus, qui se développent exclusivement sur ce continent. En se dirigeant vers le sud de l'Asie, plusieurs espèces du genre *Quercus* ont étendu leur aire de répartition jusqu'aux régions équatoriales, atteignant notamment l'Indonésie et les zones tropicales proches de l'Équateur, illustrant ainsi leur capacité d'adaptation écologique remarquable. (*Quercus subsericea*, *Quercus lineata*, *Quercus oidocarpa* et *Quercus luzonica*) (Bonfils et al, 2005).

Dans les régions tempérées, les aires de répartition des chênes couvrent les surfaces les plus étendues à l'échelle continentale. En Europe, on recense une vingtaine d'espèces, réparties à parts égales entre deux grandes sections : d'une part, les chênes de la section *Lepidobalanus* (ou chênes blancs), caractérisés par un feuillage caduc, parfois marcescent ; d'autre part, les chênes de la section *Cerris*, dont le feuillage peut être persistant ou caduc.

Parmi les espèces les plus fréquemment rencontrées figurent *Quercus castaneifolia* C.A. Mey., *Quercus pedunculata*, *Quercus sessiliflora*, *Quercus pubescens* Willd., et *Quercus cerris*.

Dans le bassin méditerranéen — incluant des régions comme la Sicile, l'Italie, la Sardaigne, la Corse, le sud de la France, l'Espagne, l'Algérie, la Tunisie, le Maroc et le Portugal, le chêne est particulièrement abondant là où les conditions écologiques sont propices à son développement : altitude, régime pluviométrique et températures modérées.

Parmi les espèces méditerranéennes les plus représentatives, on peut citer :

- *Quercus ilex* (chêne vert),
- *Quercus coccifera* L. (chêne kermès),
- *Quercus suber* L. (chêne-liège),
- *Quercus infectoria*,
- *Quercus faginea* Lamk,
- *Quercus fruticosa* Brot.,
- *Quercus pyrenaica*.

C.N.R.S. (1975)

En Afrique, les espèces de chênes sont strictement confinées à la partie nord du continent, principalement dans les zones méditerranéennes. Aucune espèce du genre *Quercus* ne parvient à s'étendre jusqu'à la zone boréale, et aucune ne dépasse le 60° degré de latitude nord, marquant ainsi une limite biogéographique nette dans leur répartition. (Bonfils et al, 2005).



Figure 1 : Répartition géographique du genre *quercus* dans le monde. (Medjmadj, 2014)

I.3.2. En Algérie

La chênaie présente une répartition très inégale à l'échelle régionale. Les peuplements les plus denses et les mieux constitués, sous forme de futaies majestueuses, se trouvent principalement dans les massifs montagneux de la Kabylie, et s'étendent vers l'est jusqu'à la frontière tunisienne. (Messaoudène, 1992)

Sur le plan de la répartition géographique, trois zones principales se distinguent : le littoral Est ainsi que les massifs côtiers à climat humide et subhumide, où se concentrent les forêts les plus denses de chênes-lièges, principalement dans le nord-est du pays, ainsi que des chênes à feuilles caduques ((Zen et Afarès). (Messaoudène, 1992)

La deuxième zone est constituée des hautes plaines continentales, caractérisées par un climat plus sec. Cette région abrite de vastes massifs forestiers dominés par le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et le chêne vert (*Quercus ilex*), formant des peuplements adaptés aux conditions semi-arides et aux sols pauvres. (Boudy, 1955)

La répartition spatiale des chênaies se concentre principalement sur la frange nord du territoire algérien, s'étendant à partir des piémonts sud de l'Atlas Saharien.

Selon Belarouci. (1991). **Influence des facteurs du milieu sur la productivité du thuya de ber bérie.**, la carte forestière nationale (Figure 1) illustre l'importante répartition actuelle des chênes, qui couvrent une superficie totale estimée à 1 062 000 hectares, répartie comme suit :

- 643 000 ha de chêne-liège (*Quercus suber L.*),
- 354 000 ha de chêne vert (*Quercus ilex*),
- 65 000 ha de chêne kermès (*Quercus coccifera*).

II. L'importance des chênes

Le chêne présente un intérêt économique majeur, tant par son bois, que par ses glands et son écorce. Bien que l'utilisation de son bois reste limitée et artisanale dans certaines régions notamment pour la fabrication d'ustensiles agricoles, de petits objets, de manches d'outils ou encore en tabletterie, le bois de chêne possède de nombreuses applications à plus grande échelle.

Reconnu pour être un matériau noble, le bois de chêne est réputé pour sa dureté, sa résistance naturelle à la putréfaction (imputrescibilité), sa facilité de travail, ainsi que sa belle patine qui se développe avec le temps. Il est particulièrement prisé dans la tonnellerie, où il est considéré comme le bois par excellence pour la fabrication de fûts destinés à l'élevage de vins et spiritueux.

Par ailleurs, il est utilisé pour produire des meubles massifs, lambris, parquets, portes et fenêtres, ainsi que des poutres de charpente. Les arbres de haute qualité peuvent également être exploités pour la charpente lourde et le bois de mine.

En revanche, les arbres de moindre qualité sont destinés à la production de bois de chauffage, à la fabrication d'un excellent charbon de bois, ou encore à la transformation en fibres destinées aux panneaux de particules et à la pâte à papier (**Roda, 2009**). German, Alain

Les fruits du chêne, en particulier les glands, possèdent une valeur nutritive élevée, notamment grâce à leurs graines douces appréciées par les populations rurales dans certaines régions.

Le chêne constitue également une ressource alimentaire importante pour le bétail, offrant à la fois des feuilles (fourrage) et des fruits. Cette fonction pastorale est particulièrement significative dans les taillis clairs, où la production de fourrage ne doit pas être négligée.

Par ailleurs, le pâturage contrôlé joue un rôle écologique et sylvicole essentiel. Il contribue à l'entretien des peuplements forestiers, notamment par la réduction de la biomasse combustible, ce qui aide à la prévention des incendies de forêt. Il favorise également la

conservation des taillis et leur évolution vers des futaies précoces, en limitant la compétition entre jeunes pousses (Loisel, 1967).

III. Les espèces sous études

III.1. Le *Quercus ilex* (Chêne vert)

Le chêne vert (*Quercus ilex*) est l'une des espèces les plus emblématiques du biome méditerranéen. Cet arbre, appartenant à la famille des Fagacées (Fagaceae), est un feuillu à feuillage persistant (également dit sempervirent).

III.1.1. Caractéristiques de l'espèce *Quercus ilex* (Chêne vert)

Le *Quercus ilex* est un arbre sempervirent du bassin méditerranéen, caractérisé par sa grande variabilité foliaire, tant au niveau de la forme que de la dentition et de la pilosité (Maire, 1926 ; Ionesco & Sauvage, 1962). Cette plasticité morphologique est particulièrement visible dans les structures épidermiques, notamment les trichomes.

Les feuilles, persistantes pendant 2 à 4 ans, présentent souvent une face inférieure couverte de trichomes étoilés ou rameux, jouant un rôle adaptatif contre la sécheresse, la forte irradiation et les attaques biotiques (Ouyahia, 1982 ; Boudy, 1952). Ces trichomes sont variables selon l'environnement, rendant l'espèce particulièrement pertinente pour l'analyse de la relation entre morphologie épidermique et gradient bioclimatique.

Les jeunes rameaux du chêne vert sont également pubescents, et les bourgeons terminaux ciliés confirment la richesse de la pilosité de l'espèce (Ouyahia, 1982). Ce développement de trichomes est une réponse écologique, renforcée par un système racinaire profondément ancré qui confère une forte résistance aux stress hydriques (Ionesco & Sauvage, 1962).

La floraison, monoïque et anémophile, se manifeste par des fleurs mâles en chatons pubescents abondants et des fleurs femelles discrètes à périanthe verdâtre (Benyelles & Bezzou, 1993 ; Enjalbal et al., 1994).

Ainsi, la richesse en trichomes du *Quercus ilex*, combinée à sa variabilité intra- et inter-individuelle, en fait un modèle idéal pour étudier l'effet des conditions écologiques sur la morphologie foliaire (INPN, n.d.).

III.1.2. Classification APG V de *Quercus ilex* L

- Règne : Plantae .

- **Sous-règne** : Viridaeplantae.
- **Infra-règne** : Streptophyta .
- **Classe** : Equisetopsida .
- **Clade** : Tracheophyta .
- **Clade** : Spermatophyta
- **Sous-classe** : Magnoliidae .
- **Super-ordre** : Rosanae .
- **Ordre** : Fagales .
- **Famille** : Fagaceae .
- **Genre** : *Quercus* .
- **Espèce** : *Quercus ilex* .

(MNHN & OFB, 2025)



Figure 2 : arbre de chêne vert.

(<https://www.calanques-parcnational.fr/fr/chene-vert>)



Figure 3 : feuilles de chêne vert. (Oued Chaaba, Batna).

III.2. Chêne Liège (*Quercus suber* L)

III.2.1. Caractéristiques de l'espèce Chêne Liège (*Quercus suber* L)

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une espèce typique du bassin méditerranéen occidental, présente depuis plus de 60 millions d'années (Aafi, 2007). Il s'agit d'un arbre à feuillage persistant, de taille moyenne, atteignant généralement 10 à 20 mètres de hauteur, parfois davantage dans des conditions écologiques optimales (Fettouche, 1988). Son écorce épaisse et spongieuse, riche en subérine, constitue la principale source mondiale de liège (Edlin & Nimmo, 1981).

Ses feuilles, alternes, coriaces et vert foncé sur la face supérieure, présentent une face inférieure densément pubescente, recouverte d'un trichomes blanchâtre composé principalement de trichomes étoilés (stellés). Ces trichomes sont très abondants et jouent un rôle dans la protection contre la sécheresse et les agressions abiotiques. On observe également des trichomes unicellulaires plus rares, présents au niveau du limbe jeune ou des nervures principales. La densité et la disposition de ces trichomes varient selon la position foliaire et l'exposition environnementale (Belkaid & Bouchenak-Khelladi, 1993 ; Fettouche, 1988).

Ces structures permettent une réflexion de la lumière, une réduction de la transpiration et offrent une barrière contre les herbivores ou les microorganismes pathogènes, conférant ainsi au chêne-liège une grande résistance aux conditions xériques.

III.2.2. Classification APG V *Quercus suber*

- Règne : Plantae.

- Sous-Règne : Viridaeplantae.
- Classe : Equisetopsida.
- Clade : Tracheophyta.
- Clade : Spermatophyta.
- Sous-Classe : Magnoliidae.
- Super-Ordre : Rosanae.
- Ordre : Fagales.
- Famille : Fagaceae.
- Genre : *Quercus* L.
- Espèce : *Quercus suber* .

(MNHN & OFB, 2003–2025)



Figure 4 : feuilles de *Q. suber*

https://www.arbolapp.es/imagenes/especies/especie_075_01.jpg

III.3. Chêne de l'espèce *Quercus afares*

III.3.1. Description botanique

Le chêne afares (*Quercus afares*) est une espèce caducifoliée, rare et endémique de l'Algérie et de la Tunisie. Il résulte d'un hybride naturel entre *Quercus suber* et *Quercus canariensis*, occupant principalement les zones montagneuses humides. Cette espèce est aujourd'hui classée comme vulnérable selon la Liste rouge de l'IUCN (IUCN, 2023).

Les feuilles sont grandes (7 à 14 cm de long), lancéolées à oblongues, à marge dentée évoquant le châtaignier, avec une base arrondie et un apex acuminé. Les nervures sont marquées (8 à 15 paires), et le pétiole est court et pubescent. Sur le plan microscopique, les feuilles présentent une densité élevée de trichomes stellés à la face inférieure, particulièrement concentrés le long des nervures, formant un tomentum blanchâtre protecteur. La face supérieure est verte, luisante, avec peu ou pas de trichomes visibles, sauf sur les jeunes feuilles où quelques trichomes stellés peuvent subsister (Pomel, 1875 ; Le Jolis, 1874).

Ces trichomes jouent un rôle essentiel dans l'adaptation de l'espèce aux conditions climatiques montagnardes : ils réduisent la perte d'eau par transpiration, protègent contre les UV, les pathogènes et participent à la régulation thermique de la feuille.

III.3.2. Classification APG V *Quercus afares* Pomel

- Règne : Plantae.
- Sous-Règne : Viridaeplantae .
- Classe : Equisetopsida .
- Clade : Tracheophyta .
- Clade : Spermatophyta .
- Sous-Classe : Magnoliidae .
- Super-Ordre : Rosanae .
- Ordre : Fagales .
- Famille : Fagaceae .
- Genre : *Quercus* L.

- Espèce : *Quercus afares* Pomel.

(MNHN & OFB, 2025)



Figure 5 : une arbre de *Q. afares*.

(<https://www.lapreille.com/index.php/plantes/quercus-afares-pomel>)

III.4. *Quercus canariensis*

III.4.1. Description botanique

Le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) est un arbre caducifolié originaire d'Afrique du Nord, présent principalement en Algérie, au Maroc et en Tunisie. Il atteint fréquemment plus de 30 mètres de hauteur, avec un tronc robuste pouvant dépasser 2 m de diamètre. Cette espèce est monoïque et possède un système racinaire profond et pivotant, bien adapté aux sols montagnards et argileux (Messaoudene, 1996 ; Ourlis, 2001).

Les feuilles sont larges (5 à 20 cm de long), obovales à lancéolées, à base auriculée et à lobes réguliers, terminés par un petit mucron. Elles tombent en hiver ou début de printemps. La face supérieure est généralement verte et glabre ou faiblement pubescente chez les jeunes feuilles, tandis que la face inférieure est recouverte partiellement de trichomes simples ou floconneux, formant un tomentum plus ou moins dense selon les individus.

Ces trichomes foliaires varient selon les conditions écologiques : ils sont plus nombreux dans les zones sèches, jouant un rôle de protection contre l'évaporation et l'excès d'insolation. À l'échelle microscopique, ils se présentent surtout sous forme de trichomes simples unisériés, parfois associés à quelques trichomes ramifiés dispersés (Messaoudene, 1996).

III.4.2. La classification APG V *Quercus canariensis*

- Règne : Plantae .
- Sous-règne : Viridaeplantae.
- Classe : Equisetopsida .
- Clade : Tracheophyta .
- Clade : Spermatophyta
- Sous-classe : Magnoliidae .
- Super-ordre : Rosanae .
- Ordre : Fagales .
- Famille : Fagaceae .
- Genre : *Quercus* .
- Espèce : *Quercus canariensis*

(MNHN & OFB, 2003–2025)



Figure 6 : une arbre de *Q. canariensis*.

(<http://www.lejardindesophie.net/liste%20des%20plantes/dq/quercuscanar.htm>)

III.5. Chêne Kermès (*Quercus coccifera*)

III.5.1. Caractères botaniques

Le chêne kermès (*Quercus coccifera* L.) est un arbuste méditerranéen sclérophylle à feuillage persistant, mesurant de 0,5 à 3 mètres, exceptionnellement jusqu'à 7 mètres dans des conditions écologiques favorables (Benyelles & Bezzou, 1993). Il est particulièrement bien adapté aux substrats rocheux et aux milieux xériques des écosystèmes méditerranéens.

Ses feuilles, coriaces et glabres, à bordure épineuse, sont vertes brillantes sur les deux faces et ont une durée de vie de 2 à 3 ans (Julve, 2021). Le limbe est ovale à marge dentée, avec un court pétiole. Une pubescence composée de trichomes étoilés (stellés) est parfois observable à la face inférieure des jeunes feuilles, notamment le long des nervures secondaires. Ces trichomes jouent un rôle crucial dans la réduction de la transpiration et la réflexion du rayonnement solaire, conférant à l'espèce une résistance accrue à la sécheresse (Somon, 1988).

Les rameaux jeunes présentent une écorce grise, lisse et uniforme, tandis que celle du tronc principal devient brun noirâtre, rugueuse et crevassée avec l'âge (Benyelles & Bezzou, 1993). La floraison, monoïque, intervient en avril-mai, avec des fleurs mâles groupées en chatons peu apparents, et des fleurs femelles plus discrètes.

La fructification est partiellement bisannuelle : les glands n'atteignent leur maturité qu'en août ou septembre de l'année suivant la floraison (Julve, 2021). Les fruits sont de forme allongée à subglobuleuse, insérés dans des cupules à base arrondie, recouvertes d'écailles rigides légèrement pubescentes, souvent récurvées vers l'extérieur (Somon, 1988).

III.5.2. la classification APG V *Quercus coccifera* L

- Règne : Plantae .
- Sous-règne : Viridiplantae .
- Clade : Tracheophyta .
- Clade : Spermatophyta .
- Classe : Equisetopsida.
- Sous-classe : Magnoliidae .
- Super-ordre : Rosanae.
- Ordre : Fagales .
- Famille : Fagaceae .
- Genre : *Quercus* L.
- Espèce : *Quercus coccifera* L.

(MNHN & OFB, 2025)



Figure 7 : Fruits, fleurs et gland de chêne kermès. (Tair, 2016)

III.6. Processus de régénération et de croissance des chênes

Les processus de régénération et de croissance des chênes jouent un rôle clé dans la dynamique de ces écosystèmes. Le développement des chênes est influencé par :

- La couverture végétale herbacée,
- La présence d'autres espèces ligneuses,
- La compétition pour les ressources telles que l'eau et les nutriments,
- Les conditions du sol et du microclimat.

Le succès de l'établissement des semis et leur croissance dépendent de ces facteurs écologiques qui interagissent de manière complexe (Marañón et al, 2009).

III.7. Rôle et fonction des trichomes foliaires chez les plantes

Les trichomes végétaux sont des structures épidermiques présentes à la surface des feuilles, des tiges et parfois des organes floraux. Ils remplissent diverses fonctions protectrices et physiologiques, jouant un rôle essentiel dans la résistance des plantes à la sécheresse et aux contraintes environnementales. Ces structures, semblables à de fins poils, forment une barrière physique qui limite la perte d'eau par transpiration et protège contre les herbivores et les rayons UV (Wang et al, 2021).

On distingue deux grandes catégories de trichomes :

- Les trichomes glandulaires : Ce sont des structures spécialisées capables de produire et de sécréter des métabolites secondaires tels que les terpènes, les flavonoïdes et les acides phénoliques. Ces composés ont une fonction défensive importante face aux stress biotiques et abiotiques, notamment la sécheresse, l'attaque d'herbivores et les rayonnements solaires intenses.
- Les trichomes non glandulaires : Bien qu'ils ne sécrètent pas de substances chimiques, ils assurent une protection physique directe contre l'excès de lumière et les températures extrêmes. Ils jouent également un rôle crucial dans la réduction de la transpiration, contribuant ainsi à la survie des plantes dans des environnements arides ou semi-arides.

Des études récentes montrent, par exemple, que chez *Quercus pubescens*, les trichomes foliaires contribuent efficacement à l'adaptation à une sécheresse amplifiée, en mobilisant à la fois des défenses physiques et chimiques à long terme (Laoué, 2024).

IV. Types de trichomes

IV.1. Classification morphologique et fonctionnelle

IV.1.1. Feuille développée

Plusieurs types de trichomes ont été recensés, dont certains sont déjà bien connus chez les chênes américains. Nous reprenons ici les subdivisions proposées par (Hardin, 1976).

IV.1.1.1. Trichomes glandulaires

Parmi les deux types de trichomes glandulaires décrits par Hardin, seul le trichome simple unisériel a été observé. Ce type, également mentionné par Ramayya, est formé d'une chaîne de trois à quatre cellules relativement homogènes, généralement bifurquées à l'extrémité. Il est largement répandu chez *Q. mirbeckii*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*, *Q. pyrenaica*, *Q. robur* et *Q. valentina*, mais reste rare chez *Q. afares* et *Q. cerris*, et absent chez *Q. coccifera*, *Q. ilex*, *Q. × kabylica* et *Q. suber*. Le trichome bulbeux (ou capité) n'a pas été identifié (Hardin, 1976).

IV.1.1.2. Trichomes non glandulaires

Plusieurs types ont été observés :

- Type unicellulaire (solitaire) : Composé d'une cellule unique, longue, droite et effilée.

Deux variantes : érigée ou prostrée. Rare sur les feuilles développées, souvent localisé sur la nervure médiane. Observé chez *Q. robur*, *Q. petraea*, *Q. mirbeckii*, *Q. pubescens*, *Q. pyrenaica* et *Q. valentina*. (Safou et Saint-Martin, 1989).

- Type stellés : Structure radiaire avec rayons fusionnés à la base. Présent chez *Q. afares*, *Q. cerris*, *Q. × kabylica*, *Q. petraea* et *Q. valentina*, avec des variations morphologiques spécifiques (Safou et Saint-Martin, 1989).
- Type multiétoilé : Fusion asymétrique de trichomes étoilés. Observé uniquement chez *Q. valentina* (Safou et Saint-Martin, 1989).
- Type fasciculé : brins nombreux, partiellement fusionnés. Deux sous-types :
 - De 2 à 5 brins (par ex. chez *Q. mirbeckii*, *Q. pubescens*, *Q. pyrenaica*)
 - De 6 à 14 brins, plus complexes (chez *Q. ilex* et *Q. suber*)

(Safou et Saint-Martin, 1989).

IV.1.2. Feuille immature

Les feuilles immatures présentent une densité de trichomes plus élevée (tomenteuse accentuée). Tous les types observés sur les feuilles adultes y sont présents, avec quelques particularités :

IV.1.2.1. Trichomes glandulaires

- Trichome simple unisérié : Présent également sur les feuilles immatures de *Q. mirbeckii*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*, *Q. cerris*, *Q. pyrenaica*, *Q. valentina*.

(Safou et Saint-Martin, 1989)

- Trichome capité : Cellule apicale en forme de tête (arrondie ou allongée), correspondant au type décrit par Hamayya. Observé chez *Q. afares*, *Q. cerris*, *Q. coccifera*, *Q. ilex*, *Q. mirbeckii*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*, *Q. robur* et *Q. valentina* (où les deux formes coexistent). Principalement localisé sur la face adaxiale (Safou et Saint-Martin, 1989).

IV.1.2.2. Trichomes non glandulaires

Chez le genre *Quercus*, les trichomes non glandulaires présentent une diversité morphologique importante. Plusieurs types ont été décrits dans la littérature, notamment les trichomes unicellulaires, stellés et fasciculés. Leur distribution varie selon les espèces, la face foliaire (adaxiale ou abaxiale), ainsi que le stade de développement des feuilles. Certaines études, comme celle de (Safou et Saint-Martin, 1989), ont mis en évidence des tendances spécifiques à certaines espèces, ce qui suggère un potentiel diagnostic non négligeable pour la taxonomie du genre (Safou et Saint-Martin, 1989).

IV.2. Classification et rôle écologique

Des études micro-morphologiques montrent que les trichomes jouent un rôle adaptatif en milieu aride. Chez dix espèces ligneuses des forêts semi-arides du Zagros (Iran), les

Trichomes ont été classés en plusieurs types : solitaires, en T, crochus, fasciculés, stellés, multiradiés, discoïdes, arborescents. Leur densité contribue à la réduction de la transpiration (Soheili et al., 2023).

(Kim et al, 2011) ont démontré, via microscopie électronique, que les trichomes adaxiaux sont glandulaires (unicellulaires, à parois fines), alors que ceux de la face abaxiale sont non

glandulaires (stellés, à parois épaisses). Une densité plus forte a été notée sur les pousses dominantes après incendie, indiquant une réponse au stress.

Enfin, plusieurs travaux soulignent que la densité des trichomes varie selon les espèces et est influencée par des facteurs environnementaux : humidité, température, pression de vapeur.

Elle augmente souvent comme mécanisme d'adaptation à la sécheresse, contribuant à la régulation de l'évapotranspiration, la conductance stomatique et l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

IV.3. Importance écologique et physiologique des trichomes

IV.3.1. Le rôle des trichomes dans la défense des plantes

Les trichomes, qui se présentent sous une grande variété de formes et de tailles, jouent un rôle crucial dans les mécanismes de défense des plantes. Bien qu'ils aient été largement utilisés à des fins taxonomiques, leur importance adaptative a longtemps été négligée par les écologistes et les biologistes de l'évolution. Pourtant, ils forment une barrière physique et chimique efficace contre les insectes phytophages et autres prédateurs (**Levin, 1973**).

IV.3.2. Effets des trichomes sur les insectes

Une densité élevée de trichomes peut réduire significativement l'alimentation, la ponte et le développement des insectes. Certains trichomes spécialisés, munis d'extrémités crochues, peuvent même piéger les insectes, entravant leur déplacement à la surface de la feuille. (**Levin, 1973**).

IV.3.3. Rôle des trichomes glandulaires dans la défense chimique

Certains trichomes sont glandulaires et sécrètent des substances chimiques comme les terpènes, les phénols et les alcaloïdes. Ces composés agissent comme des répulsifs olfactifs et gustatifs, rendant la plante moins attrayante pour les ravageurs (**Levin, 1973**).

IV.3.4. Protection contre les grands herbivores

Chez certaines espèces, des trichomes urticants sont capables de libérer des substances irritantes provoquant des douleurs au contact, ce qui dissuade les herbivores de se nourrir de la plante (**Levin, 1973**).

IV.3.5. Variation écologique des trichomes

Le type et la densité des trichomes peuvent varier au sein d'une même espèce, en fonction des conditions environnementales. Ces variations peuvent être liées à des facteurs écogéographiques, sans que la pression des prédateurs en soit toujours la cause directe

(Levin, 1973).

IV.3.6. Diversité et fonctions taxonomiques des trichomes foliaires chez *Quercus*

L'examen des trichomes foliaires par microscopie électronique à balayage a permis d'identifier huit types distincts de trichomes, chaque espèce de *Quercus* possédant une combinaison spécifique. Certains types sont exclusifs à des sous-genres ou des séries, renforçant leur valeur comme caractère taxonomique (Hardin, 1979).

IV.3.7. Variations au cours de la maturation foliaire

Les feuilles subissent une perte progressive de trichomes au cours de leur maturation. Cette réduction concerne à la fois la densité (quantitativement) et les types (qualitativement)

(Hardin, 1979).

IV.3.8. Différences entre les faces adaxiale et abaxiale

La face adaxiale (supérieure) est généralement lisse, brillante et glabre, alors que la face abaxiale (inférieure) peut rester pubescente ou présenter des trichomes le long des nervures. (Hardin, 1979).

IV.3.9. Variation écologique et géographique

La densité des trichomes est plus sensible aux conditions environnementales que leur type.

Ces variations peuvent être dues à des facteurs écophénotypiques, des différenciations écotypiques ou des différences génétiques aléatoires (Hardin, 1979).

IV.3.10. Impact de l'hybridation

L'hybridation et l'introgession entre espèces du genre *Quercus* peuvent conduire à des combinaisons uniques de trichomes chez les hybrides, renforçant ainsi la variabilité locale. (Hardin, 1979).

V. Étude morphologique de trichomes chez les chênes péri-méditerranéens

L'analyse de 12 espèces de chênes méditerranéens a révélé six grands types de trichomes (simple unisérié, glandulaire, unicellulaire, stellaire, multistellaire, fasciculé). Ces caractéristiques permettent de classer les espèces en trois groupes selon la nature de leur feuillage : caduques, semi-persistantes et persistantes (Safou & Saint-Martin, 1989).

V.1. Rôle des trichomes dans les interactions eau-feuille : étude chez *Quercus ilex*

Chez le chêne vert (*Quercus ilex*), les trichomes influencent fortement la mouillabilité des feuilles et leur capacité à absorber l'eau. La face adaxiale, plus mouillable, est capable de retenir l'eau, tandis que la face abaxiale, dense en trichomes, présente une forte hydrophobicité (Fernández et al, 2014).

Les analyses chimiques montrent que les trichomes sont recouverts d'une cuticule composée de cire (8%), de cutine (49%) et de polysaccharides (43%). De plus, les cicatrices laissées par la chute des trichomes sur la face supérieure peuvent faciliter l'absorption de l'eau (Fernández et al, 2014).

Chapitre 2 : matériel et méthode

I. Matériels et Méthodes

I.1. Site d'étude et conditions environnementales

Cette étude a été réalisée dans une région méditerranéenne du nord de l'Algérie, caractérisée par un climat tempéré avec des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Les températures annuelles varient entre 5 et 35 °C et les précipitations moyennes dépassent 600 mm par année. Ces conditions offrent un environnement favorable à la croissance des espèces de chênes (*Quercus sp.*), ce qui en fait un cadre adapté pour l'étude de la diversité morphologique des trichomes foliaires en conditions naturelles.

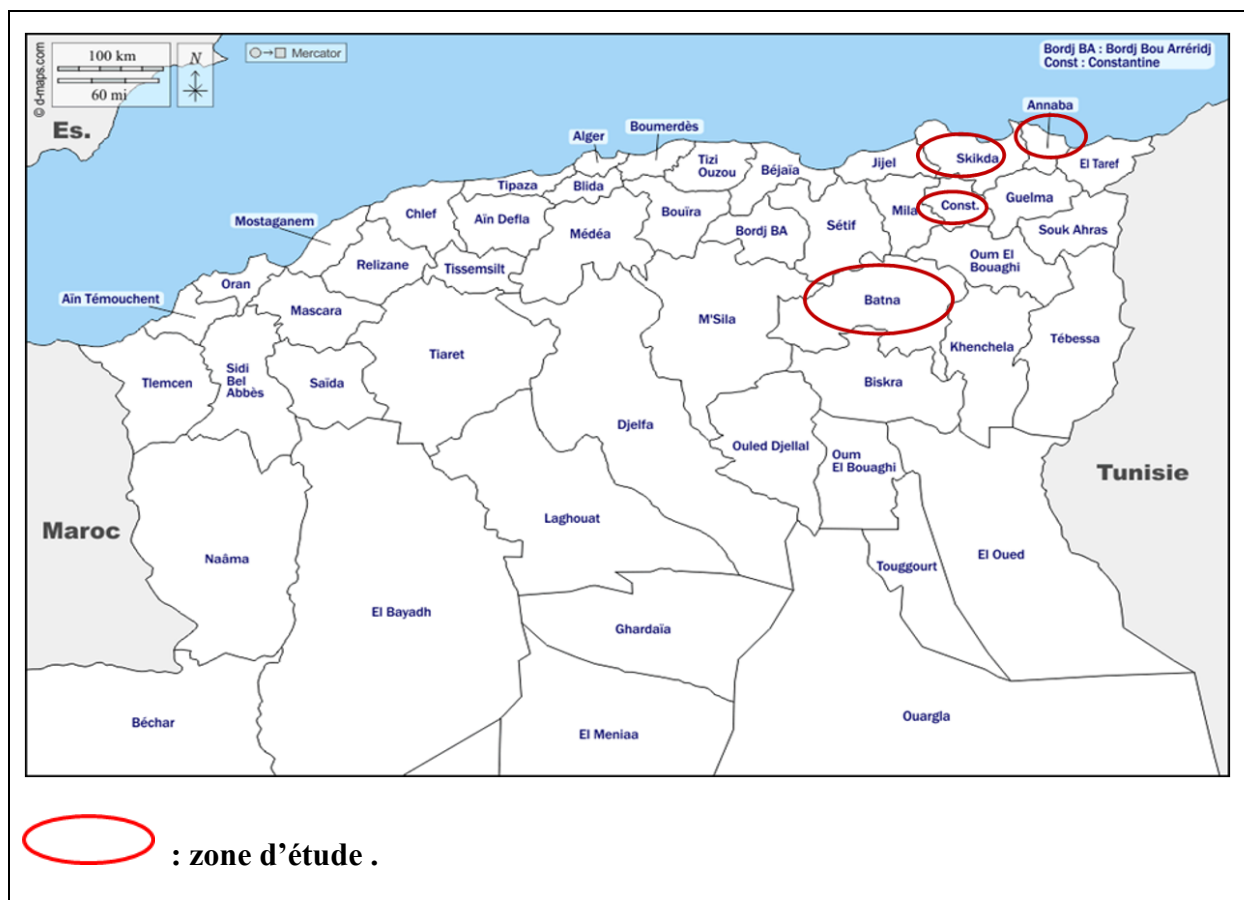


Figure 8 : Localisation des zones d'études des cinq espèces de genre *Quercus*.

I.2. Les Caractéristiques Climatiques Des Zones D'Études

- Région de Annaba :

La région de annaba présente un climat méditerranéen tempéré, caractérisé par des étés chauds et secs, et des hivers doux et humides. L'influence combinée de la mer Méditerranée et du relief montagneux module les conditions climatiques locales. Les vents dominants proviennent du nord et du nord-est. Les températures varient entre 6,9 °C en janvier et 31,4

°C en août ; région côtière humide est la plus arrosée (~650 mm/an), ce qui favorise une plus grande densité et diversité des trichomes . (Tebbani & Bouchahm, 2016).

- **Région de Batna :**

Le Parc national du Chélia présente un climat montagnard avec une pluviométrie annuelle moyenne de 533,6 mm, une température moyenne de 16,6 °C et une humidité relative moyenne de 56 %. Il connaît environ 57 jours de neige par an.

Le Parc national du Belezma, quant à lui, est situé en zone semi-aride, avec une précipitation annuelle moyenne de 346 mm, dont 45 jours de neige, une température moyenne annuelle de 15,1 °C et une humidité relative moyenne de 60,5. (Tafer et al., 2022)

- **La région de Constantine :**

La région de Constantine, située dans le nord-est de l'Algérie, bénéficie d'un climat méditerranéen. Elle se distingue par des hivers froids et humides, ainsi que des étés chauds et secs. La température moyenne oscille entre 7,15 °C en janvier et 26,6 °C en juillet. Le régime pluviométrique est de type méditerranéen tempéré, avec une moyenne annuelle d'environ 485 mm, principalement concentrée durant la saison hivernale, tandis que l'été reste très sec. Ce contexte climatique explique les variations morphologiques observées au niveau des feuilles. (Benharkat & Rouag-Saffidine, 2016).

- **La région de Skikda :**

La wilaya de Skikda, située au nord-est de l'Algérie, bénéficie d'un climat méditerranéen, marqué par des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux (A.N.P.E., 1994). Sur le plan bioclimatique, elle fait partie des zones humides à subhumides, avec un littoral tempéré et un intérieur plus froid.

Les précipitations annuelles varient entre 700 et 730 mm, la température moyenne hivernale étant de 11 °C sur la côte et 9 °C à l'intérieur, tandis que les températures estivales atteignent respectivement 24 °C (côte) et 27 °C (intérieur). L'humidité relative, élevée (moyenne de 65,5 %), fluctue entre 68,91 % et 75,34 %, influencée par la proximité de la mer Méditerranée, qui limite la durée de la sécheresse estivale (O.N.M., 2012).

I.3. Matériel biologique et échantillonnage

Notre étude a porté sur cinq espèces de chêne : *Quercus ilex*, *Quercus afares*, *Quercus coccifera*, *Quercus canariensis* et *Quercus suber*, collectées dans différentes régions du nord-

est de l'Algérie, à savoir Oued Zhour (Skikda), Chetaïbi (Annaba), Chelia (Batna) et Chettaba (Constantine), couvrant ainsi une diversité de conditions bioclimatiques et édaphiques.

Dix feuilles matures ont été analysées pour chaque espèce, à l'exception de *Quercus ilex* (25 feuilles) et *Quercus coccifera* (9 feuilles). Les feuilles sélectionnées étaient saines, bien développées et exposées à la lumière solaire directe.

Les échantillons ainsi préparés ont été observés au microscope optique équipé d'une caméra numérique Optika. Les photographies ont été prises à un grossissement de 10×10 pour le comptage des trichomes et à 10 ×40 pour l'analyse morphologique des trichomes individuels.

Toutes les observations ont été réalisées sur des échantillons en bon état.

II. Techniques d'observation et d'analyse

II.1. Microscopie optique

La méthode d'observation repose sur l'utilisation de ruban adhésif transparent appliqué soigneusement sur la face supérieure (adaxiale) du limbe foliaire, permettant de prélever les trichomes sans endommager la feuille. Le ruban, une fois retiré, est directement fixé sur une lame de verre sans recours à un traitement chimique ou à une coupe préalable. Cette technique simple et efficace offre une visualisation nette des structures superficielles des trichomes.

Les observations microscopiques ont été réalisées uniquement sur la face adaxiale (face supérieure) des feuilles. L'analyse a porté sur les caractéristiques morphologiques des trichomes, telles que la forme, le nombre de bras, et la longueur, afin de comparer les différentes espèces étudiées. **Hardin (1976).**

II.2. Méthodologie d'évaluation de la longueur des brins des trichomes

Dans le cadre de notre étude, nous n'avons pas utilisé de mesures précises en micromètres. À la place, nous avons adopté une approche semi-quantitative basée sur un système descriptif numérique, permettant de classer visuellement la longueur des brins des trichomes observés sur une échelle allant de 1 à 5 :

	La longueur des brins
1	Très court
2	Court

3	Moyennement long
4	Long
5	Très long

Cette classification a été réalisée par observation directe à l'aide du microscope optique équipé d'une caméra, en comparant visuellement les trichomes observés. Ce système nous a permis de différencier les types de trichomes selon leur morphologie sans recourir à des mesures micrométriques, ce qui reste adapté dans un cadre de description morphologique initiale ou d'étude à visée comparative.

III. Analyse statistique

Les trichomes foliaires ont été utilisés comme indicateurs morphologiques afin d'identifier les caractères anatomiques les plus distinctifs entre les espèces de chênes (*Quercus sp.*). Des paramètres tels que les types, le nombre et la longueur des brins des trichomes chez *Quercus ilex*, *suber*, *afares*, *canariensis* et *coccifera* se sont révélés particulièrement discriminants pour différencier les espèces. (Bouandas et al., 2024).

L'analyse de variance (ANOVA) est une méthode statistique permettant d'évaluer la variabilité morphologique des caractéristiques foliaires, en lien avec leur forme et leur structure, aussi bien au sein d'une même population (variabilité intra-populationnelle) qu'entre différentes populations (variabilité inter-populationnelle). (Bretz et al., 2004). Cette analyse permet d'examiner les relations entre les caractères étudiés et d'identifier les similitudes et les différences morphologiques, aussi bien entre les espèces présentes au sein d'une même station qu'entre celles issues de stations différentes. (Nguyen et al., 2019).

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Analyse descriptive des trichomes foliaires chez les espèces étudiées

L'étude morphologique menée sur les feuilles adultes des cinq espèces de chênes (*Quercus afares*, *Q. suber*, *Q. canariensis*, *Q. ilex* et *Q. coccifera*) a permis d'identifier une diversité notable de trichomes. ceux-ci sont majoritairement localisés sur la face adaxiale des feuilles et se présentent sous différentes formes, simples, binaires, fasciculées, stellées. Les trichomes simples, de forme droite et unicellulaire, sont les plus fréquemment observés. Les trichomes fasciculés, formés de plusieurs brins fusionnés, sont principalement rencontrés chez *Q. suber* et *Q. ilex*.

En revanche, les trichomes stellés, plus complexes sur le plan structural, ont été observés avec des fréquences variables. Chez *Quercus afares*, ils ont été enregistrés dans 5 échantillons sur 10, soit 50 %, ce qui en fait l'espèce la plus riche en trichomes de ce type. Chez *Q. suber*, ils n'ont été observés que dans 2 feuilles sur 10 (20 %), tandis que chez *Q. ilex*, 18 individus sur 50 en présentaient, soit environ 56 %.

Aucune présence de trichomes stellés ou satellites n'a été détectée chez *Q. canariensis* ni chez *Q. coccifera*.

Cette variabilité dans la répartition des formes stellées et satellites pourrait refléter une influence combinée de facteurs écologiques et génétiques spécifiques à certaines espèces ou populations.

I) Résultats et interprétation statistique - par espèce :

1. *Quercus afares* :

Tableau 1 : types de trichomes, nombre et longueur des brins chez le chêne afares.

Afares siouane Skikda						
		Types des trichomes				
Espèces	Nombre des trichomes	Simple	Binaires	Fasciculées	Stellées	Grandeur des brins
A1	51	0	0	0	51	3
A2	38	0	0	0	38	3
A3	44	0	0	0	44	3
A4	53	0	0	0	53	4
A5	48	0	0	0	48	3
A6	8	5	1	2	0	2
A7	6	3	0	3	0	2
A8	23	14	4	5	0	2
A9	17	13	0	4	0	2
A10	15	10	4	1	0	2

L'étude des trichomes foliaires de *Quercus afares* dans la station de Siouane (Skikda) a permis d'identifier deux groupes différents. Le premier groupe (A1 à A5) est caractérisé uniquement par des trichomes stellés en grande quantité (entre 38 et 53), avec une longueur moyenne des brins entre 3 et 4. Le second groupe (A6 à A10) montre plus de diversité dans les types de trichomes (simples, binaires et fasciculés), mais en plus petite quantité, et avec

des brins généralement plus courts (valeur de 2). Ces différences pourraient être liées à des facteurs environnementaux locaux ou à une variation au sein de l'espèce.

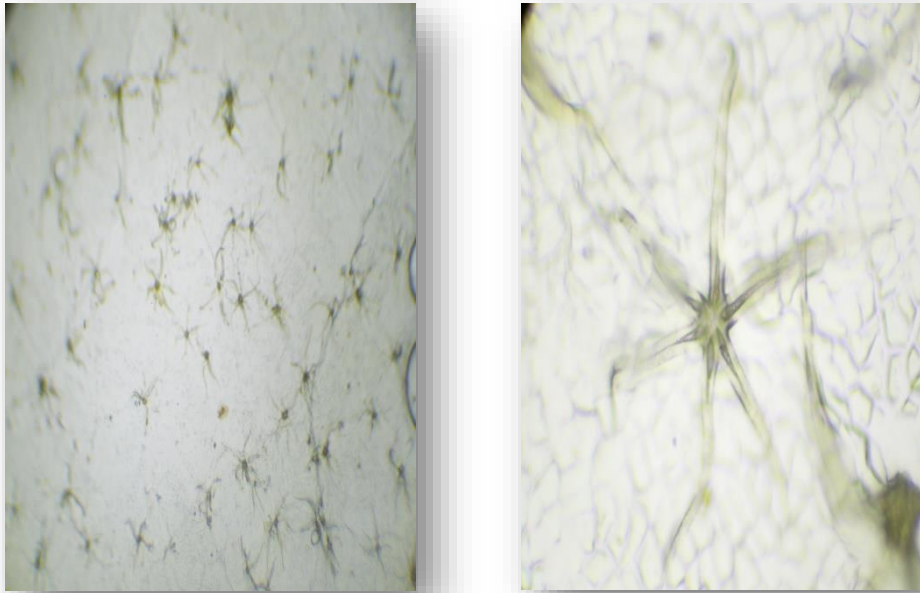


Figure 9 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de *Q. afares* .10X10 et 10X40.

Tableau 2 : analyse de variance un facteur chez le *Q. afares*.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	2108,2667	9	234,25185	0,7693168	0,6448447	2,0733512
A l'intérieur des groupes	15224,667	50	304,49333			
Total	17332,933	59				

Les données collectées pour *Q. afares* révèlent une prédominance marquée des trichomes simples, avec des densités élevées atteignant jusqu'à 53 unités par individu. Les formes complexes sont très peu représentées, voire absentes. Le test ANOVA ne révèle aucune différence significative entre les échantillons ($p = 0.644 > 0.05$) tableau 2, traduisant une homogénéité morphologique au sein de cette espèce.

2. *Q. canariensis* :**Tableau 3 : types de trichomes, nombre et longueur des brins chez le chêne zen .**

Canariensis Oued Zhour Skikda						
		Types des trichomes				
Espèces	Nombre des trichomes	Simple	Binaire	Fasciculées	Stellées	Grandeur des brins
C1	6	5	1	0	0	4
C2	6	0	1	5	0	3
C3	4	1	0	3	0	4
C4	8	3	3	2	0	5
C5	6	6	0	0	0	5
C6	2	0	1	1	0	5
C7	3	1	0	2	0	5
C8	3	1	1	1	0	5
C9	4	3	1	0	0	5
C10	3	0	0	3	0	5

L'analyse des trichomes foliaires de *Quercus canariensis* dans la station de Oued Zhour (Skikda) montre une diversité modérée dans les types de trichomes présents.

La majorité des échantillons (C1 à C10) présentent des trichomes simples, binaires et fasciculés, avec une absence totale des trichomes stellés.

Le nombre total de trichomes est relativement faible (entre 2 et 8 par échantillon), mais la longueur des brins est globalement plus élevée, atteignant une valeur de 5 chez la majorité des individus.

Cette combinaison d'une faible densité mais d'une grande longueur de brins pourrait refléter une stratégie morphologique spécifique à l'environnement de cette station.

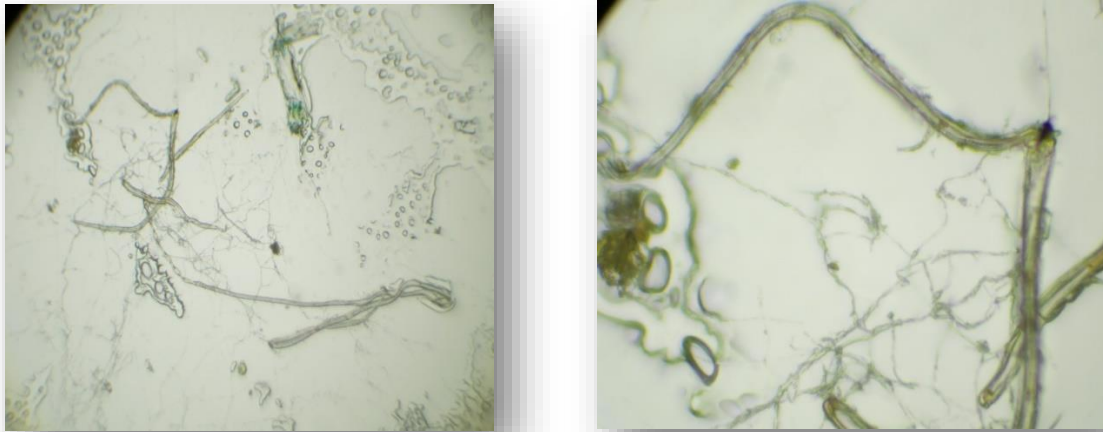


Figure 10 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de *Q.canariensis* .10X10 et 10X40.

Tableau 4 : analyse de variance un facteur chez le *Q. cnariensis*.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	19,733333	9	2,1925926	0,4030501	0,9275939	2,0733512
A l'intérieur des groupes	272	50	5,44			
Total	291,73333	59				

Les échantillons de *Q. canariensis* présentent une faible densité et une faible diversité de trichomes. L'analyse statistique n'indique aucune différence significative entre les individus ($p = 0.927 > 0.05$) tableau 4, ce qui traduit une homogénéité marquée du point de vue morphologique.

Q. canariensis (la région péninsule Ibérique) La face adaxiale possède aussi des trichomes solitaires et fasciculées, semblables à ceux observés sur la face inférieure. Les feuilles jeunes présentent les mêmes types de trichomes, mais en plus grande abondance. (Llamas et al. 1995).

3. *Q. cossifera* :

Tableau 5 : types de trichomes, nombre et longueur des brins chez le chêne kermès.

COCCIFERA CHETAIBI ANNABA						
		Types des Trichomes				
Espèces	Nombre des trichomes	Simple	Binaire	Fasciculée	Stellées	Grandeur des brins
Co1	1	0	0	0	1	3
Co2	2	2	0	0	0	4
Co3	1	1	0	0	0	5
Co4	1	1	0	0	0	2
Co5	0	0	0	0	0	0
Co6	1	1	0	0	0	2
Co7	0	0	0	0	0	0
Co8	1	0	0	1	0	3
Co9	0	0	0	0	0	0

Chez *Quercus coccifera* provenant de Chétaïbi (Annaba), l'analyse morphologique des trichomes foliaires (Tableau 5) a révélé une diversité limitée, caractérisée principalement par la présence de trichomes simples et Stellées .

Les trichomes simples sont majoritairement observés (présents chez 6 échantillons sur 9), tandis que les trichomes Stellées ne sont détectés que chez un individu (Co1). Les formes binaires et fasciculées sont totalement absentes chez cette espèce dans cette localité.

En ce qui concerne la grandeur des brins, elle varie entre 0 et 5 unités selon les individus. Les spécimens Co3 et Co2 présentent les longueurs les plus élevées (5 et 4 unités respectivement), ce qui reflète une certaine variabilité morphologique entre les échantillons.

Tableau 6 : analyse de variance un facteur pour le *Q. coccifera*.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	12,333333	8	1,5416667	1,3214286	0,2576514	2,1521329
A l'intérieur des groupes	52,5	45	1,1666667			
Total	64,833333	53				

Les individus de *Q. coccifera* se caractérisent par une rareté notable des trichomes, le plus souvent limités à des formes simples. L'absence de différences significatives ($p = 0.257 > 0.05$) tableau 6 , met en évidence une faible valeur discriminante de ce caractère pour cette espèce.

Chez *Quercus coccifera*, l'observation de la face supérieure des feuilles révèle une très faible densité de trichomes, voire une absence quasi-totale sur les feuilles matures. Ce constat est cohérent avec le fait que cette espèce méditerranéenne adopte une stratégie basée sur des trichomes caducs, c'est-à-dire présents sur les jeunes feuilles puis perdus avec la maturation. (Valladares et al., 2008).

Avec la disparition progressive des trichomes, *Q. coccifera* privilégie alors d'autres mécanismes de protection tels qu'une, des feuilles coriaces et réduites, (Valladares et al;2008).

Par ailleurs, les conditions édaphiques observées au site de Chetaïbi (Annaba), avec un sol calcaire argileux combiné à un climat humide (~650 mm/an), renforcent probablement cette stratégie en limitant les ressources allouées à la production de trichomes persistants sur la face supérieure.

***Q. coccifera* (la région péninsule Ibérique)** Cette espèce présente des trichomes qui varie à la fois en densité et en diversité, selon le stade de développement de la feuille. Chez les jeunes feuilles, les surfaces supérieure et inférieure portent un mélange clairsemé de types de trichomes, incluant des formes simples unisériées, bulbeuses, solitaires et stellées fusionnées. Tous ces trichomes sont caducs ; ainsi, chez les feuilles matures, ils sont soit absents, soit présents en très faible quantité. Les trichomes les plus fréquemment conservés sont du type stellaire fusionné, avec des brins courts et rigides, localisés principalement le long de la nervure centrale sur les deux faces de la feuille. .(Llamas et al. 1995).

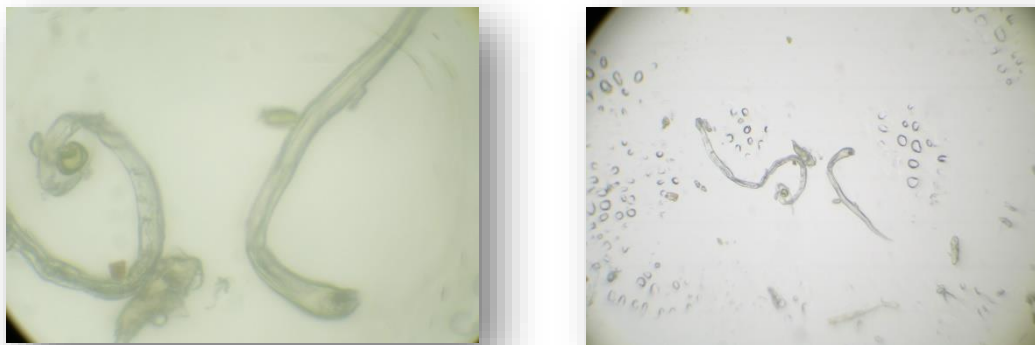


Figure 11 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de *Q.coccifera* .10X10 et 10 X40.

4.Q. *ilex* :

Tableau 7 : types de trichomes , nombre et longueur des brins chez le chêne vert.

Ilex : ilex I1/I25 : constantine chettaba I'1/I'25 :batna chelia						
		Types des trichomes				
Espèces	Nombre des trichomes	Simple	Binaires	Fasciculée	Stellées	Grandeur des brins
I1	16	0	0	0	16	3
I2	7	4	0	3	0	4
I3	8	0	2	4	0	3
I4	15	0	0	15	0	4
I5	7	3	2	2	0	4
I6	3	0	0	3	0	3
I7	3	0	0	3	0	5
I8	5	0	0	0	5	4
I9	4	0	0	0	4	4
I10	6	0	0	0	6	5
I11	3	0	3	0	0	4
I12	15	4	0	11	0	5
I13	7	2	0	5	0	5
I14	4	1	1	1	1	4

I15	7	1	0	6	0	3
I16	1	0	0	0	1	4
I17	1	0	0	0	1	4
I18	1	0	0	0	1	3
I19	2	0	0	0	2	3
I20	1	0	0	0	1	3
I21	2	0	0	0	2	4
I22	1	0	0	0	1	4
I23	1	0	0	0	1	5
I24	2	2	0	0	0	2
I25	1	0	0	0	1	3
I1	17	4	0	13	0	4
I2	19	7	0	10	2	4
I3	10	0	2	8	0	5
I4	4	0	1	1	2	5
I5	1	0	0	1	0	3
I6	18	5	0	13	0	4
I7	1	0	1	0	0	2
I8	1	1	0	0	0	5
I9	13	13	0	0	0	4
I10	14	0	0	14	0	3

I11	2	0	0	0	2	5
I12	3	0	0	0	3	5
I13	5	0	1	4	0	5
I14	7	2	0	5	0	3
I15	1	0	0	0	1	3
I16	11	9	0	2	0	2
I17	2	1	1	0	0	1
I18	13	7	0	6	0	3
I19	2	0	1	1	0	2
I20	9	0	0	9	0	3
I21	2	0	1	1	0	2
I22	7	2	0	5	0	2
I23	1	0	0	1	0	2
I24	1	1	0	0	0	2
I25	2	0	0	2	0	2

L'observation microscopique des feuilles de *Quercus ilex* provenant des régions de Chettaba (Constantine) et de Chélia (Batna) a révélé une diversité notable de trichomes, tant en forme, qu'en nombre et en longueur des brins. Quatre types principaux ont été identifiés : simples, binaires, fasciculés et stellés .

Dans la région de Chettaba, les trichomes fasciculés sont les plus fréquemment rencontrés, notamment chez les individus I4, I12 et I13. Les trichomes simples sont présents de manière inégale selon les individus, tandis que les formes binaires et stellées sont rares.

En revanche, à chez les échantillons de la région de Chélia, les trichomes stellées apparaissent très ponctuellement, comme chez les individus I'2 et I'4. Les trichomes fasciculés y sont moins abondants qu'à Chettaba, et les formes simples ou binaires apparaissent de manière sporadique.

Concernant la longueur des brins, les mesures varient entre 2 et 5 pour la majorité des individus de Chettaba, tandis que les individus de Chélia présentent généralement des longueurs plus réduites, de l'ordre de 1 à 3. Cette variation suggère d'éventuelles adaptations écologiques ou des différences morphologiques liées aux conditions géographiques distinctes des deux régions.

Tableau 8 : analyse de variance deux facteurs avec répétition d'expérience pour *Q. ilex*.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	18,253333	1	18,253333	1,7811992	0,1830563	3,8739497
Colonnes	1005,4667	5	201,09333	19,623116	8,043E-17	2,2453455
Interaction	105,90667	5	21,181333	2,0669197	0,0696013	2,2453455
A l'intérieur du groupe	2951,36	288	10,247778			
Total	4080,9867	299				

Quercus ilex distingue par une grande diversité morphologique de trichomes, incluant les formes fasciculées, stellées . Le test ANOVA révèle une différence significative entre les types de trichomes ($p=1,7 >0.05$) tableau 8, mais aucune différence significative entre les individus ($p = 0.069 >0.05$) tableau 8, indiquant une richesse structurale dépendante de l'origine des échantillons. et non pas de l'espèce elle même.

Quercus ilex (la région péninsule Ibérique) les feuilles matures présentent, sur la face adaxiale, des trichomes stellées fusionnés, généralement pourvus de 6 à 8 brins, dispersés de manière très clairsemée sur le limbe, ce qui donne à la surface un aspect glabre à l'œil nu. En

revanche, la face abaxiale est recouverte d'un indûment très dense, bien que de petites zones glabres puissent parfois laisser entrevoir l'épiderme.(Llamas et al. 1995).

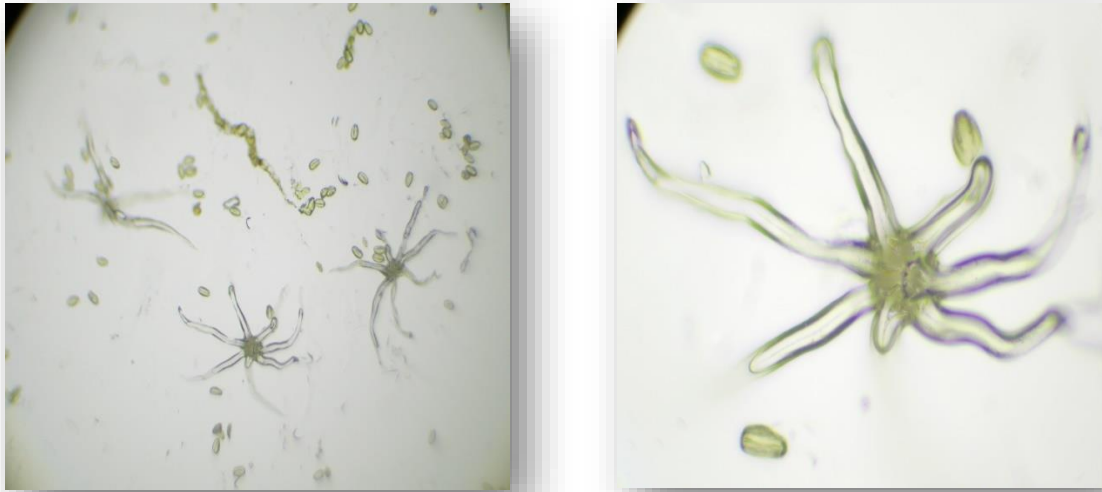


Figure 12 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de *Q.ilex* chettaba constantine.10X10 et 10 X40.

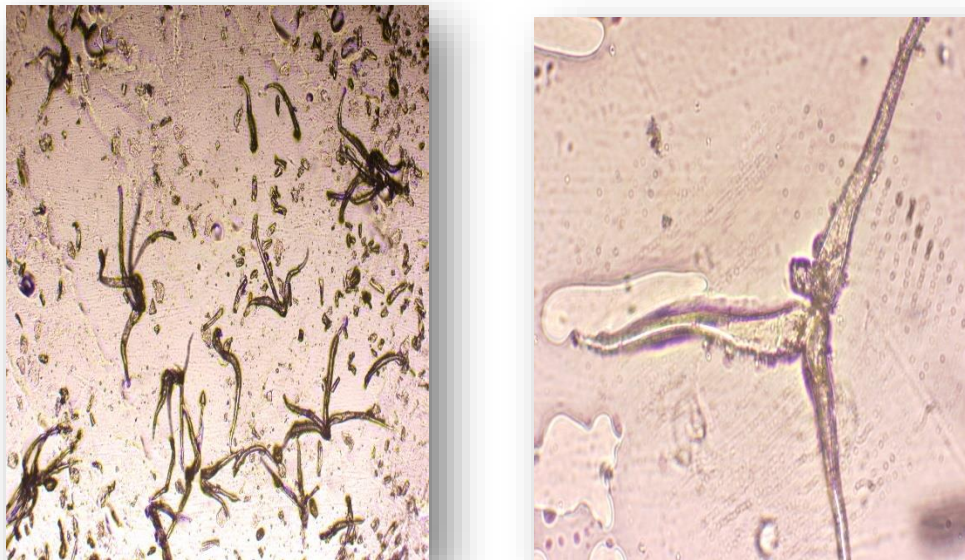


Figure 13 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de *Q.ilex* chelia batna.10X10 et 10 X40.

5. *Q. suber* :**Tableau 9 : types de trichomes, nombre et longueur des brins chez le chêne liège.**

Suber : Skikda sioune ouldja bou el balout						
		Types des trichomes				
Espèces	Nombre des trichomes	Simple	Binaires	Fasciculée	Stellées	Grandeur des brins
S1	11	6	0	5	0	3
S2	37	36	0	0	1	3
S3	17	14	0	3	0	3
S4	15	13	0	2	0	3
S5	13	8	5	0	0	2
S'1	7	0	0	6	1	5
S'2	13	12	0	1	0	4
S'3	14	10	4	0	0	5
S'4	11	7	4	0	0	5
S'5	8	5	0	3	0	5

L'analyse morphologique des trichomes chez *Quercus suber*, prélevés dans les régions de Siouane (Skikda) et Ouldja Bou el Balout (Skikda), a révélé une diversité significative entre les deux populations étudiées, tant au niveau du type que du nombre de trichomes.

Les trichomes simples dominent dans plusieurs échantillons, en particulier chez S2 (36 trichomes), S3 (14) et S4 (13). En revanche, certains individus comme S'1 (Ouldja) n'en présentent aucun. Les trichomes binaires sont peu fréquents et observés uniquement dans quelques cas : S5, S'3 et S'4, avec un nombre réduit. Les trichomes fasciculés sont plus courants dans la région d'Ouldja, notamment chez S'1 et S'5, alors qu'ils sont moins abondants à Siouane.

Les formes stellées, plus complexes et plus rares, n'ont été observées que chez S2 (Siouane) et S'1 (Ouldja), ce qui laisse supposer une apparition sporadique liée à certains individus ou à des conditions microclimatiques spécifiques.

En ce qui concerne la longueur des brins, elle varie de 2 à 5. Les échantillons d'Ouldja présentent généralement des brins plus longs (souvent de taille 5), tandis que ceux de Siouane affichent des dimensions plus modestes (2 à 3). Ces écarts morphologiques pourraient refléter une variation écologique locale ou une différenciation morphologique liée à l'origine géographique.

Tableau 10 : analyse de variance de deux facteurs avec répétition d'expérience pour le *Q. suber*.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	81,666667	1	81,666667	3,1901042	0,0804028	4,0426521
Colonnes	1750,4	5	350,08	13,675	2,634E-08	2,4085141
Interaction	274,13333	5	54,826667	2,1416667	0,0763847	2,4085141
A l'intérieur du groupe	1228,8	48	25,6			
Total	3335	59				

Chez *Q. suber*, une diversité morphologique importante des trichomes est constatée, incluant les formes fasciculées, binaires et stellées. L'analyse statistique met en évidence une différence

significative entre les types de trichomes ($p = 2.63 > 0.05$) tableau 10, sans variation notable entre les individus ($p = 0.076 > 0.05$) tableau 10, ce qui suggère que la variation observée est davantage liée aux types morphologiques qu'aux individus eux-mêmes.

***Quercus suber* L. (la région péninsule Ibérique)** présente, sur la face supérieure des feuilles, des trichomes solitaires localisés principalement au niveau des nervures, ainsi que quelques trichomes stellés fusionnés sur le limbe, principalement chez les feuilles jeunes. Chez les feuilles matures, ces trichomes étant caducs, la face supérieure devient presque glabre. En revanche, la face inférieure est entièrement recouverte par un indument dense, masquant complètement l'épiderme. Les trichomes solitaires se trouvent principalement sur les nervures, tandis que les trichomes stellés fusionnés sont répartis sur l'ensemble du limbe. Ces derniers possèdent plus de 10 brins, fusionnés à leur base sur au moins 30 μm , formant ainsi une zone centrale plus large que celle observée chez *Q. ilex*. (Llamas et al. 1995).

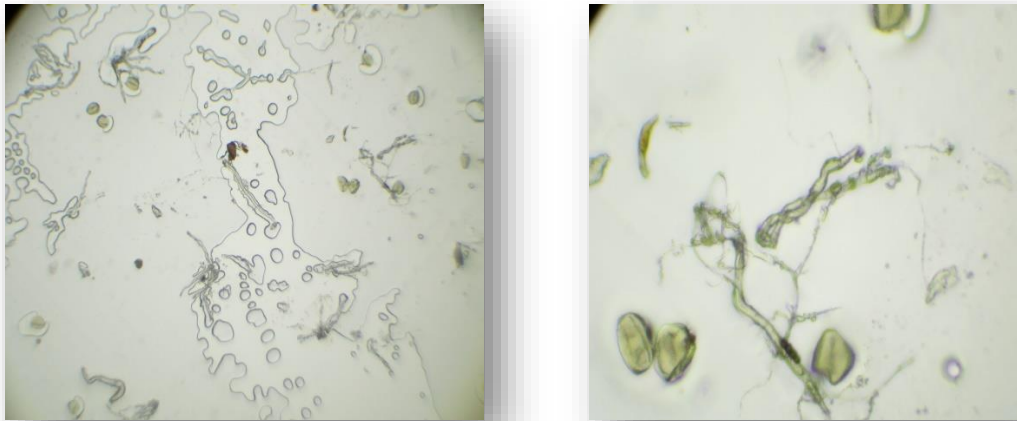


Figure 14 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de *Q.subre* Skikda sioune .10X10 et 10 X40.

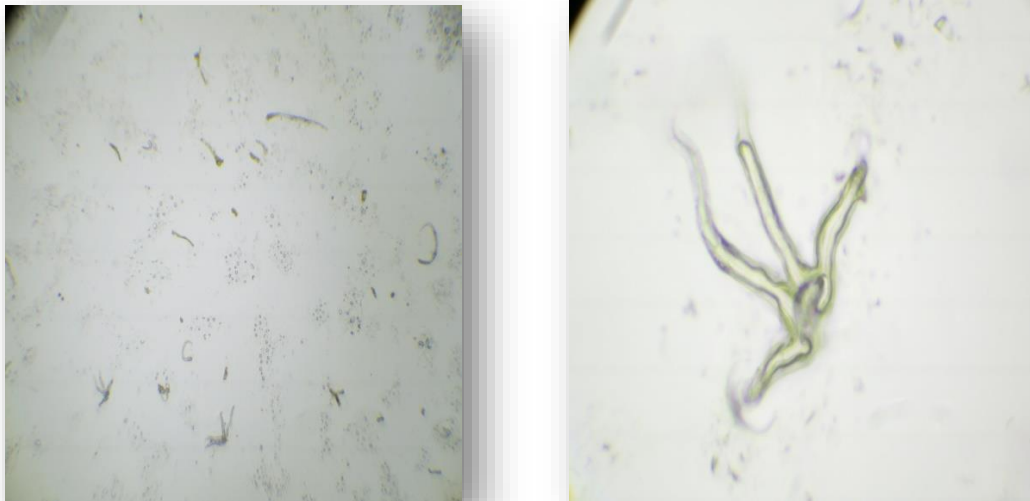


Figure 15 : observations au microscope optique d'un échantillon de trichomes de *Q.subre*
Skikda ouldja bou el balout .10X10 et 10 X40

Résultats et interprétation statistique entre tout les espèces :

Tableau 11 : types de trichomes,nombre et longueur des brins chez les cinq espèces étudié.

Étiquettes de lignes	Somme de Nombre des trichomes	Somme de Simples	Somme de Binaires	Somme de Fasciculées	Somme de Satellées	Somme de Grandeur des brins
A1	51	0	0	0	51	3
A2	38	0	0	0	38	3
A3	44	0	0	0	44	3
A4	53	0	0	0	53	4
A5	48	0	0	0	48	3
A6	8	5	1	2	0	2
A7	6	3	0	3	0	2

A8	23	14	4	5	0	2
A9	17	13	0	4	0	2
C1	6	5	1	0	0	4
C2	6	0	1	5	0	3
C3	4	1	0	3	0	4
C4	8	3	3	2	0	5
C5	6	6	0	0	0	5
C6	2	0	1	1	0	5
C7	3	1	0	2	0	5
C8	3	1	1	1	0	5
C9	4	3	1	0	0	5
Co1	1	0	0	0	1	3
Co2	2	2	0	0	0	4
Co3	1	1	0	0	0	5
Co4	1	1	0	0	0	2
Co5	0	0	0	0	0	0
Co6	1	1	0	0	0	2
Co7	0	0	0	0	0	0
Co8	1	0	0	1	0	3
Co9	0	0	0	0	0	0
I1	16	0	0	0	16	3

I'1	17	4	0	13	0	4
I2	7	4	0	3	0	4
I'2	19	7	0	10	2	4
I3	8	0	2	4	0	3
I'3	10	0	2	8	0	5
I4	15	0	0	15	0	4
I'4	4	0	1	1	2	5
I5	7	3	2	2	0	4
I'5	1	0	0	1	0	3
I6	3	0	0	3	0	3
I'6	18	5	0	13	0	4
I7	3	0	0	3	0	5
I'7	1	0	1	0	0	2
I8	5	0	0	0	5	4
I'8	1	1	0	0	0	5
I9	4	0	0	0	4	4
I'9	13	13	0	0	0	4
S1	11	6	0	5	0	3
S'1	7	0	0	6	1	5
S2	37	36	0	0	1	3
S'2	13	12	0	1	0	4

S3	17	14	0	3	0	3
S'3	14	10	4	0	0	5
S4	15	13	0	2	0	3
S'4	11	7	4	0	0	5
S5	13	8	5	0	0	2
Total général	627	203	34	122	266	187

Tableau 12 : analyse de variance de deux facteurs avec répétition d'expérience pour cinq espèces étudié.

Total						
Nombre d'échantillons	54	54	54	54	54	54
Somme	627	203	34	122	266	187
Moyenne	11,611111	3,7592593	0,6296296	2,2592593	4,925925926	3,462963
Variance	181,86478	38,94095	1,520615	12,723969	190,4095038	1,7627533

L'analyse comparative interspécifique met en lumière la richesse morphologique des trichomes chez *Q. ilex* et *Q. suber*, contrastant avec l'homogénéité observée chez *Q. afares*, *Q. canariensis* et *Q. coccifera*. Les tests statistiques confirment l'existence de différences hautement significatives entre les types de trichomes ($p > 0.05$) tableau 12, sans distinction significative entre les individus au sein de chaque espèce.

Ces résultats suggèrent que la diversité des trichomes est davantage modulée par des facteurs écologiques ou fonctionnels que par des variations génétiques intraspécifiques. La

distribution préférentielle des trichomes sur la face inférieure des feuilles pourrait refléter un mécanisme d'adaptation aux stress abiotiques :

En effet, la distribution préférentielle des trichomes sur la face supérieure des feuilles peut être interprétée comme une stratégie adaptative permettant à la plante de faire face à divers stress abiotiques tels que la sécheresse, l'intensité lumineuse, les vents ou encore la salinité.

L'analyse des résultats montre que la distribution et la densité des trichomes sont étroitement liées aux variations climatiques des régions étudiées. Dans les environnements secs ou semi-arides, tels que Chélia (Batna) et Chettaba (Constantine), où les précipitations sont faibles et les températures élevées, les trichomes se développent en plus grande densité et de manière plus élaborée. Cela suggère un rôle adaptatif visant à limiter les pertes en eau par transpiration sous un stress hydrique important.

En revanche, dans les zones humides comme Ouldja Bou el Balout, sioune, Oued Zhou (Skikda) et Chetaïbi (Annaba), caractérisées par une forte humidité relative et des précipitations abondantes, les trichomes sont moins denses et adoptent des formes plus simples. Cela traduit une moindre nécessité de développer ces structures protectrices.

Ces observations appuient l'hypothèse selon laquelle la diversité et la densité des trichomes chez les espèces de chêne étudiées ne dépendent pas uniquement de facteurs génétiques intraspécifiques, mais sont également modulées par les conditions environnementales locales, soulignant ainsi le caractère adaptatif de ces structures foliaires.

Du point de vue édaphique, la composition des sols qu'elle soit calcaire, acide, pauvre en matière organique ou mal drainée influence également le développement morphologique des feuilles. Un sol pauvre ou difficile peut pousser la plante à renforcer ses structures protectrices, comme les trichomes, pour limiter les pertes d'eau ou les agressions extérieures.

Tableau 13 : Tableau des conditions édaphiques des sites de collecte

Site de collecte	Type de sol	Richesse en Matière organique	Drainage	Humidité du sol	Caractéristiques climatiques
Chetaïbi (Annaba)	Calcaire argileux	Relativement riche	Bon drainage	Modérée à élevée	Zone côtière humide (650 mm/an)

Ouldja Bou el Balout ,siouneet oued zhour (Skikda)	Humifère, riche en matière organique	Très élevée	Excellent	Très élevée	Zone humide (700mm/an)
Chelia (Batna)	Sol pauvre, rocaillieux, calcaire	Faible	Médiocre à moyen	Faible à modérée	Zone semi-aride (346 mm/an)
Chettaba (Constantine)	Calcaire pauvre	Moyenne à faible	Moyen	Modérée	Zone semi-aride (400-500 mm/an)

Ces observations confirment que les trichomes ne sont pas de simples caractères anatomiques, mais qu'ils reflètent aussi la capacité adaptative des espèces étudiées à leur environnement. Leur étude peut donc servir d'indicateur écologique pertinent, notamment pour les espèces méditerranéennes, dont la survie dépend étroitement de leur plasticité morphologique face aux contraintes environnementales.

Comparaison détaillée avec l'étude de Safou et Saint-Martin (1989) :

L'analyse des trichomes non glandulaires observés chez les cinq espèces de *Quercus* étudiées a révélé une diversité morphologique notable, bien que les observations aient été limitées à l'utilisation du microscope optique, ce qui a restreint la précision des détails relevés. trois types principaux ont été identifiés : simples, stellés et fasciculés, ce qui concorde globalement avec les descriptions fournies par (Safou et Saint-Martin, 1989).

Selon ces auteurs, les trichomes unicellulaires sont particulièrement abondants sur les feuilles immatures, notamment au niveau de la nervure médiane abaxiale chez *Q. mirbeckii*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*, *Q. pyrenaica* et *Q. robur*. Ils signalent également leur présence sur la face adaxiale de leur rareté chez *Q. cerris* et *Q. valentina*. Dans notre étude, bien que l'observation précise des nervures ait été limitée par le grossissement, la présence de trichomes simples a pu être confirmée dans plusieurs échantillons, renforçant leur statut de structure courante.

En ce qui concerne les trichomes stellés, (Safou et Saint-Martin, 1989) les décrivent comme abondants chez *Q. petraea* et *Q. valentina*, et présents au niveau de la nervure

médiane chez *Q. coccifera*, tout en étant caducs. Ce type a également été observé dans notre étude chez *Q. coccifera* et *Q. suber*, bien que sa densité apparaisse moindre que celle décrite par ces auteurs, possiblement en raison de différences phénologiques ou écologiques.

Pour les trichomes fasciculés, les auteurs précisent qu'ils apparaissent avec cinq bras chez *Q. ilex*, avec deux formes distinctes chez *Q. cerris* à base épidermique bien marquée, et similaires aux trichomes des feuilles adultes chez *Q. mirbeckii*, *Q. pubescens* et *Q. pyrenaica*. Nos observations ont permis de confirmer une partie de cette variabilité, même si la base des trichomes n'a pas pu être décrite avec précision en raison des limites techniques de l'équipement optique. Par ailleurs, comme mentionné par (Safou et Saint-Martin, 1989), le type multiétoilé n'a été observé ni dans leur étude ni dans la nôtre.

Globalement, cette comparaison met en évidence une convergence importante entre nos observations et les données de la littérature, avec quelques divergences mineures pouvant être attribuées à la variabilité intraspécifique, aux différences environnementales ou aux contraintes méthodologiques. L'emploi de la microscopie électronique à balayage (MEB) pourrait, à l'avenir, permettre une caractérisation plus fine de ces structures.

En outre, bien que les analyses qualitatives soient les plus fréquemment utilisées, elles sont souvent complétées par des données quantitatives telles que la densité ou la longueur des trichomes. Ces dernières ont, par exemple, permis de distinguer *Q. faginea ssp. faginea* de *Q. broteroi*, ce dernier ayant été élevé au rang d'espèce distincte en raison de la structure particulière de ses trichomes stellés. Toutefois, certaines caractéristiques, telles que l'effondrement des trichomes lors du séchage, semblent moins discriminantes car elles peuvent être observées chez divers taxons, notamment sur la face adaxiale des feuilles. Malgré la multiplication des études consacrées aux trichomes chez genre *Quercus*, les résultats concernant les types présents au sein d'une même espèce restent variables. De plus, peu de recherches ont clairement distingué entre les deux faces de la feuille (adaxiale et abaxiale), bien que cette distinction soit reconnue comme essentielle pour la délimitation spécifique (Hardin, 1979). À cet égard, l'étude classique de Camus (1938–1939) reste l'une des plus précises, ses observations rejoignant largement les résultats des recherches les plus récentes (Denk, 2012).

Conclusion

Conclusion

Notre La comparaison des trichomes foliaires chez les cinq espèces de *Quercus* étudiées a révélé une variation marquée dans la diversité structurale. *Q. ilex* et *Q. suber* se sont distinguées par une richesse et une complexité des types de trichomes, contrairement à *Q. afares*, *Q. canariensis* et *Q. coccifera*, qui ont montré une structure plus homogène. Cette comparaison a également mis en évidence une relative stabilité au sein des espèces, contre une variabilité notable entre elles, renforçant ainsi l'intérêt des trichomes en tant que critères discriminants préliminaires. Ces différences semblent refléter non seulement une variabilité spécifique, mais aussi des réponses adaptatives aux contraintes écologiques propres à chaque espèce et à son environnement local.

Les analyses statistiques ont mis en évidence des différences significatives entre les types de trichomes, tandis qu'aucune variation significative n'a été observée entre les individus d'une même espèce, notamment chez le chêne vert (*Q. ilex*) et le chêne-liège (*Q. suber*), ce qui confirme la constance et la fiabilité de ces structures à des fins taxonomiques. Par ailleurs, des facteurs abiotiques tels que l'altitude, l'humidité, l'exposition solaire et la disponibilité en eau du sol semblent influencer la densité et la répartition des trichomes, soulignant leur rôle adaptatif face aux contraintes environnementales.

D'un point de vue écologique, les trichomes foliaires jouent un rôle multifonctionnel dans la protection des feuilles contre les stress abiotiques (sécheresse, rayonnement UV, fluctuations thermiques) et biotiques (herbivorie, agents pathogènes). Leur densité accrue chez certaines espèces des milieux plus arides ou en altitude élevée pourrait être interprétée comme une stratégie d'adaptation visant à limiter la transpiration et protéger les tissus photosynthétiques. Ainsi, l'étude des trichomes fournit également des indications précieuses sur les stratégies adaptatives des chênes méditerranéens face aux conditions climatiques changeantes.

Sur la base de ces résultats, il semble pertinent d'élargir les recherches à d'autres taxons du genre *Quercus*, notamment dans différentes régions bioclimatiques d'Algérie. Il est recommandé d'intégrer des analyses moléculaires, d'utiliser des techniques microscopiques avancées (comme la microscopie électronique à balayage), ainsi que de comparer les deux faces foliaires à différents stades de développement, comme pistes méthodologiques prometteuses. L'intégration de ces caractères dans les clés d'identification régionales et l'adoption d'approches pluridisciplinaires contribueraient à améliorer la classification et à approfondir la compréhension des mécanismes d'adaptation de ces espèces.

En définitive, les trichomes foliaires s'avèrent être non seulement des marqueurs taxonomiques robustes, mais aussi de précieux indicateurs morpho-écologiques dans l'étude évolutive des chênes méditerranéens.

Références bibliographiques

Références

A

- **Aissi, A (2019).** Le chêne zéen à petitesfeuilles (*Quercus faginea* Lam.) dans L'Aurès : cartographie, écologie et taxinomie: Gestion des écosystèmes forestiers. Batna : Université Batna 1 Hadj Lakhdar, (16-25p).
- **Aafi, A. (2007).** Etude de la diversité floristique du chêne liège. Récupéré sur <https://www.te labotanica.org>.
- **A.N.P.E, (1994).** Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement, Monographie de la wilaya de Skikda. M.A.T.E., 220 p

B

- **Bouderoua K, (1995).** Caractéristiques biochimiques et aptitudes nutritionnelles desfarines de glands de chêne vert et du chêne liège en alimentation du poulet de chair. Mémoire de magister en sciences agronomiques, Institut National Agronomique (INA) El Harrach. Alger, 107p.
- **Bonfils, P, D, H, &M, U. (2005).** Promotion du chêne. Stratégie de conservation D'un patrimoine naturel et culturel en Suisse. (d. f. Office fédéral de l'environnement, Éd.) pro *Quercus*.
- **Boudy, P. (1955).** Économie forestière nord-africaine: Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie (Vol. 4). Larose.
- **Belarouci. (1991).**
- **Boudy, P. (1952).** Guide du forestier en Afrique du Nord Paris. Maison rustique, 509p.
- **Benyelles, M., & Bezzou, N. (1993).** Contribution à l'étude écologique de *Quercus coccifera* en Algérie. *Revue d'Écologie (La Terre et la Vie)*, 48(1), 19–33.
- **Benyelles, N., & Bezzou, N. (1993).** Étude morphologique et anatomique de quelques chênes de l'Est algérien. *Revue des Sciences et Technologies, Université de Constantine*.
- **Bouandas, A., Meddour, R., & Leflaive, J. (2024).** Morphological and Taxonomic Analysis of the *Quercus faginea* and *Quercus canariensis* Complexes in Algeria. [Article de recherche – soumis à évaluation].
- **Belkaid D, BouchenakKhelladi L. (1993).** Contribution à l'étude de la composition chimique des glands de chêne : vert (*Quercus ilex*), liège (*Quercus suber*) et Kermès (*Quercus coccifera*) de la région de Tlemcen. Mémoire d'ingénieur en Biologie. Université de Tlemcen, 106p.

- **Benharkat, S., & Rouag-Saffidine, D. (2016).** Approche adaptative du confort thermique dans les espaces d'enseignement universitaires à Constantine Approche adaptative du confort thermique dans les espaces d'enseignement universitaire à Constantine (Algérie). Pages, 19, 28.
- **Bretz, F., Hothorn, T., & Westfall, P. (2004).** Inférences simultanées dans des modèles paramétriques généraux. *Biometrical Journal*, 50(3), 346–363.

C

- **C.N.R.S. (1975).**

D

- **Denk, T. (2012).** Types de trichomes, indumentum foliaire et cire épicuticulaire chez les chênes galligènes méditerranéens, sous-section *Quercus*...(Détails incomplets, à compléter si besoin.).

E

- **Enjalbal, C., Mézy, P., & Dumas, C. (1994).** Étude de la floraison et de la pollinisation chez le chêne vert. *Annales de Biologie*, INRA.
- **Edlin, H., & Nimmo, M. (1981).** Les arbres. Préface de Jean Carlier. Encyclopédie visuelle. Bordas, Paris.

F

- **Fettouche, A. (1988).** Atlas des arbres. Institut national de recherche forestière.
- **Fahn, A. (1986).** Propriétés structurales et fonctionnelles des trichomes des feuilles xéromorphes. *Annals of Botany*, 57(5), 631–637. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087146>.
- **Fernández, A., García, S., Herrera, F., & others. (2014).** Title of the article. *Title of the Journal*, Volume(Issue), page range. <https://doi.org/xxx>.

H

- **Hardin, J. W. (1979).** Modèles de variation des trichomes foliaires chez les *Quercus* de l'Est de l'Amérique du Nord. *American Journal of Botany*, 66(5), 576–585.
- <https://www.calanques-parcnational.fr/fr/chene-vert>.
- <https://www.lapreille.com/index.php/plantes/quercus-afares-pomel>.
- https://www.arbolapp.es/imagenes/especies/especie_075_01.jpg.
- <http://www.lejardindesophie.net/liste%20des%20plantes/dq/quercuscanar.htm>.

I

- **IONESCO, & SAUVAGE. (1962).** Biodiversité et dynamique de la végétation dans un écosystème forestier.
- **INPN. (n.d.).** Fiche espèce : *Quercus ilex*. Muséum national d'Histoire naturelle. https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/49829.

J

- **Julve, P. (2021, 04 27).** Baseflor.Index botanique,écologique et chrologique de la flore de France . p. France . (Julve, 2021). Disponible sur : <http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm>.

K

- **Kim, K. W., Cho, D. H., & Kim, P. G. (2011).** Morphologie des trichomes foliaires du chêne-liège chinois (*Quercus variabilis*) par microscopie électronique et profilage de surface en trois dimensions.*Microscopy and Microanalysis*, 17(3), 461–468. <https://doi.org/10.1017/S1431927611000407>.
- **Kremer, Petit, R. J., et Ducouso, A.(2002).** Biologie évolutive et diversité génétique deschenes sessile et pédonculé. Biologie.

L

- **Loisel, R., 1967.** Contribution à l'étude biologique des Pins de Basse-Provence. (Loisel, 1967). Loisel, R. (1967). Contribution à l'étude biologique des Pins de Basse-Provence. [Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille].
- **Le Jolis, A. (1874).** De la Rédaction des Flores Locales au point de vue de la Géographie Botannique: Réflexions soumises à la Société Linnéenne de Normandie, dans sa séance publique tenue à Cherbourle 21. Juin 1874. Par Auguste Le Jolis. Bedelfontaine et Seyffert.
- **Laoué, J. (2024).** Physico-chemical leaf defenses of *Quercus pubescens* in response to amplified drought: A long-term study in the Mediterranean region (Doctoral dissertation, Aix marseille université).
- **Levin, D. A. (1973).** Le rôle des trichomes dans la défense des plantes. *The Quarterly Review of Biology*, 48(1), 3–15.
- **Llamas, F., Perez-Morales, C., Acedo, C., & Penas, A. (1995).** Trichomes foliaires des espèces sempervirentes et semi-caduques du genre *Quercus* (Fagaceae) dans la péninsule Ibérique.*Botanical Journal of the Linnean Society*, 117(1), 47–57.

M

- **Mahmoud, C (2011).** Contribution à l'étude de la composition chimique et étude de propriétés phytochimique et nutritionnelles des lipides des fruits de pistacia lentiscus et du Quercus : chimie organique appliquée. Ouargla : Université Kasdi Merbah.
- **Messaoudène, M. (1992).** Relation climat- croissance radiale de Quercus canariensis Willd. et de Quercus afarès Pomel. dans les massifs forestiers de l'Akfadou et de Beni Ghobr- Algérie. Ann.Forest. Algérie.
- **Messaoudène, M. (1996).** Chêne zéen et chêne afares. La forêt algérienne. Alger, Algérie.
- **Maire, R. (1926).** Caractérisation morphologique du chêne vert. Berger-Levrault.
- **MNHN & OFB [Ed].** 2003-2025. Inventaire national du patrimoine naturel (INPN), Site web : <https://inpn.mnhn.fr> Le 4 juin 2025.
- **Messaoudene, M. (1996).** Le genre Quercus L. en Algérie : systématique et répartition géographique. Thèse de Doctorat, Université de Constantine.
- **Marañón, T., Pugnaire, F. I., & Callaway, R. M. (2009).** Savanes de chênes à climat méditerranéen : interaction entre l'environnement abiotique et les interactions entre espèces. *Web Ecology*, 9(1), 30–43.
- **MEDJMAJ, A. (2014).** Biologie des chênes Algériens. CONSTANTINE, Ecologie et Environnement, Algérien.

N

- **Nixon, K. C. (1993).** Infrageneric classification of Quercus (Fagaceae) and typification of sectional names. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 80(1), 208–218.
- **Nguyen, D., Pham, T. V., Kim, E., Chen, Y. H., Wang, Y., & Kromrey, J. D. (2019).** Comparaison empirique des tests ANOVA à un facteur sous hétérogénéité et non-normalité : une étude de Monte Carlo. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 18(2).
<https://doi.org/10.22237/jmasm/1604190000>.

O

- **Ouyahia, M. (1982).** Etude de la multiplication et des rythmes de croissance de Quercus ilex L (Vol. 3-9). I.N.A. Alger : Thèse d'ingénieur en agronomie.
- **O.N.M., (2012) :** Office National de la Météorologie. Unité du Port de Skikda.
- **Ourlis, A. (2001).** Étude comparative des chênes en Algérie. Publication interne, INRF.

P

- **Pomel, A. (1875).** Classification de quercus afares . (Pomel, 1875) (P. Panahi, M.R.

R

- **Roda J.M., 2009.** On the nature of intergenerational and social networks in the african forest sector: the case of Chinese, Lebanese, Indian and Italian business networks in Governing Africas forests in a globalized world. Laura A.

S

- **Somon, A. (1988).** Les chênes méditerranéens et leur adaptation aux milieux arides. Revue Forestière Française, 40(4), 301–312.
- **Safou, O., & Saint-Martin, M. (1989).** The foliar trichome of some Mediterranean *Quercus* species.
- **Soheili, F., Woodward, S., Abdul-Hamid, H., & Naji, H. R. (2023).** The effect of dust deposition on the morphology and physiology of tree foliage. Water, Air, & Soil Pollution, 234(6), 339.
- **Safou, O., & Saint-Martin, M. (1989).** The foliar trichome of some Mediterranean *Quercus* species.

T

- **Tebbani, H., & Bouchahm, Y. (2016).** Caractérisation du confort thermique dans les espaces extérieurs : Cas de la ville d'Annaba. 15, 14–25. https://www.univ-chlef.dz/Revuenatec/issue-15/Article_C/C_Article391.pdf.
- **TAFER, M., SLIMANI, S., KHERCHOUCHE, D., BEKDOUCHE, F., & MESSAOUDENE, M. (2022).** Événements climatiques extrêmes et croissance radiale de *Cedrus atlantica* (Manetti) dans les massifs du Belezma et du Chélia (Algérie). Bois & Forêts Des Tropiques, 350, 43–56.
- **Tair, I (2016).** Adaptation du chêne kermès à la contrainte thermique par les marqueurs biochimique : Ecologie et environnement. Constantine : Université des Frères Mentouri, (3p).

V

- **Valladares, F., Sánchez-Gomez, D., & Atkin, O. K. (2008).** Ecological limits to plant phenotypic plasticity. New Phytologist, 176(4), 749–770. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02336.x>.

W

- **Wang, X., Shen, C., Meng, P., Tan, G., & Lv, L. (2021).** Analyse et revue des trichomes chez les plantes.*BMC Plant Biology*, 21, 1–11..