

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Département d'Ecologie et Environnement



Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Ecologie Végétale

Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Thème

Etude morphologique et fonctionnelle de *Ziziphus lotus* (L.) Desf. De la région de Boumerdès

Par :

SADEG Katia

Soutenu publiquement le : 25/09/2025

Devant le jury :

Présidente : Mme METNA F. MCA, UMMTO

Promotrice : Mme BERRACHED R. MCA, UMMTO

Examinatrice : Mme HEDJAM H. MCB, UMMTO

Année universitaire : 2024-2025

Remerciements

Je tiens à remercier Madame **BERRACHED R.**, pour son encadrement, sa disponibilité et la rigueur qu'elle a apportée tout au long de ce travail.

Je remercie Madame **METNA F.**, qui m'a fait l'honneur de présider le jury, pour sa disponibilité ainsi que pour l'intérêt qu'elle a porté à l'évaluation de ce travail.

Je remercie également Madame **Hedjam H.**, qui m'a fait l'honneur d'examiner et d'évaluer ce mémoire, et de faire partie du jury.

Je remercie la Conservation des Forêts de Boumerdès, ainsi que son responsable, pour leur soutien et leur précieuse collaboration dans le cadre de ce travail.

J'exprime aussi ma profonde reconnaissance à Monsieur **Goumri** et à Madame **Diaf** pour leur aide précieuse et les informations essentielles qu'ils m'ont transmises, qui ont largement contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace

À mes parents et à mes deux petits frères

Merci pour votre soutien, votre présence et votre accompagnement tout au long de ce parcours. Votre appui m'a permis d'avancer avec sérénité.

À ma grande sœur, Dalia

Merci pour ta confiance, tes précieux conseils et ton soutien constant. Même à distance, tu as toujours su m'encourager et me donner la force d'avancer dans les moments les plus difficile

Liste des figures

Figure 1. Allure générale de <i>Z. lotus</i> dans la région de Boumerdès (Original, 2024).....	6
Figure 2. Vue d'ensemble de <i>Z. lotus</i> dans le paysage côtier de Boumerdès (Original, 2024).....	6
Figure 3. Morphologie des rameaux (A) et des épines (B) de <i>Z. lotus</i> (Originale, 2024).....	7
Figure 4. Morphologie générale des feuilles de <i>Z. lotus</i> (A) et disposition des nervures (B) (Original, 2024).....	8
Figure 5. Fleurs et bourgeons floraux de <i>Z. lotus</i> (A) et fruits à différents stades de maturité (B) (Original, 2024).....	9
Figure 6. Distribution de <i>Z. lotus</i> en Algérie (Quezel et Santa, 1962).....	9
Figure 7. Exemple de correspondance entre fonctions écologiques et marqueurs fonctionnels chez les plantes. Schéma adapté de Garnier et Navas (2012).....	15
Figure 8. Découpage administratif de Boumerdès (CNERU, 2012).....	22
Figure 9. Grands ensembles morphologiques de Boumerdès (CNERU, 2012).....	24
Figure 10. Précipitations mensuelles des stations d'étude (1991–2021).....	25
Figure 11. Évolution mensuelle des températures minimales, moyennes et maximales (°C) des stations d'étude (1991–2021).....	26
Figure 12. Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussien.....	27
Figure 13. Situation des stations d'étude sur le climagramme d'Emberger (1955)	28
Figure 14. Répartition spatiale du patrimoine forestier (CNERU, 2012).....	29
Figure 15. Situation géographique des quatre sites d'étude sur la carte d'occupation du sol et des ressources de Boumerdès.....	30
Figure 16. Échantillonnage de <i>Z. lotus</i> sur le terrain.....	31
Figure 17. Mesure de l'épaisseur, de la longueur et de la largeur des feuilles à l'aide d'un pied à coulisse électronique (précision au millimètre).....	32
Figure 18. (A) : Scanner des feuilles, (B) : feuilles scannées sur papier millimétré.....	33
Figure 19. Mesure de la surface foliaire à l'aide du logiciel Mesurim Pro.....	33
Figure 20. Mesure du poids des feuilles à l'aide d'une balance scientifique.....	34
Figure 21. Variation de la hauteur maximale (H_{\max}) de <i>Z. lotus</i> dans les quatre stations étudiées.	41

Figure 22. Variation de la largeur de la canopée de <i>Z. lotus</i> dans les quatre stations étudiées.	41
Figure 23. Variation de l'épaisseur foliaire de <i>Z. lotus</i> dans les quatre stations étudiées.	42
Figure 24. Variation de la Longueur des feuilles de <i>Z. lotus</i> dans les quatre stations étudiées.	43
Figure 25. Variation de la Largeur des feuilles de <i>Z. lotus</i> dans les quatre stations étudiées.	44
Figure 26. Variation de la surface foliaire de <i>Z.lotus</i> dans les différentes stations d'étude.	45
Figure 27. Variation de l'indice SLA (Specific Leaf Area) de <i>Z.lotus</i> entre les stations étudiées.	46
Figure 28. Variation des valeurs du LDMC (Leaf Dry Matter Content) des feuilles de <i>Z. lotus</i> entre les stations étudiée.	47
Figure 29. Matrice de corrélation entre les paramètres étudiés.	48
Figure 30. Relation entre la largeur et la surface foliaire de <i>Z.lotus</i> au niveau de chaque station.	49
Figure 31. Relation entre la longueur et la surface foliaire de <i>Z.lotus</i> au niveau de chaque station.	50
Figure 32. Relation entre la largeur et la longueur des feuilles de <i>Z.lotus</i> au niveau de chaque station.	51
Figure 33. Relation entre le diamètre de la canopée et la longueur des feuilles De <i>Z.lotus</i> au niveau de chaque station.	52
Figure 34. Relation entre Le diamètre de la canopée et la surface foliaire de <i>Z.lotus</i> au niveau de chaque station.	53
Figure 35. Relation entre la largeur des feuilles et le diamètre de la canopée de <i>Z.lotus</i> au niveau de chaque station.	54
Figure 36. Relation entre la surface foliaire et l'épaisseur des feuilles de <i>Z.lotus</i> au niveau de chaque station.	55
Figure 37. Relation entre la SLA et LDMC de <i>Z.lotus</i> au niveau de chaque station.	56

Liste des tableaux

Tableau 1. Coordonnées géographiques et altitude des quatre stations d'études.....	30
Tableau 2. Statistiques descriptives (moyenne \pm écart-type) des traits morphologiques et fonctionnels de <i>Z. lotus</i> selon les stations d'étude	37
Tableau 3. Résultats du test ANOVA appliqué aux traits morphologiques et fonctionnels de <i>Z. lotus</i> entre les différentes stations.....	39
Tableau 4. Comparaisons non significatives entre stations	40

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur <i>Ziziphus lotus</i> et les traits fonctionnels.	
I- Présentation de <i>Ziziphus lotus</i>.....	5
1 - Origine.....	5
2 - Nomenclature	5
3 - Systématique	5
4 - Caractéristiques morphologiques de la plante.....	6
4-1- Le système racinaire.....	7
4-2 - Les rameaux	7
4-3 - Les feuilles	7
4-4 - Les fleurs.....	8
4-5 - Les fruits	8
5 - Répartition géographique	8
5-1- Dans le monde.....	8
5-2- En Algérie	9
6- Ecologie de la plante	10
6-1- Préférences climatiques.....	10
6-2- Préférences édaphiques	10
6-3- Phénologie et production fruitière.....	10
7- Interactions de <i>Ziziphus lotus</i> avec son environnement biotique	11
7-1- Interactions avec les champignons.....	11
7-2- Interactions avec les pollinisateurs.....	11
7-3- Interactions avec les disperseurs de graines.....	11
7-4- Interactions avec le pistachier de l'Atlas	11
7-5- Interactions avec la cuscute.....	11
8- Utilisation thérapeutique, médicinale et alimentaire	12
8-1- Propriétés gastro-intestinales et hépatiques	12
8-2- Propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antivirales.....	12

8-3- Utilisation pour les affections cutanées et oculaires	12
8-4- Effets sur le système nerveux et respiratoire.....	13
8-5- Utilisation alimentaire.....	13
9- Espèces du genre <i>Ziziphus</i>	13
9-1- <i>Ziziphus vulgaris</i>	13
9-2- <i>Ziziphus mauritiana</i>	13
9-3- <i>Ziziphus abyssinica</i>	13
9-4- <i>Ziziphus joazeiro</i>	14
9-5- <i>Ziziphus spina-christi</i>	14
9-6- <i>Ziziphus saharae</i>	14
II- Présentation des traits fonctionnels	14
1- Rôle des traits fonctionnels dans l'adaptation des plantes aux changements environnementaux.....	14
2- Diversité interspécifique et intraspécifique des traits fonctionnels	15
3- Traits fonctionnels à l'échelle de la plante entière	16
3-1- La Hauteur	16
3-1-1 -Le rôle de la Hauteur	16
3-2- Diamètre de la canopée	16
3-2-1- Variabilité écologique du diamètre de la canopée	16
4- Traits morpho-fonctionnels des feuilles	17
4-1- Epaisseur des feuilles	17
4-1-2- Rôle de l'épaisseur des feuilles	17
4-1-3- Variation écologique de l'épaisseur des feuilles	17
4-2- Longueur et largeur foliaire	18
4-2-1 Rôle et variation écologique de la Longueur et largeur des feuilles.....	18
4-3- Surface foliaire.....	18
4-3-1 Rôle et variation écologique de la surface foliaire.....	18
5- Indices écophysiologicals SLA et LDMC	19
5-1- Superficie foliaire spécifique (Specific Leaf Area, SLA)	19
5-2- Teneur en matière sèche foliaire (Leaf Dry Matter Content, LDMC).....	19
5-3- Corrélation fonctionnelle entre le SLA et le LDMC.....	20

6- Voies photosynthétiques (C3, C4, CAM).....	20
---	----

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

1-Présentation de la zone d'étude	22
1-1 -Situation géographique.....	22
1-1-2- Situation administrative	22
1-1-3- Pédologie	23
1-1-4- Géologie.....	23
1-1-5- Géomorphologie	23
1-1-6- Hydrographie et hydrogéologie	24
1-1-7- Climat et bioclimat	24
1-7-1 Les précipitations	25
1-7-2 Les températures	26
1-7-3 Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953).....	26
1-7-4 Le climagramme d'Emberger	27
1-1-8- Végétation.....	29
2- Méthodologie.....	29
2-1- Choix des sites échantillonnés	29
2-2- Echantillonnage.....	30
2-3- Mesure des traits fonctionnels.....	31
2-3-1 Mesures au niveau de l'arbre (hauteur et largeur de la canopée).....	31
2-3-2 -Mesures de l'épaisseur, de la longueur et de la largeur du limbe.....	32
2-3-3- Mesure de la Surface foliaire	32
2-3-4 -Indices SLA (Specific Leaf Area) ET LDMC (Leaf Dry Matter Content).....	31
2-4 -Analyses statistiques	34
2-4-1- Analyses de variance (ANOVA)	34
2-4-2 -Analyses de corrélations.....	35

Chapitre 3 : Résultats et discussions

1- Résultats des statistiques descriptives des traits fonctionnels par station.....	37
1-1 -La Hauteur (H_{max})	37
1-2- Diamètre de la canopée.....	37
1-3- l'épaisseur foliaire.....	38
1-4- Longueur des feuilles.....	38
1-5- Largeur des feuilles.....	38
1-6 -La surface foliaire.....	38
1-7- La surface foliaire spécifique (SLA).....	38
1-8 -La teneur en matière sèche (LDMC)	39
2- Résultats de l'ANOVA des traits fonctionnels selon les stations.....	39
2-1- La hauteur (H_{max})	40
2-2 -Diamètre de la canopée	41
2-3 -l'épaisseur foliaire.....	42
2- 4- Longueur des feuilles	43
2-5- Largeur foliaire	43
2-6- La surface foliaire	44
2-7- La surface foliaire spécifique (SLA).....	45
2- 8 -Teneur en matière sèche (LDMC)	46
3- Résultats des corrélations entre les paramètres morfo-fonctionnels étudiés	47
3-1- Les Corrélations positives entre les traits morfo-fonctionnels étudiés	49
3-1-1- Corrélation entre la largeur et la surface foliaire	49
3-1-2 -Corrélation entre la longueur et la surface foliaire	50
3-1-3 -Corrélation entre la largeur et la longueur des feuilles.....	50
3-1-4- Corrélation entre le diamètre de la canopée et la longueur des feuilles	51
3-1-5- Corrélation entre la surface foliaire et le diamètre de la canopée.....	52
3-1-6 -Corrélation positive entre la largeur des feuilles et le diamètre de la canopée.....	53
3-2 -Les Corrélations négatives entre les traits morfo-fonctionnels étudiés.....	54

3-2-1- Corrélation entre la surface foliaire et l'épaisseur des feuilles	54
3-2-2 -corrélation entre le SLA et LDMC	55
3-3 -Les Corrélations faibles entre les variables morpho-fonctionnelles	56
Conclusion	58
Références bibliographique.....	60
Annexes.....	70

Introduction

Les plantes ont développé, au cours de leur évolution, une diversité remarquable de stratégies adaptatives pour faire face aux pressions environnementales. Ces caractéristiques permettent d'évaluer leur capacité d'adaptation et de prédire leur réponse face aux évolutions environnementales à venir (Violle et *al.*, 2007). La compréhension de ces mécanismes d'adaptation est essentielle, notamment dans le contexte actuel marqué par des transformations majeures des écosystèmes, provoquées par les changements climatiques, les modifications de la composition de l'atmosphère et l'altération des sols. Ces perturbations ont des répercussions profondes sur le fonctionnement global des milieux naturels, ce qui souligne l'importance d'étudier les traits fonctionnels des plantes. Ces traits traduisent les stratégies écologiques mises en place par les espèces, permettent d'analyser leur réponse face aux contraintes du milieu, et apportent des éléments de compréhension sur leur rôle dans le maintien de l'équilibre et du fonctionnement des écosystèmes (Kattge et *al.*, 2011).

Les traits fonctionnels sont définis comme tout caractère morphologique, physiologique ou phénologique mesurable à l'échelle d'un individu et qui influence directement sa survie, sa croissance, sa reproduction et ses interactions avec l'environnement (Lavorel et Garnier, 2002 ; McGill et *al.*, 2006). Ces traits constituent des indicateurs essentiels pour comprendre comment les plantes réagissent aux contraintes écologiques et adaptent leurs fonctions vitales, comme la photosynthèse, l'utilisation des ressources ou la tolérance au stress. La variabilité intraspécifique de ces traits, observée à la fois entre et au sein des individus d'une même espèce, est façonnée par la diversité génétique et la plasticité phénotypique, c'est-à-dire la capacité des individus à ajuster leur morphologie et leur physiologie en réponse aux conditions environnementales (Albert et *al.*, 2010). Comprendre les variations de ces traits, depuis le niveau cellulaire jusqu'à celui de la plante entière, reste une question centrale en écologie fonctionnelle, car cela permet de mieux appréhender les mécanismes d'adaptation mis en place par les espèces végétales (Lavorel et Garnier, 2002 ; Shipley et *al.*, 2016). La variabilité des traits fonctionnels, qu'elle soit observée au sein d'une même espèce ou entre différentes espèces, est étroitement liée à de nombreux processus écologiques essentiels tels que la productivité primaire, le cycle des nutriments ou la dynamique des populations. Cette prise de conscience a conduit à la nécessité de développer des méthodes standardisées et rigoureuses pour mesurer de manière précise les traits considérés comme écologiquement pertinents, afin de permettre la comparaison et l'intégration des résultats à différentes échelles d'étude (Cornelissen et *al.*, 2003).

Parmi ces traits, les feuilles occupent une place primordiale, car elles sont les organes qui réagissent le plus rapidement aux facteurs environnementaux (Hao et *al.*, 2017). Elles jouent un rôle essentiel dans la photosynthèse, les échanges gazeux et la régulation thermique des plantes. La morphologie des feuilles, notamment leur forme, leur taille et leur épaisseur, est un indicateur clé des stratégies adaptatives des espèces végétales face aux contraintes écologiques locales.

L'Algérie, de par sa situation géographique, la complexité de ses reliefs et son hétérogénéité climatique et édaphique, est considérée comme extrêmement riche en patrimoine floristique (Véla et Benhouhou, 2007). Parmi les nombreuses espèces qui composent ce patrimoine, on

Trouve *Ziziphus lotus* (L.) Desf., communément appelé jujubier sauvage, une espèce particulièrement importante à étudier en raison de son rôle écologique et socio-économique. Cet arbuste vivace à feuilles caduques appartient à la famille des Rhamnaceae. Il joue un rôle très important dans la conservation des sols grâce à son système racinaire profond et vigoureux, qui permet une stabilisation des substrats et protège ceux-ci contre l'érosion (Laamouri et al., 2008). *Z. lotus* s'adapte à une large gamme d'environnements, et sa large distribution géographique et climatique est révélatrice du fait qu'il existe une diversité génétique considérable à identifier (Singh et al., 2007). En plus de son rôle écologique, cette plante est également reconnue pour sa valeur nutritionnelle et son importance socio-économique. Elle est utilisée dans diverses applications traditionnelles et ses parties comestibles sont appréciées pour leurs propriétés nutritionnelles, ce qui en fait une ressource précieuse dans de nombreuses régions (Tardío et al., 2016).

Ainsi, ce travail vise à étudier les traits morpho-fonctionnels de *Z. lotus* dans la région de Boumerdès, en Algérie. L'objectif principal est de comprendre comment ces traits varient en fonction des contraintes écologiques locales, et d'identifier les stratégies adaptatives développées par l'espèce pour survivre et se maintenir dans ces conditions. Pour cela, plusieurs paramètres morphologiques et écophysologiques ont été analysés, notamment la longueur, la largeur, l'épaisseur, la surface foliaire, le diamètre de la canopée, la hauteur, ainsi que deux indices fonctionnels : le SLA (Specific Leaf Area) et le LDMC (Leaf Dry Matter Content).

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre des travaux de recherche menés par le Laboratoire des Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou et s'articule en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré aux généralités. La première partie présente *Z. lotus*, en détaillant ses caractéristiques botaniques, écologiques et ses usages traditionnels. La deuxième partie aborde les concepts clés liés aux traits fonctionnels des plantes, en mettant l'accent sur leur rôle dans les stratégies d'adaptation des espèces face aux variations de l'environnement. Le deuxième chapitre expose la méthodologie mise en œuvre, incluant la description de la zone d'étude, le choix des sites, les méthodes de collecte des données et les techniques de mesure des paramètres étudiés. Enfin, le troisième chapitre présente les résultats obtenus et leur interprétation, en mettant en relation les observations faites avec les hypothèses initiales. Le mémoire s'achève par une conclusion et des perspectives.

Chapitre 1

Généralités sur *Ziziphus lotus* et les traits fonctionnels

I- Présentation de *Ziziphus lotus*

Le jujubier sauvage (*Ziziphus lotus*) est un arbuste vivace à feuilles caduques typique du paysage méditerranéen. On le rencontre notamment en Palestine, au Maroc, en Algérie, en Tunisie et en Libye (Oukhrib *et al.*, 2017). Communément appelé « jujubier sauvage », il appartient au genre *Ziziphus*, qui fait partie des 55 genres et plus de 900 espèces de la famille des Rhamnaceae (Mabberley, 1987). Le *Z. lotus* se distingue par sa remarquable capacité à s'adapter à divers environnements, notamment les plus arides, grâce à des adaptations physiologiques et morphologiques spécifiques qui lui permettent de gérer efficacement ses ressources en eau (Dahlia-Mahieddine, 2019).

1- Origine

Il y a environ 2000 ans avant J-C, le jujubier, qui trouve son origine dans le nord de la Chine, a été introduit dans les pays méditerranéens par le biais de l'Asie occidentale, probablement aux alentours de -2500 à -3000 ans avant notre ère. Ce n'est qu'à l'époque de l'empereur romain Auguste que cet arbre a été transporté de Syrie à Rome, ce qui a permis d'étendre sa distribution jusqu'à la Méditerranée (Gipsy, 2023).

2- La nomenclature

Selon Ghedira (2013), le *Ziziphus lotus* est désigné par plusieurs appellations dans différentes langues :

- Français : Jujubier sauvage, Jujubier de Berbérie, Lotus des anciens, Jujubier des Lotophages ;
- Anglais : African jujube, Lote fruit, Lotus tree, Lotus jujube, Wild jujube ;
- Allemand : Wilde Jujube ;
- Portugais : Acufeifa-menor ;
- Espagnol : Azufaifo africano, Azufaifo ibérico, Arto, Arto blanco, Espina de Cristo;
- Arabe : سدر (sidr), زيزوف (zizouf), سدرة (sedra), بري سدر (sidr barri) ;
- Berbère (Maroc) : Amezmem ;
- Berbère (Algérie) : Azzougar.

3- La systématique

Selon le système APG IV de 2016 (Angiosperm Phylogeny Group), le jujubier sauvage est classé de la manière suivante :

- Règne : Plantae
- Embranchement : Magnoliophyta
- Sous-embranchement : Magnoliophytina
- Classe : Magnoliopsida
- Sous-classe : Rosidae
- Ordre : Rhamnales
- Famille : Rhamnaceae
- Genre : *Ziziphus*
- Espèce : *Ziziphus lotus* (L.) Desf.

4- Caractéristiques morphologiques de la plante

Le jujubier est une nanophanérophyte, bien qu'il soit parfois considéré comme phanérophyte (Rsaïssi et Bouhache, 2002). Cet arbuste se caractérise par des branches gris-blanc qui croissent en zigzag et forme généralement des touffes de 1 à 3 mètres de hauteur, ses fruits sont des drupes à noyaux unis, de couleur brune-jaune et de forme sphérique, mesurant entre 1 et 1,5 cm de longueur, localement appelés « Nbeg », ses fleurs sont polygames et de couleur jaune (Amara et Benabdeli, 2020) (Figure 1).



Figure 1. Allure générale de *Z. lotus* dans la région de Boumerdès (Original, 2024).



Figure 2. Vue d'ensemble de *Z. lotus* dans le paysage côtier de Boumerdès (Original, 2024).

4-1 Le système racinaire

Le jujubier sauvage possède un système racinaire pivotant bien développé, centré sur un pivot principal orthogéotrope qui s'enfonce profondément dans le sol. Cela lui permet de capter l'eau et les nutriments en profondeur. En complément, il développe un réseau dense de racines latérales et secondaires ce qui contribue à sa stabilité et à une exploration efficace du sol. Cette architecture racinaire joue un rôle fondamental dans la conservation des sols en réduisant leur érosion et en favorisant la structuration du substrat, permettant à l'espèce de s'adapter à divers milieux (Arndt et al., 2001 ; Laamouri et al., 2008).

4-2 Les rameaux

Les rameaux (Figure 3A), sont recourbés vers le bas et présentent une souplesse marquée, avec une couleur blanche grisâtre et une abondance d'épines (Figure 3B). Disposées par paires, soit droites, soit recourbées, ce qui les rend très épineux. Cette morphologie robuste assure une défense efficace contre les herbivores (Gharnit et al., 2010 ; Ghedira, 2013).



Figure 3. Morphologie des rameaux (A) et des épines (B) de *Z. lotus* (Original, 2024).

4-3 Les feuilles

Les feuilles de *Z. lotus* (Figure 4A), sont petites à moyennes, disposées de manière alterne ou distique sur les rameaux. Elles ont une forme ovale à allongée, parfois acuminée, et peuvent être dentées ou non selon les conditions écologiques. La plupart sont glabres, mais certaines peuvent être légèrement velues, ce qui pourrait être une adaptation aux conditions arides. Elles présentent une nervation trinervée (Figure 4B) et un pétiole court qui réduit l'exposition au vent et à la sécheresse. Les feuilles sont faiblement rigides et crénelées, optimisant leur résistance aux stress hydriques et thermiques, ce qui aide à réguler l'évapotranspiration, essentielle pour leur survie dans les milieux semi-arides et arides (Munier, 1973 ; Ghedira, 2013).

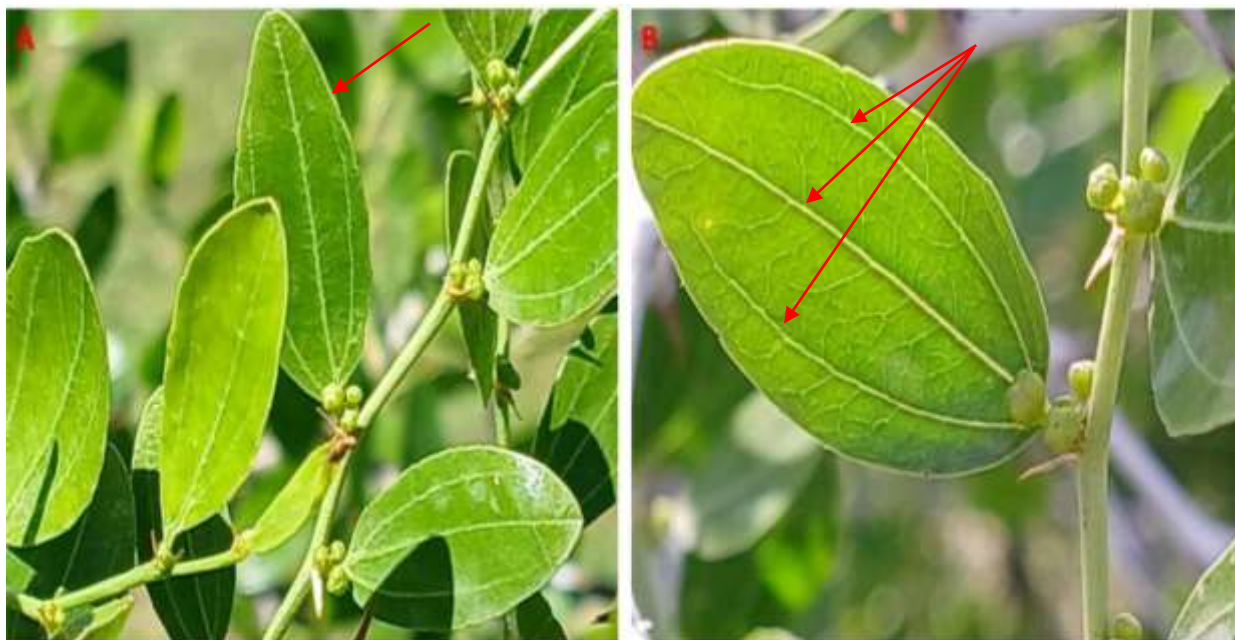


Figure 4. Morphologie générale des feuilles de *Z. lotus* (A) et disposition des nervures (B) (Original, 2024).

4-4 Les fleurs

Les fleurs de *Z. lotus* sont petites, de couleur jaune (Figure 5A), et présentent une symétrie pentamère (Rsaissi et Bouchache, 2002). Elles mesurent environ 3 mm de diamètre (Maraghni et *al.*, 2011) et sont caractérisées par des sépales ouverts en étoile, des pétales réduits, ainsi qu'un ovaire supérieur bisexuel (Rabaa, 2007). Le pollen est tricolporé avec trois pores méridiens, symétrie radiale, et une forme isopolare. En vue polaire, il apparaît triangulaire, avec une taille médium et une forme prolata. L'exine est ornée d'une texture rugulée (Zouggar et *al.*, 2024).

4-5 Les fruits

Les fruits du jujubier sauvage sont des drupes à noyaux soudés (Rsaissi et Bouchache, 2002). Leur forme est sphérique et ovoïde-allongée, ressemblant à celle d'une olive (Bayer et Butter, 2000 ; Azam-Ali et *al.*, 2006). Ils mesurent généralement entre 1 et 2 cm de diamètre à maturité (Ozenda, 1991). Au début, les fruits sont verts et fermes, puis changent de couleur pour devenir orange à brun à mesure qu'ils mûrissent (Figure 5B) (Espiard, 2002). Ces fruits sont comestibles et appréciés pour leur goût sucré.

5- Répartition géographique

5-1 Dans le monde

La répartition géographique de *Z. lotus* s'étend principalement dans les régions arides et semi-arides. En Afrique du Nord, elle est présente au Maroc, en Algérie, en Tunisie et en Libye (Quezel et Santa, 1962). En Asie, elle est également répandue dans la péninsule arabique, notamment au Yémen et sur l'île de Socotra (Ghedira, 2013). De plus, elle est établie au Moyen-

Orient, avec des populations en Palestine, en Syrie, en Turquie et à Chypre (Abdoul-Azize, 2016). En Europe, elle est observée dans des régions telles que la Grèce, la Sicile et le sud de l'Espagne, où elle s'adapte bien aux conditions climatiques méditerranéennes (Brosse, 2000).



Figure 5. Fleurs et bourgeons floraux de *Z. lotus* (A) et fruits à différents stades de maturité (B) (Original, 2024).

5-2 En Algérie

Cette plante est répandue dans toute l'Algérie, à l'exception du Tell Algéro-Constantinois (Quézel et Santa, 1962) (Figure 6). Le jujubier sauvage est la plante la plus commune dans les environnements arides et semi-arides avec des saisons sèches très longues. Le buisson fournit un micro-écosystème spécifique et est un foyer pour plusieurs espèces végétales et animales (Rais et *al.*, 2017). Bien que le *Z. lotus* soit généralement associé à des environnements arides, il peut s'adapter à divers types de sols et climats, ce qui explique sa présence dans une grande partie du territoire algérien où il montre une certaine plasticité écologique (Amara et Benabdeli, 2020).

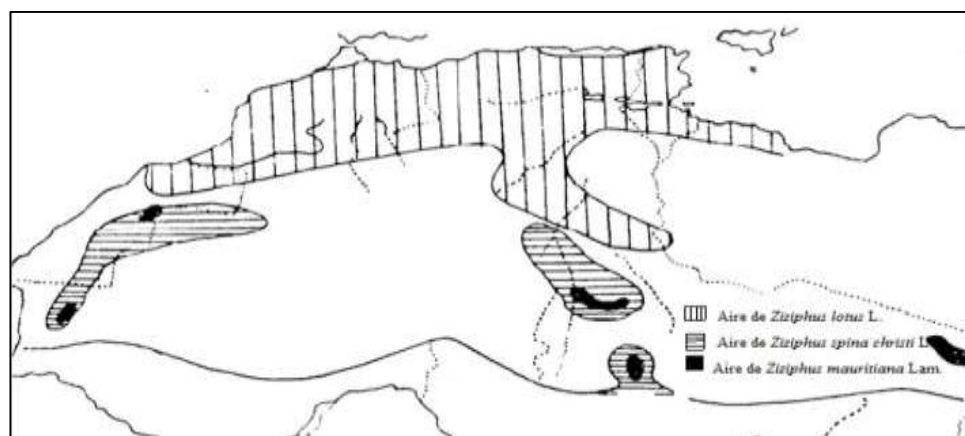


Figure 6. Distribution de *Z. lotus* en Algérie (Quézel et Santa, 1962).

6- Ecologie de la plante

Naturellement, le jujubier sauvage se développe dans des environnements variés, allant des zones rocailleuses aux falaises et aux pieds des collines (Chehema, 2006). Il est fréquent dans toutes les régions méditerranéennes, sauf en France et en Italie, et s'étend jusqu'aux côtes de la mer Rouge (Regehr et El Brahli, 1995). Cette large distribution géographique et climatique suggère également une importante diversité génétique (Singh et *al.*, 2007).

6-1 Préférences climatiques

Présentant une remarquable plasticité écologique, le *Z. lotus* est capable de prospérer dans différents types de milieux, grâce à sa tolérance exceptionnelle aux conditions climatiques extrêmes (Laamouri et *al.*, 2008). Il se distingue par sa résistance à la sécheresse et aux températures élevées. Il est capable de s'adapter à des amplitudes thermiques allant de 20 à 35 °C, ce qui lui permet de prospérer dans des conditions climatiques variées (Amara et Benabdeli, 2020). Dans certaines régions de l'Afrique du Nord, notamment en Algérie, au Maroc et en Tunisie, le *Z. lotus* est capable de supporter des températures maximales pouvant atteindre 45°C (Tardío et *al.*, 2016). Bien qu'adaptée aux hivers relativement froids, cette espèce tolère mieux le gel hivernal jusqu'à -15 °C que les gelées printanières, en raison de sa floraison tardive entre mai et juillet (Paroda et Mal, 1989). Cependant, elle présente une intolérance à une humidité atmosphérique élevée et à des excès hydriques prolongés, limitant ainsi sa distribution aux zones tempérées à hiver doux, ainsi qu'aux régions subtropicales et tropicales (Munier, 1973).

6-2 Préférences édaphiques

Cette espèce préfère les sols neutres à légèrement alcalins, bien drainés et profonds (Laamouri et *al.*, 2008 ; Amara et Benabdeli, 2020). Elle tolère également les sols caillouteux et pauvres en nutriments à condition d'un bon drainage (Tardío et *al.*, 2016). Grâce à son système racinaire profond, le *Z. lotus* accède à l'humidité en profondeur, renforçant sa résistance à la sécheresse (Munier, 1973). Cette espèce s'adapte à la salinité en contrôlant l'absorption des substances salées pour éviter leur accumulation excessive dans ses tissus. Elle produit également des composés protecteurs comme la proline et les sucres solubles. En cas de forte salinité, elle réduit sa surface foliaire pour limiter les pertes hydriques (Tardío et *al.*, 2016).

6-3 Phénologie et production fruitière

La multiplication de *Z. lotus* se fait principalement par voie végétative, tandis que sa propagation par semis reste limitée en raison de la nécessité d'un traitement des noyaux par les sucs digestifs de certains animaux, notamment les oiseaux et les mammifères (Zouaoui et *al.*, 2013). L'espèce connaît un cycle phénologique bien marqué. Entre octobre et mars, elle entre en dormance (Maraghni et *al.*, 2010). Au printemps, les bourgeons émergents et la croissance active se poursuit jusqu'en été. La floraison survient généralement en juin, bien que sa période exacte dépende des précipitations et des températures locales. La fructification a lieu de septembre à octobre, période durant laquelle les fruits arrivent à maturité et se détachent naturellement (Bonnet, 2001). En automne, les pousses se dessèchent et les feuilles tombent, marquant l'entrée en dormance hivernale (Rsaissi et Bouchache, 2002).

La croissance de *Z. lotus* est relativement lente. L'espèce commence à produire des fruits dès l'âge de quatre ans et peut maintenir cette production jusqu'à environ 25 ans. Toutefois, selon les conditions environnementales, certains spécimens peuvent continuer à fructifier au-delà de cet âge (Maraghni et al., 2010).

7-Interactions de *Ziziphus lotus* avec son environnement biotique

7-1 Interactions avec les champignons

Les champignons endophytes et épiphytes forment une association étroite avec le *Z. lotus*, influençant profondément sa biologie. En tant que partenaires symbiotiques, ces champignons peuvent moduler la physiologie de la plante, renforçant sa capacité à résister aux stress environnementaux. Les endophytes, en colonisant les tissus internes, améliorent la résistance aux stress biotiques et abiotiques, tandis que les épiphytes créent un microenvironnement protecteur à la surface des feuilles. Cette interaction complexe souligne l'importance de la mycobiote pour la survie et l'adaptation de *Z. lotus* dans son écosystème (Ghazi-Yaker et al., 2022).

7-2 Interactions avec les pollinisateurs

Le jujubier et les abeilles mellifères (*Apis mellifera intermissa*) sont liés par une interaction écologique essentielle. Le jujubier offre aux abeilles le nectar et le pollen de ses fleurs, une source de nourriture indispensable à leur survie et à la production de miel (Nasri-Ayachi et Nabli, 2009 ; Dobignard et Chatelain, 2013). En retour, les abeilles assurent la pollinisation du jujubier, favorisant sa reproduction et donc sa survie. Cette interaction est donc essentielle à la pérennité des deux partenaires (Zouggar et al., 2024).

7-3 Interactions avec les disperseurs de graines

La dispersion des graines de *Z. lotus* repose principalement sur un processus d'endozoochorie, où les fruits de la plante sont consommés par divers animaux. Après ingestion, les graines traversent le tube digestif des disperseurs avant d'être excrétées avec leurs déjections, souvent loin de la plante mère. Ce passage digestif favorise la scarification des téguments des graines, améliorant ainsi leur germination et facilitant leur implantation dans de nouveaux habitats. Cette interaction est bénéfique à la fois pour la plante, en assurant sa dispersion et sa régénération, et pour les animaux, qui trouvent une source alimentaire nutritive (Cancio et al., 2016).

7- 4 Interactions avec le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*)

Le jujubier joue un rôle essentiel en tant que plante-nurse pour le *Pistacia atlantica*. Les jeunes plants de pistachier trouvent un abri sous le couvert épineux du *Z. lotus*, bénéficiant d'une protection contre les herbivores et d'un microclimat plus favorable. Cette interaction facilite l'établissement et la survie des jeunes pistachiers, contribuant ainsi à la pérennité des populations de cet arbre (Ifticene-Habani et al., 2022).

7-5 Interactions avec la Cuscute (*Cuscuta epithimum*)

L'interaction entre *Z. lotus* et la plante parasite *Cuscuta epithimum* est complexe et influencée par des facteurs microbiens. *Cuscuta epithimum*, une plante holoparasite, s'attache à *Z. Lotus*

via des structures spécialisées appelées haustoria, permettant ainsi le transfert de nutriments et d'eau du jujube vers le parasite. Cette relation parasite-hôte est également marquée par une communauté bactérienne partagée, suggérant un échange potentiel de micro-organismes entre les deux plantes. Cette interaction a des implications écologiques importantes, car elle peut affecter la santé et la productivité du jujubier, tout en influençant la dynamique de l'écosystème aride dans lequel elles coexistent (Radouane et *al.*, 2024).

8-Utilisation thérapeutique, médicinale et alimentaire de *Ziziphus lotus*

Le jujubier sauvage offre divers avantages nutritionnels, cosmétiques et médicaux (Rais et *al.*, 2017). Reconnu pour ses propriétés médicinales, en particulier en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, il est utilisé traditionnellement pour traiter diverses affections. Ces propriétés sont attribuées à sa richesse en composés bioactifs tels que les polyphénols, alcaloïdes, saponines, vitamines, minéraux, acides aminés et acides gras polyinsaturés (Souleymane, 2016).

8-1 Propriétés gastro-intestinales et hépatiques

Cette plante est traditionnellement utilisée en Afrique du Nord et au Moyen-Orient pour traiter diverses pathologies, notamment les problèmes hépatiques, urinaires, l'obésité, les infections, la fièvre et l'insomnie (Adzu et *al.*, 2003 ; Suksamrarn et *al.*, 2005). L'écorce des racines présente une activité anti-ulcérogénique significative, principalement due à la présence de tanins et de flavonoïdes, offrant ainsi une protection efficace contre les ulcères gastriques (Borgi et *al.*, 2007). De plus, les infusions de racines sont utilisées contre les maladies vénériennes, témoignant de son efficacité dans le traitement des affections gastro-intestinales (Maydell, 1990). Dans l'Afrique du Nord, les feuilles de *Z. lotus* sont utilisées pour apaiser les diarrhées (Elgorashi et *al.*, 2003).

8-2 Propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antivirales

Grâce à ses composés bioactifs, le *Z. lotus* possède des propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antioxydantes qui renforcent ses usages médicaux (Suksamrarn et *al.*, 2005). En médecine traditionnelle, notamment au Sahara occidental, cette plante est reconnue pour ses propriétés antivarioliques et son efficacité contre la rougeole, attribuées à sa richesse en flavonoïdes et en composés phénoliques (Bellakhdar, 1978 ; Abu-Zarga et *al.*, 1995). Par ailleurs, un mélange de cendre de bois de jujubier et de vinaigre est appliqué localement pour traiter les morsures de serpent, offrant une action antiseptique et apaisante, particulièrement utilisée dans la médecine traditionnelle du Sahara occidental (Bellakhdar, 1997).

8-3 Utilisation pour les affections cutanées et oculaires

La racine écrasée de *Z. lotus* libère un extrait végétal aux propriétés thérapeutiques, particulièrement efficace dans le traitement des leucômes oculaires, une pathologie se manifestant par une opacification de la cornée pouvant altérer la vision (Boukef, 1986). Dans le sud marocain, cette espèce est recommandée pour soigner les furoncles et les abcès grâce à ses propriétés antiseptiques. En Afrique du Nord, la décoction des feuilles est utilisée pour revitaliser les cheveux et renforcer la santé capillaire (Bellakhdar, 1997).

8-4 Effets sur le système nerveux et respiratoire

Les fruits sont utilisés comme sédatifs naturels dans le traitement des troubles respiratoires, en facilitant la détente des muscles lisses des voies respiratoires, ce qui améliore la respiration et atténue les spasmes bronchiques (Baba Aissa, 1999). En outre, la plante est considérée comme fébrifuge, tonifiante et revigorante, particulièrement bénéfique en période de convalescence pour renforcer le système immunitaire et restaurer la vitalité (Bellakhdar, 1997).

8-5 Utilisation alimentaire

Le jujubier sauvage, est une plante polyvalente, offrant une ressource alimentaire précieuse. Le fruit (jujube) est consommé frais, séché ou transformé en divers produits tels que la confitures, thé, jus, huiles, ainsi que dans des conserves, fruits confits, liqueurs et pâtes de fruits par les tribus berbères du Maghreb (Adzu et *al.*, 2004 ; Rsaissi et Bouhache, 2002 ; Ghedira, 2013 ; Elaloui, 2014). La pulpe est riche en vitamines C et E, fibres, acides aminés, minéraux, glucides, protéines et lipides (Abdeddaim, 2014). L'huile extraite des graines est riche en acides gras essentiels comme l'acide oléique, linoléique et palmitique, ce qui en fait une alternative aux huiles alimentaires conventionnelles (Chouaibi, 2012). Enfin, le miel issu du butinage des fleurs de *Z. lotus* est reconnu pour sa qualité supérieure (Fabricif et Renard, 1999).

9-Espèces du genre *Ziziphus*

En Algérie, le genre *Ziziphus* est représenté par plusieurs espèces, notamment *Z. lotus*, *Z. mauritiana*, *Z. spina-christi* et *Z. Saharæ* Batt (Quézel et Santa, 1962). À l'échelle mondiale, le genre *Ziziphus* compte environ 122 espèces (Benammar, 2011). Parmi lesquels on trouve notamment :

9-1 *Ziziphus vulgaris* Lam.

Le *Ziziphus vulgaris* est un arbre ou arbuste souvent trouvé en état sub-spontané près des zones cultivées. Son bois est dense et utilisé en ébénisterie, tandis que ses fruits, de la taille d'une grosse olive, sont sucrés et consommables (Houma, 2023). En Inde, les graines sont considérées comme sédatives, et en Chine, les fruits sont utilisés pour traiter l'insomnie et la neurasthénie (Gueda Ba, 2005).

9-2 *Ziziphus mauritiana* Lam.

Le *Ziziphus mauritiana*, également connu sous le nom de Jujubier de Maurice, est un arbuste épineux ou petit arbre pouvant atteindre jusqu'à 15 mètres de hauteur. Il est originaire d'Asie et se caractérise par ses fruits ronds et sucrés, souvent comparés à des dattes chinoises ou des pommes sures (Kalinganire et Koné, 2011).

9-3 *Ziziphus abyssinica* Hochst

Le *Ziziphus abyssinica* est un arbuste épineux ou un arbre pouvant atteindre 12 mètres de haut, avec des branches pendantes formant une couronne arrondie et dense (Houma, 2023). Les extraits de ses fruits sont traditionnellement utilisés par les communautés pastorales du Kenya pour conserver la viande, grâce à leurs propriétés antibactériennes et antioxydantes dues à la présence

de divers composés phytochimiques (Nyaberi et *al.*, 2010).

9-4 *Ziziphus joazeiro* Martius

Le *Ziziphus joazeiro* est un arbre pouvant atteindre 12 mètres de hauteur, caractérisé par ses branches épineuses, ses feuilles d'une couleur sombre et ses fruits sphériques d'environ 3 cm de diamètre qui prennent une couleur jaune à maturité (Gueda Ba, 2005). Par ailleurs, selon l'étude phytochimique de Souza Neto (2016), cette plante, originaire de la Caatinga brésilienne, est traditionnellement utilisée pour ses propriétés antiseptiques, notamment comme dentifrice et anti-pelliculaire, ainsi que pour ses effets anti-inflammatoires et antimicrobiens.

9-5 *Ziziphus spina-christi* L.

Le *Ziziphus Spina-christi*, appelé Épine du Christ, est un arbre résistant à la sécheresse, originaire d'Afrique et d'Asie. Il atteint 20 m de haut, avec une écorce grise fissurée et des épines paires. Ses utilisations sont multiples : fruits comestibles, fourrage, bois de construction, et médecine traditionnelle pour divers maux (Orwa et *al.*, 2009). En apiculture, cette espèce mellifère est reconnue comme une source de nectar essentielle pour la production d'un miel de qualité supérieure, particulièrement prisé au Moyen-Orient (Nuru et *al.*, 2012).

9-6 *Z. Saharae* Batt.

Le *Ziziphus saharae* est un arbuste épineux endémique d'Afrique du Nord, atteignant jusqu'à 2 mètres de haut. Ses feuilles sont petites et pubescentes. Il se caractérise par deux types d'épines : une grande et droite, et une plus petite et courbée. Ses fleurs sont jaunâtres, et son fruit est une petite drupe brun orangé (Quézel et Santa, 1962).

II- Présentation des traits fonctionnels

Les traits fonctionnels des plantes regroupent l'ensemble des caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénologiques qui déterminent leur aptitude à survivre, se reproduire et s'adapter à leur environnement (Figure 7) (Violle et *al.*, 2007). Parmi ces traits, on compte la hauteur, la profondeur des racines, la surface foliaire spécifique, l'épaisseur des feuilles ou encore le cycle de vie, qui jouent un rôle clé dans l'acquisition des ressources, la résilience face aux perturbations et la persistance dans des conditions environnementales changeantes (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2016). L'étude des traits fonctionnels s'avère essentielle, car elle offre à la fois une compréhension approfondie de l'histoire écologique et évolutive des espèces, et la capacité de prédire leurs réponses aux variations environnementales ainsi que leur impact potentiel sur les écosystèmes qu'elles occupent (Chaturvedi et *al.*, 2011).

1-Rôle des traits fonctionnels dans l'adaptation des plantes aux changements environnementaux

Les traits fonctionnels jouent un rôle crucial dans la capacité des plantes à s'adapter aux perturbations environnementales et aux changements climatiques. Leur variation permet d'expliquer les différences de résilience entre les espèces, en influençant directement leur capacité à survivre, à se régénérer ou à maintenir les fonctions écologiques face au stress. Ils servent ainsi d'indicateurs fiables pour identifier les espèces les mieux adaptées à des milieux spécifiques, comme ceux exposés à la sécheresse, aux incendies ou aux vents extrêmes. En

contexte de gestion écologique, leur intégration permet de composer des peuplements végétaux plus diversifiés, plus redondants fonctionnellement et donc plus stables à long terme. Cette approche est désormais centrale dans les stratégies de restauration écologique et d'adaptation des écosystèmes forestiers, notamment pour renforcer leur résilience face aux bouleversements climatiques (Bérubé-Girouard et Royer-Tardif, 2023).

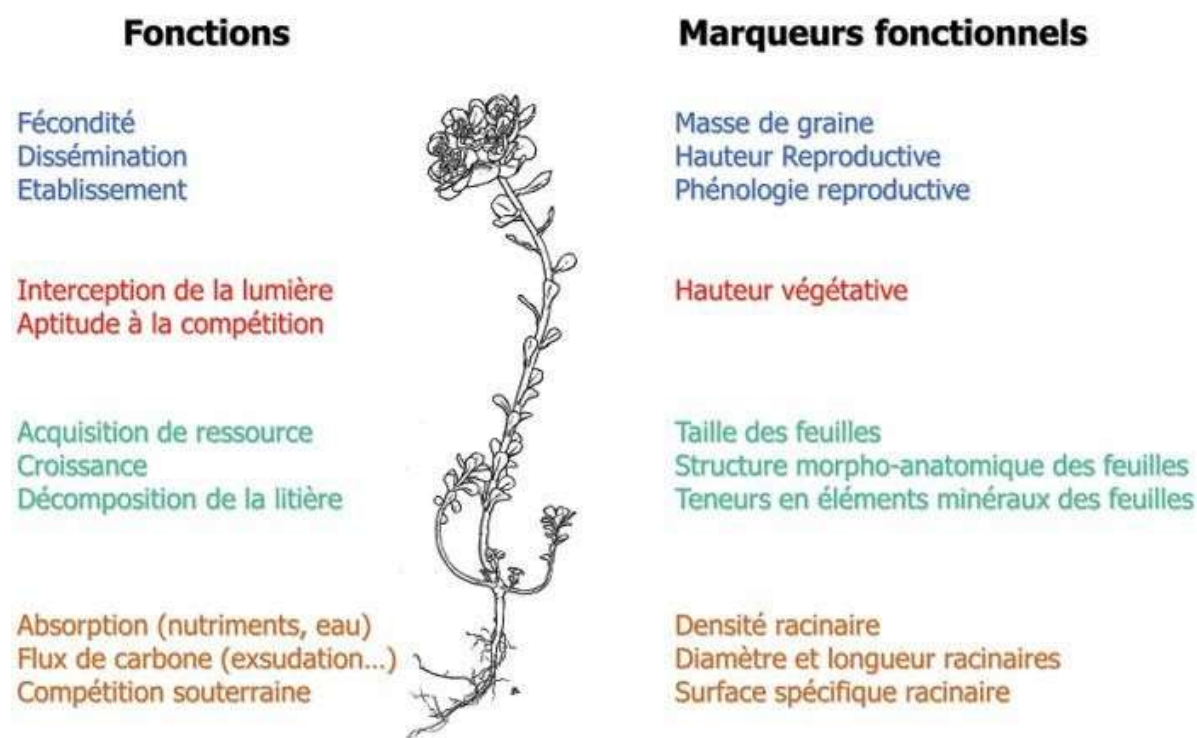


Figure 7. Exemple de correspondance entre fonctions écologiques et marqueurs fonctionnels chez les plantes (Garnier et Navas, 2012). Le code couleur met en correspondance les fonctions et les marqueurs fonctionnels qui correspondent à ces fonctions chez *Euphorbia helioscopia*.

2- Diversité interspécifique et intraspécifique des traits fonctionnels

La variabilité des traits fonctionnels peut s'observer à différents niveaux d'organisation biologique. À l'échelle interspécifique, elle reflète les stratégies écologiques distinctes développées par différentes espèces en réponse à leurs milieux de vie. Chaque espèce présente ainsi une combinaison de traits optimisée pour maximiser sa survie, sa croissance et sa reproduction dans un contexte environnemental donné. Toutefois, une variabilité importante peut également exister à l'échelle intraspécifique, c'est-à-dire entre individus d'une même espèce. Cette diversité intraspécifique des traits fonctionnels est influencée par plusieurs facteurs, tels que les conditions écologiques locales (climat, disponibilité en eau et en nutriments), l'âge des individus, le micro-habitat, ou encore des variations génétiques. Elle traduit la capacité d'une espèce à s'ajuster finement aux contraintes environnementales, en modulant ses traits morphologiques et physiologiques (Albert et *al.*, 2011 ; Violle et *al.*, 2012).

3- Traits fonctionnels à l'échelle de la plante entière

3-1 La hauteur de la plante

La hauteur désigne la taille maximale (H_{max}) qu'un individu mature typique d'une espèce peut atteindre dans un habitat donné. Cette hauteur est liée à plusieurs facteurs, tels que la forme de croissance de la plante, sa position dans le gradient vertical de lumière au sein de la végétation, sa vigueur compétitive, sa taille reproductive, sa fécondité globale, sa durée de vie potentielle, ainsi que sa capacité à s'établir et à atteindre la maturité reproductive entre deux événements perturbateurs comme les incendies, les tempêtes, le labour ou le pâturage (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2016).

3-1-2 Le rôle de la hauteur

La hauteur des plantes est un trait essentiel qui influence leur compétitivité pour la lumière, leur capacité reproductive et leur adaptation aux perturbations environnementales. Elle traduit un compromis entre croissance rapide et tolérance aux stress climatiques ou nutritifs. De plus, la hauteur est souvent corrélée à d'autres traits fonctionnels importants tels que la biomasse, la profondeur racinaire ou la taille des feuilles, soulignant ainsi son rôle clé dans la stratégie de survie et de développement des plantes (Cornelissen et *al.*, 2003).

3-2 La largeur de la canopée

La largeur de la canopée, aussi appelé le « diamètre du houppier », correspond à la largeur maximale horizontale de la couronne d'un arbre, mesurée entre les extrémités opposées des branches qui composent la partie supérieure de l'arbre (Ndamiyehe et *al.*, 2020).

3-2-1 Variabilité écologique de la largeur de la canopée

La largeur de la canopée varie en fonction de nombreux facteurs écologiques, reflétant les adaptations des espèces à leur environnement. Premièrement, la variation dépend fortement de l'espèce et de sa stratégie de croissance. Les espèces héliophiles, qui nécessitent une forte lumière pour leur développement, tendent à développer des houppiers plus larges afin de maximiser la capture lumineuse. À l'inverse, les espèces tolérantes à l'ombre ont souvent des couronnes plus compactes, adaptées à des conditions de faible luminosité. Deuxièmement, les conditions environnementales jouent un rôle majeur : dans les milieux denses, la compétition pour la lumière limite souvent l'expansion horizontale des houppiers, ce qui réduit le diamètre moyen des canopées. La disponibilité en eau et en nutriments influence également la croissance des branches et la taille de la couronne. Troisièmement, le diamètre de la canopée évolue avec l'âge de l'arbre et la dynamique des peuplements. Les jeunes arbres et arbustes ont des houppiers plus petits, qui s'élargissent au fur et à mesure que celles-ci grandissent et gagnent en dominance dans la strate. Cette évolution modifie la texture et la structure globale de la canopée, influençant ainsi les interactions entre individus et la dynamique des peuplements (Ndamiyehe et *al.*, 2020).

4- Traits morpho-fonctionnels des feuilles

4-1- L'épaisseur des feuilles

L'épaisseur des feuilles est un trait fonctionnel fondamental qui traduit l'adaptation des plantes à leur environnement. Elle correspond à la dimension perpendiculaire à la surface de la feuille, résultant de l'organisation des tissus foliaires, notamment l'épiderme, le mésophylle palissadique et lacuneux. Ce caractère est influencé par divers facteurs abiotiques tels que l'intensité lumineuse, la disponibilité en eau et la température, qui modulent la structure foliaire afin d'optimiser les échanges gazeux, la photosynthèse et la conservation de l'eau (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2013).

4-1-1 Rôle de l'épaisseur des feuilles

Dans les milieux exposés à un fort rayonnement solaire ou à un stress hydrique, les feuilles tendent à être plus épaisses. Cette augmentation d'épaisseur constitue une adaptation protectrice qui limite les pertes d'eau par transpiration en renforçant la cuticule cireuse et en modifiant la densité des tissus internes. Elle protège également les tissus photosynthétiques des dommages causés par un excès de lumière et de chaleur. Une feuille plus épaisse peut contenir davantage de cellules chlorophylliennes, ce qui améliore la capacité photosynthétique tout en réduisant la déshydratation, contribuant ainsi à la résistance des plantes aux stress environnementaux (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2013).

4-1-2 Variation écologique de l'épaisseur des feuilles

L'épaisseur des feuilles varie selon les conditions écologiques auxquelles les plantes sont exposées. Elle augmente généralement avec l'altitude, où les plantes doivent faire face à des températures plus basses, un rayonnement ultraviolet plus intense et des variations climatiques importantes, ce qui améliore leur résistance aux conditions climatiques changeantes (Liu et *al.*, 2020). De plus, dans les habitats ensoleillés, secs et moins fertiles, les feuilles sont souvent plus épaisses. Cette caractéristique est aussi fréquente chez les feuilles à longue durée de vie, leur conférant une meilleure résistance aux stress environnementaux tels que la sécheresse et la faible disponibilité en nutriments (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2013).

En revanche, dans des environnements où l'eau est plus abondante et les conditions moins stressantes, les feuilles tendent à être plus fines. Ces feuilles fines favorisent une surface d'échange gazeux plus importante par unité de volume, ce qui optimise la photosynthèse dans des milieux moins contraignants. Par ailleurs, les feuilles fines ont souvent une surface foliaire spécifique plus élevée, ce qui est associé à une croissance rapide et à une stratégie d'acquisition efficace des ressources. Cette variation entre feuilles épaisses et feuilles fines illustre la plasticité adaptative des plantes, qui modulent leur morphologie foliaire pour maximiser leur survie et leur performance physiologique selon les contraintes environnementales. De plus, au sein d'un même individu, les feuilles exposées en périphérie du couvert c'est-à-dire situées sur les parties externes et supérieures de la canopée, directement exposées à la lumière solaire tendent à être plus épaisses que celles localisées dans les zones internes plus ombragées. Cette variation morphologique est principalement due à des différences dans le nombre et l'épaisseur des couches de mésophylle, qui représentent le principal déterminant anatomique de l'épaisseur foliaire (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2016).

4-2 Longueur et largeur foliaires

La longueur et la largeur des feuilles sont des traits morphologiques fondamentaux qui permettent de caractériser la forme foliaire, un élément clé de la morphologie végétale. Ces dimensions déterminent directement la surface foliaire, laquelle influence la capacité d'interception de la lumière, les échanges gazeux et la dissipation thermique (Poorter et *al.*, 2009). La forme foliaire, qui inclut la longueur et la largeur, est également un critère important en systématique végétale pour identifier et classer les espèces, car elle varie selon les adaptations écologiques et les stratégies de croissance des plantes. Par ailleurs, la variation de ces dimensions peut se traduire par des formes foliaires très diverses, telles que des feuilles linéaires, ovales, lancéolées ou obovales, chacune ayant des implications spécifiques sur la physiologie de la plante et son interaction avec l'environnement (Valladares et Brites, 2004 ; Vile et *al.*, 2005 ; Nicotra et *al.*, 2011). Les feuilles ovales, avec leur surface modérée et leur symétrie, permettent une absorption lumineuse efficace tout en limitant la transpiration, ce qui représente un avantage dans les environnements semi-ombragés ou modérément secs (Malhado et *al.*, 2009). Les feuilles lancéolées, plus étroites et allongées, sont couramment observées dans les milieux chauds et humides où elles facilitent l'évacuation de l'eau et réduisent les pertes hydriques en améliorant le refroidissement de la surface foliaire. Les feuilles obovales, dont la largeur maximale se situe vers l'apex, sont souvent associées aux espèces des zones tempérées froides ou tempérées humides, car elles favorisent l'accumulation et l'écoulement de l'eau vers l'extrémité distale, limitant ainsi les dommages mécaniques ou les pertes fonctionnelles en conditions climatiques contrastées (Martín-Sánchez et *al.*, 2024). Enfin, les feuilles linéaires, typiques des climats arides ou des altitudes élevées, sont adaptées pour réduire la surface d'échange et donc la perte d'eau, tout en évitant l'accumulation de neige (Gong et *al.*, 2023).

4-2-1 Rôle et variation écologique de la longueur et largeur des feuilles

Généralement, des feuilles longues et étroites sont caractéristiques des milieux secs ou très ensoleillés, car elles limitent la perte d'eau par transpiration tout en réduisant l'exposition directe à la lumière intense (Niinemets, 2010). À l'inverse, des feuilles larges et courtes sont plus fréquentes dans des habitats ombragés ou humides, où la dissipation thermique est moins critique et où une surface foliaire étendue facilite l'interception de la lumière disponible. Ces variations morphologiques reflètent ainsi des réponses adaptatives qui permettent aux plantes d'optimiser leurs échanges gazeux, leur photosynthèse et leur régulation thermique selon les contraintes écologiques locales. La forme foliaire, en modulant la surface et la structure des feuilles, constitue donc un compromis évolutif entre efficacité physiologique et limitation des stress environnementaux (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2013 ; Wright et *al.*, 2017).

4-3 La surface foliaire

La surface foliaire correspond à la superficie totale de la lame d'une feuille, c'est-à-dire la surface plane qui réalise la photosynthèse. C'est la partie principale de la feuille impliquée dans l'absorption de la lumière, les échanges gazeux et la transpiration (Wright et *al.*, 2004).

4-3-1 Rôle et variation écologique de la surface foliaire

La surface foliaire, en tant que trait morpho-fonctionnel essentiel des feuilles, joue un rôle central dans la photosynthèse en permettant aux plantes de capter la lumière solaire nécessaire

à la production de composés organiques. Une surface foliaire plus étendue accroît l'interception lumineuse, ce qui favorise une augmentation significative de la production de biomasse. Cependant, cette augmentation entraîne également une élévation de la transpiration, un phénomène par lequel l'eau est perdue sous forme de vapeur à travers les stomates foliaires, ce qui peut poser un inconvénient majeur dans les environnements xériques où la disponibilité en eau est limitée. En réponse à ces contraintes écologiques, les plantes adaptent leur surface foliaire. Elles tendent à réduire la taille de leurs feuilles dans les milieux arides afin de minimiser les pertes hydriques, tandis que dans les environnements plus humides, elles peuvent augmenter cette surface pour optimiser la capture de lumière et la photosynthèse (Niinemets, 2010 ; Wright *et al.*, 2017 ; Torres- García *et al.*, 2021).

Par ailleurs, la surface foliaire varie également en fonction de la disponibilité en nutriments. En effet, un déficit nutritionnel, notamment en éléments essentiels comme l'azote ou le phosphore, conduit souvent à une réduction de la surface foliaire, limitant ainsi les besoins en ressources et ajustant le métabolisme de la plante à des conditions moins favorables. Cette adaptation morphologique permet de mieux équilibrer la croissance et la consommation d'eau et de nutriments (Poorter et Garnier, 1999 ; Niinemets, 2010).

La surface foliaire contribue également à la biomasse aérienne totale de la plante, influençant sa stabilité mécanique et sa résistance au déracinement, des facteurs cruciaux pour la survie et la compétitivité des plantes dans divers habitats. Ainsi, la surface foliaire constitue un compromis évolutif entre maximisation de la photosynthèse et la limitation des pertes d'eau ou de nutriments, reflétant une adaptation fine aux conditions environnementales variées. Cette plasticité morphologique est un facteur clé pour comprendre la diversité fonctionnelle des plantes dans leurs écosystèmes respectifs (Le Stradic, 2008 ; Johnson *et al.*, 2010 ; Chitwood *et al.*, 2016).

5- Les indices écophysiologiques SLA et LDMC

5-1 La Superficie foliaire spécifique (Specific Leaf Area, SLA)

La surface foliaire spécifique (SLA) exprime ainsi la surface d'interception lumineuse par unité de masse sèche foliaire (Moussaouali et Hamdi Aïssa, 2017). Cet indice est largement utilisé en écophysiologie végétale pour analyser les stratégies adaptatives des plantes dans divers environnements (Pinto et Lopes, 1998).

La SLA varie considérablement selon les conditions écologiques. Dans les environnements riches en ressources (eau, lumière, nutriments), les plantes tendent à développer une SLA élevée, caractéristique de feuilles fines, légères et à croissance rapide. À l'inverse, dans les milieux contraints, tels que les sols pauvres ou les zones soumises à un stress hydrique, on observe des valeurs de SLA plus faibles, traduisant des feuilles plus denses et résistantes, favorisant la conservation des ressources et une plus grande longévité foliaire. Cette variation reflète des stratégies adaptatives fondamentales et permet de relier les traits fonctionnels aux gradients environnementaux (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2016).

5-2 La teneur en matière sèche foliaire (Leaf Dry Matter Content, LDMC)

La teneur en matière sèche foliaire (Leaf Dry Matter Content, LDMC) correspond au rapport entre la masse sèche et la masse fraîche d'une feuille. C'est un indicateur essentiel en

écophysiologie végétale, car il permet d'évaluer la capacité d'une plante à conserver ses ressources et à tolérer divers stress environnementaux. Des valeurs élevées de LDMC sont généralement associées à une stratégie de croissance lente, une meilleure rétention des nutriments et une longévité foliaire accrue, caractéristiques des espèces adaptées aux environnements pauvres en ressources ou soumises à des conditions abiotiques contraignantes (Dwyer et *al.*, 2014). En revanche, des valeurs faibles de LDMC indiquent une croissance plus rapide et une moindre conservation des ressources.

Il est également important de noter que le LDMC varie non seulement entre les différentes espèces, mais aussi au sein d'une même espèce en fonction des conditions écologiques, telles que l'humidité du sol, l'éclairement et la fertilité du sol. Cette variabilité souligne l'importance du LDMC comme un trait fonctionnel clé pour comprendre les adaptations des plantes aux changements environnementaux (Garnier et *al.*, 2001 ; Cornelissen et *al.*, 2003).

5-3 Corrélation fonctionnelle entre le SLA et le LDMC

En combinant l'analyse du SLA et du LDMC, il est possible de mieux comprendre les adaptations fonctionnelles des plantes face aux variations environnementales, notamment en termes de disponibilité en eau, lumière et nutriments. Le SLA renseigne sur la capacité d'une plante à investir en surface foliaire par unité de biomasse, favorisant une croissance rapide dans des milieux fertiles, tandis que le LDMC reflète la densité et la robustesse des tissus foliaires, traduisant des stratégies plus conservatrices, adaptées à des conditions abiotiques contraignantes. Ces deux traits, fréquemment mobilisés en écologie fonctionnelle, présentent généralement une corrélation négative : un SLA élevé s'accompagne souvent d'un LDMC faible, témoignant d'un compromis physiologique entre l'acquisition rapide des ressources et la durabilité des structures foliaires. Ils sont ainsi essentiels pour caractériser les stratégies écologiques des espèces, leur aptitude à survivre, croître et se reproduire dans des habitats contrastés (Cornelissen et *al.*, 2003).

6- Voies photosynthétiques (C3, C4, CAM) : implications écologiques et traits fonctionnels adaptatifs

Chez les plantes terrestres, trois grandes voies photosynthétiques sont reconnues « C3, C4 et CAM », chacune reposant sur une biochimie distincte. Ces voies constituent des traits fonctionnels majeurs car elles influencent directement l'efficacité de la photosynthèse, l'utilisation de l'eau et des nutriments, ainsi que la capacité d'adaptation aux conditions environnementales. Les plantes en C3, majoritaires à l'échelle globale, sont adaptées à des environnements tempérés, humides et modérément lumineux. Les plantes en C4, quant à elles, présentent une photosynthèse plus efficace dans des environnements chauds, ensoleillés et secs, grâce à une meilleure concentration du CO₂ au niveau des sites de fixation, ce qui augmente leur rendement en conditions limitantes. Les plantes CAM, de leur côté, ont développé une stratégie extrême d'économie de l'eau en ouvrant leurs stomates la nuit pour fixer le CO₂, limitant ainsi les pertes hydriques. Elles prédominent dans les écosystèmes arides et chauds. Certaines plantes aquatiques peuvent également adopter un métabolisme CAM, illustrant l'importance de cette voie dans différents types d'habitats. La diversité des voies photosynthétiques reflète ainsi des adaptations écologiques spécifiques, permettant aux plantes de maximiser leur performance en fonction des contraintes climatiques et hydriques (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2016).

Chapitre 2

Matériels et Méthodes

1- Présentation de la zone d'étude

1-1 Situation géographique

- La wilaya de Boumerdès est une wilaya côtière située au centre-nord de l'Algérie, avec une façade maritime de 80.33 km sur la mer Méditerranée. Elle bénéficie d'une position stratégique, à environ 45 km à l'est d'Alger. Cette situation géographique privilégiée lui confère un rôle clé dans les échanges régionaux et contribue à la diversité de ses paysages et de ses écosystèmes (CNERU, 2012). Elle est limitée :
 - au nord : La mer Méditerranée ;
 - à l'ouest : wilaya d'Alger ;
 - à l'est : wilaya de Tizi Ouzou ;
 - au sud-ouest : wilaya de Blida ;
 - au sud : wilaya de Bouira.

1-2 Situation administrative

Issue du découpage administratif de 1984, Boumerdès couvre une superficie de 1 456.16 km². Elle est composée de 32 communes regroupées en 9 daïras. Depuis 1984, Boumerdès assure la fonction de chef-lieu de la wilaya (Figure 8).

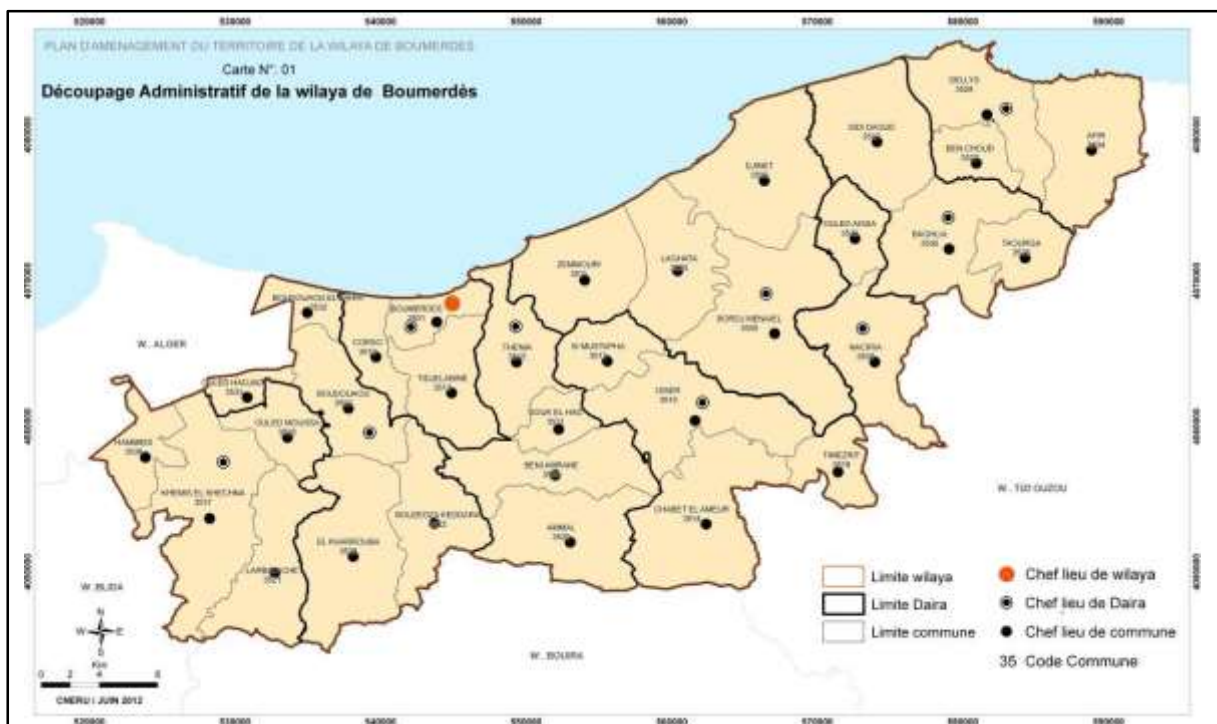


Figure 8. Découpage administratif de Boumerdès (CNERU, 2012).

1-3 Pédologie

La pédologie de la wilaya reflète une forte hétérogénéité due aux contrastes morphologiques, lithologiques et climatiques. Trois grands types de sols structurent le paysage agro-pédologique :

- **Plaines littorales** (Mitidja orientale, vallées de l'Oued Isser et de l'Oued Sebaou) : sols alluviaux profonds, bien drainés, riches en éléments fins et particulièrement fertiles, favorables aux cultures maraîchères et arboricoles ;
- **Zones de piémont** (Khemis El Khechna, Thénia) : sols bruns calcaires développés sur des formations marneuses et argileuses, souvent caillouteux, avec une bonne capacité de rétention d'eau, mais vulnérables à l'érosion sur les pentes.
- **Massifs montagneux** (Bouzegza, Djebel Zaïer) : sols peu évolués, squelettiques, caillouteux et peu profonds, colonisés par une végétation forestière ou arbustive, et présentant un faible potentiel agricole.

Les alluvions de l'Oued Boudouaou et de l'Oued Corso forment également des nappes aquifères importantes, avec des sols composés de galets, graviers et sables, parfois intercalés de couches argileuses en amont et au centre des vallées, tandis qu'en aval prédominent les formations argilo-limoneuses. Cette diversité pédologique illustre les contrastes naturels du territoire (CNERU, 2012).

1-4 Géologie

Sur le plan géologique, la wilaya de Boumerdès se distingue par une structure complexe, liée à une succession de phases tectoniques et sédimentaires. Le socle métamorphique, constitué de gneiss, schistes à deux micas, quartzites et calcaires cristallins, est recouvert de formations méso-cénozoïques telles que les flyschs, les olistostromes et les dépôts quaternaires d'origine marine, alluviale et éolienne, qui façonnent les plaines et les vallées. Le massif du Bou Maad, rattaché à l'Atlas tellien, se compose de formations crétacées variées comprenant des schistes, marnes, marno-calcaires et quartzites. Située à la jonction des plaques africaine et eurasiennne, la région est soumise à une activité tectonique intense. Le séisme de 2003, d'une magnitude de 6.8, provoqué par une compression nord-sud, illustre l'aléa sismique élevé de cette zone. Cette configuration géologique conditionne la nature des sols, la dynamique hydrique, la végétation et les contraintes d'aménagement (CNERU, 2012).

1-5 Géomorphologie

Située dans la partie septentrionale de l'Atlas tellien, la zone d'étude présente une géomorphologie contrastée, marquée par une alternance harmonieuse entre plaines, zones côtières, vallées alluviales, piémonts et reliefs montagneux. Les plaines s'étendent au nord avec des pentes douces favorables à l'agriculture, tandis que les zones côtières et les vallées assurent une transition fluide vers le littoral. Plus au sud, les piémonts occupent une position

intermédiaire entre les zones basses et les hauteurs, avant de laisser place à des massifs montagneux plus accidentés. Ces ensembles structurent profondément le territoire et influencent la répartition de la végétation, de l'usage des sols et du réseau hydrographique. La Figure 9 illustre la répartition de ces grands ensembles morphologiques.

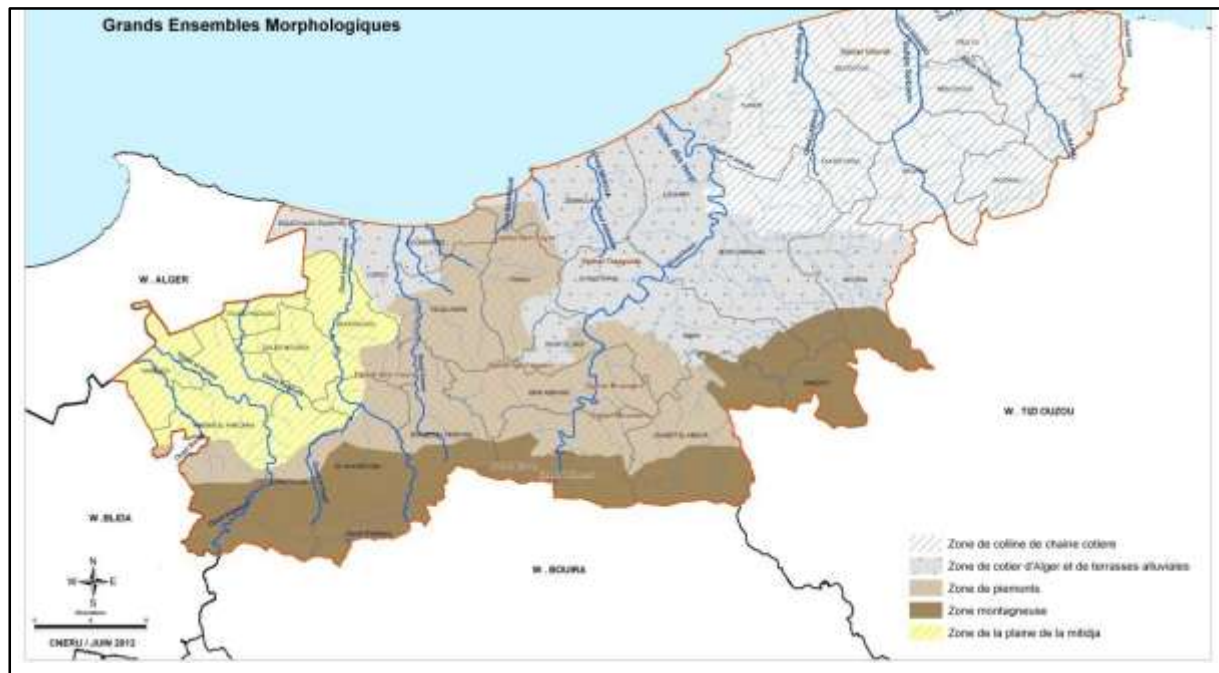


Figure 9. Grands ensembles morphologiques de Boumerdès (CNERU, 2012).

1-6 Hydrographie et hydrogéologie

La région se distingue par un réseau hydrographique dense, alimenté par plusieurs oueds majeurs, dont l'Oued Isser, l'Oued Sebaou, l'Oued Boudouaou, l'Oued El Hamiz, l'Oued Boumerdès et l'Oued Corso, qui prennent leur source dans l'Atlas tellien et s'écoulent vers la Méditerranée. Sur le plan hydrogéologique, la wilaya repose sur des aquifères discontinus, principalement localisés dans la plaine de la Mitidja orientale et les vallées de ces cours d'eau. Ces nappes, contenues dans des formations alluvionnaires perméables reposant sur des substrats marneux et argileux, sont alimentées par les précipitations et les échanges hydriques avec les oueds. Ce système constitue une ressource essentielle pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation, les usages industriels et la régulation environnementale du territoire (CNERU, 2012).

1-7 Climat et bioclimat

Le climat est généralement défini comme l'ensemble des conditions météorologiques moyennes (température, précipitations, humidité, vent, ensoleillement, etc.) qui caractérisent une région donnée sur une longue période, généralement 30 ans ou plus. Selon Barry et Chorley (2003), le climat représente « *l'expression statistique des états atmosphériques moyens et de leurs variations sur des périodes de temps longues* ». Il joue un rôle déterminant dans la distribution

des espèces végétales et animales, ainsi que dans la dynamique des écosystèmes (Peel et *al.*, 2007).

Le bioclimat, quant à lui, désigne l'ensemble des conditions climatiques qui influencent la répartition, la structure et la fonction des communautés biologiques dans une région donnée. Selon Rivas-Martínez (2008), le bioclimat est « *l'ensemble des facteurs climatiques ayant un impact direct sur les êtres vivants et les écosystèmes* ». Il est notamment utilisé pour classifier les régions bioclimatiques et prédire la distribution potentielle des espèces végétales en fonction des variables climatiques (Ninyerola et *al.*, 2007).

Les données climatiques utilisées dans ce travail ont été extraites du site <https://fr.climate-data.org/info/sources/>. Ce site a également été utilisé dans des publications scientifiques, c'est notamment le cas dans l'étude d'Ahmed et *al.* (2015), qui s'appuient sur ces données pour décrire le climat désertique de Najran (Arabie Saoudite), dans le cadre de leurs recherches sur la qualité des eaux souterraines.

Une interpolation des données climatiques a été effectuée afin d'adapter les valeurs générales aux conditions locales. Pour la pluviosité, nous avons appliqué le gradient établi pour l'Atlas saharien central par Benali (1988, in Leban et Zidane, 1995), soit une augmentation de 24 mm pour chaque 100 m d'altitude. Concernant la température, nous avons retenu les gradients proposés par Seltzer (1946) : le premier relatif à la moyenne des températures minimales du mois le plus froid « m », estimé à 0,4 °C pour 100 m, et le second concernant la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud « M », évalué à 0,7 °C pour 100 m. Cette démarche a permis d'extrapoler les données climatiques initiales et d'obtenir des estimations plus représentatives des conditions locales des stations étudiées.

1-7-1 Les précipitations

La figure 10 (Annexe 1) illustre la répartition des précipitations mensuelles moyennes enregistrées au cours de la période 1991–2021 dans les quatre sites étudiés

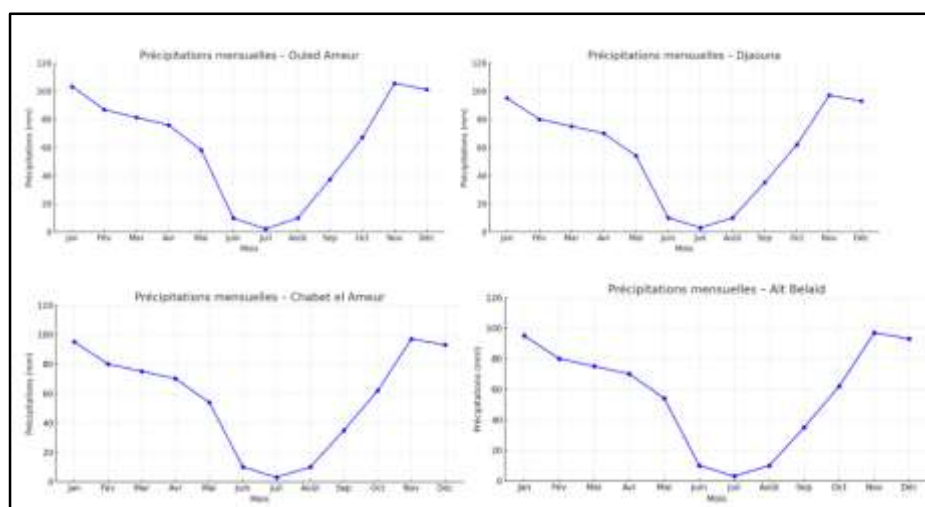


Figure 10. Précipitations mensuelles des stations d'étude (1991–2021) (<https://fr.climate-data.org/info/sources/>.)

On observe que le mois de novembre présente partout les valeurs les plus élevées, suivi de janvier puis de décembre. À l'inverse, le mois de juillet correspond au minimum pluviométrique, marquant une période de sécheresse estivale nette. Le site d'Ouled Aneur enregistre le cumul annuel le plus important (739,2 mm), tandis que les autres sites présentent des valeurs proches.

1-7-2 Les températures

Ce graphe (Figure 11 ; Annexe 1) illustre les variations mensuelles des températures enregistrées au cours de la période 1991–2021 dans les quatre sites étudiés

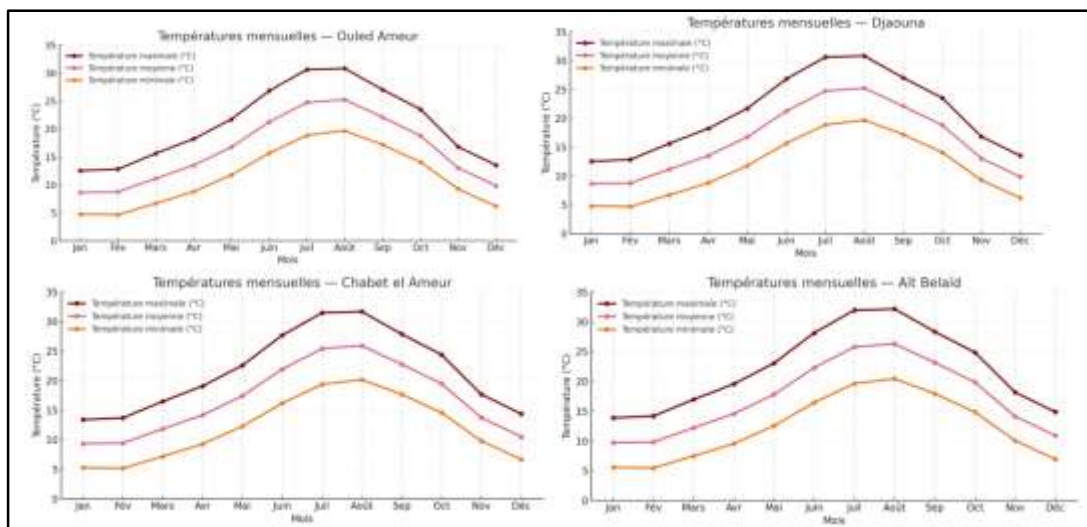


Figure 11. Évolution mensuelle des températures (°C) des stations d'étude (1991–2021)
([https://fr.climate-data.org/info/sources/.](https://fr.climate-data.org/info/sources/))

Les quatre sites présentent une évolution thermique similaire avec des températures minimales enregistrées en janvier et février, période la plus froide de l'année. À l'inverse, les mois de juillet et août correspondent aux valeurs les plus élevées, traduisant la saison estivale chaude. Dans l'ensemble, les profils sont très proches entre les stations et les écarts demeurent faibles.

1-7-3 Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953)

Il constitue un outil fondamental en bioclimatologie pour l'analyse et la caractérisation des régimes climatiques, en particulier dans les zones à climat méditerranéen. Il permet de représenter simultanément les températures et les précipitations mensuelles afin de délimiter les périodes de sécheresse. Un mois est considéré comme sec lorsque les précipitations mensuelles P , exprimées en millimètres, sont inférieures au double de la température moyenne mensuelle T , en degrés Celsius, soit $P < 2T$ (Bagnouls et Gausson, 1953).

Ce diagramme présente plusieurs avantages : il offre une visualisation simple et rapide des phases climatiques, il permet de comparer les régimes hydriques interannuels et il facilite l'identification des périodes critiques pour la végétation et l'agriculture. Il est largement utilisé en bioclimatologie, en écologie et en planification agricole pour évaluer les contraintes

climatiques et prévoir les réponses des écosystèmes face aux variations climatiques (Joly *et al.*, 2010 ; Vicente-Serrano *et al.*, 2013).

Les diagrammes ombrothermiques (Figure 12) montrent, pour l'ensemble des quatre sites étudiés, une saison sèche bien marquée qui s'étend de mi-mai à mi-septembre, soit une durée d'environ quatre mois. Cette période est caractérisée par de très faibles précipitations associées à des températures élevées, atteignant leur maximum en juillet et en août. En revanche, la saison humide s'étend d'octobre à mars, avec un pic de précipitations observé en novembre, accompagné de températures plus basses. Cette répartition saisonnière reflète un régime typiquement méditerranéen, alternant entre un été chaud et sec et un hiver doux et pluvieux.

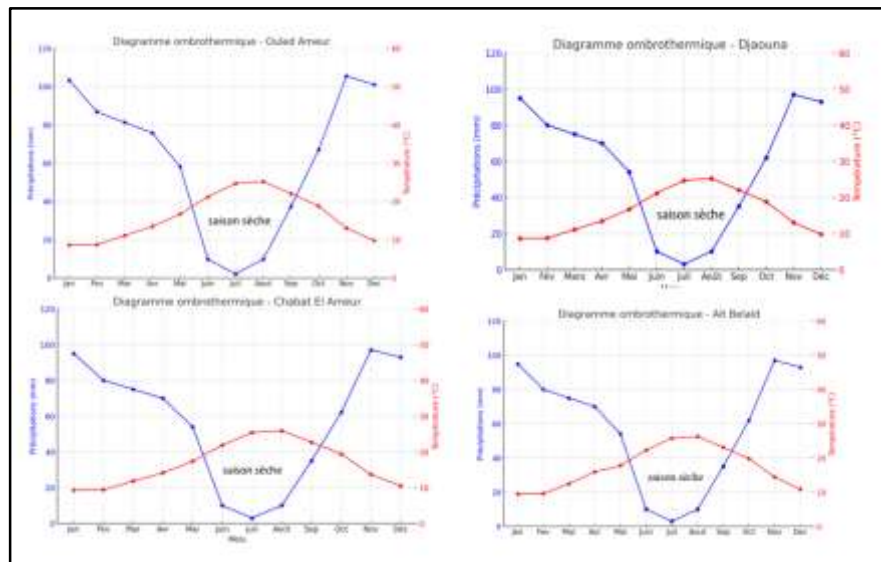


Figure 12. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953) des stations d'étude.

1-7-4 Le climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger (1955) est un outil utilisé pour déterminer l'étage bioclimatique d'une région en fonction des températures et des précipitations, en particulier dans les zones méditerranéennes. Il permet de caractériser le climat et d'en évaluer les implications écologiques, notamment en ce qui concerne le degré de sécheresse.

Le paramètre principal est le quotient pluviothermique Q_2 , calculé selon la formule suivante :

$$Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$$

Avec :

- **P** : précipitations annuelles moyennes en millimètres ;
- **m** : moyenne des températures minimales du mois le plus froid (Kelvin) K ;
- **M** : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (Kelvin) K.

Ce quotient permet de situer une région dans un étage bioclimatique précis, ce qui est essentiel pour l'étude des milieux naturels et des écosystèmes.

Le quotient pluviothermique d'Emberger calculé pour les quatre sites étudiés (Annexe 4) montre que Djaouna, Chabet el Aneur et Ait Belaid appartiennent à l'étage subhumide à hiver chaud, tandis que le site d'Ouled Aneur se situe à la limite de l'étage humide. L'étage subhumide à hiver chaud se caractérise par des précipitations modérées, des hivers doux et des étés secs et chauds, ce qui correspond aux conditions typiques d'un climat méditerranéen. Pour Ouled Aneur, son positionnement à la limite de l'humide reflète une pluviométrie plus importante que dans les autres sites, favorisant une végétation plus abondante. Le recours au diagramme d'Emberger permet ainsi de préciser les tendances climatiques locales, de mettre en évidence leurs similarités et d'en comprendre les implications écologiques, notamment sur la répartition de la végétation et les stratégies d'adaptation des espèces (Figure 13).

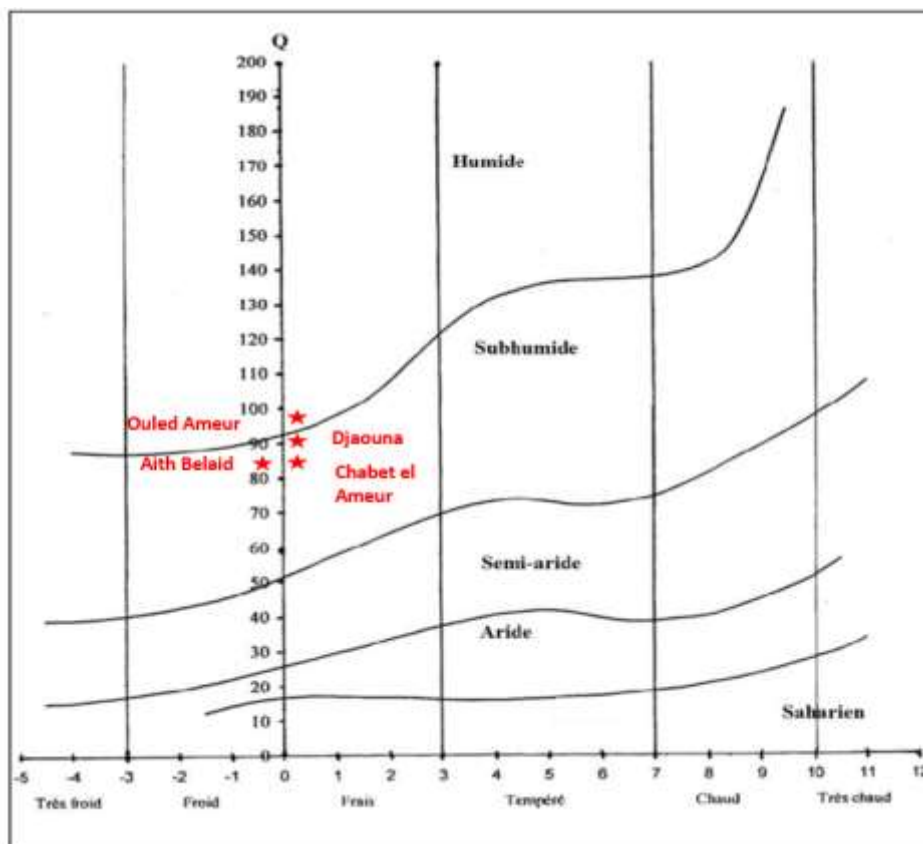


Figure13. Situation des stations d'étude sur le climagramme d'Emberger (1955)

1-8 La Végétation

Boumerdès se caractérise par une végétation variée, étroitement liée à sa situation géographique et à la diversité de ses reliefs (Figure 14). On observe une alternance de formations forestières, de maquis, de cultures arboricoles et de zones de culture extensive. Dans les zones montagneuses, dominées par un climat subhumide, prédominent les chênes (chêne-liège, chêne-zen) et le pin d'Alep, notamment sur les versants secs. Les piémonts et les collines abritent un maquis dense composé d'arbousiers, de lentisques, de cistes et de genêts. Dans les plaines notamment autour de la Mitidja orientale et des vallées de l'Isser et du Sebaou, la végétation naturelle a largement cédé la place aux cultures agricoles, comme les vergers d'agrumes et d'oliviers ainsi que les cultures maraîchères, profitant des sols fertiles et de l'abondance en eau. La bande littorale, quant à elle, présente une végétation adaptée aux conditions maritimes, avec des espèces halophiles et des fourrés littoraux (CNERU, 2012).

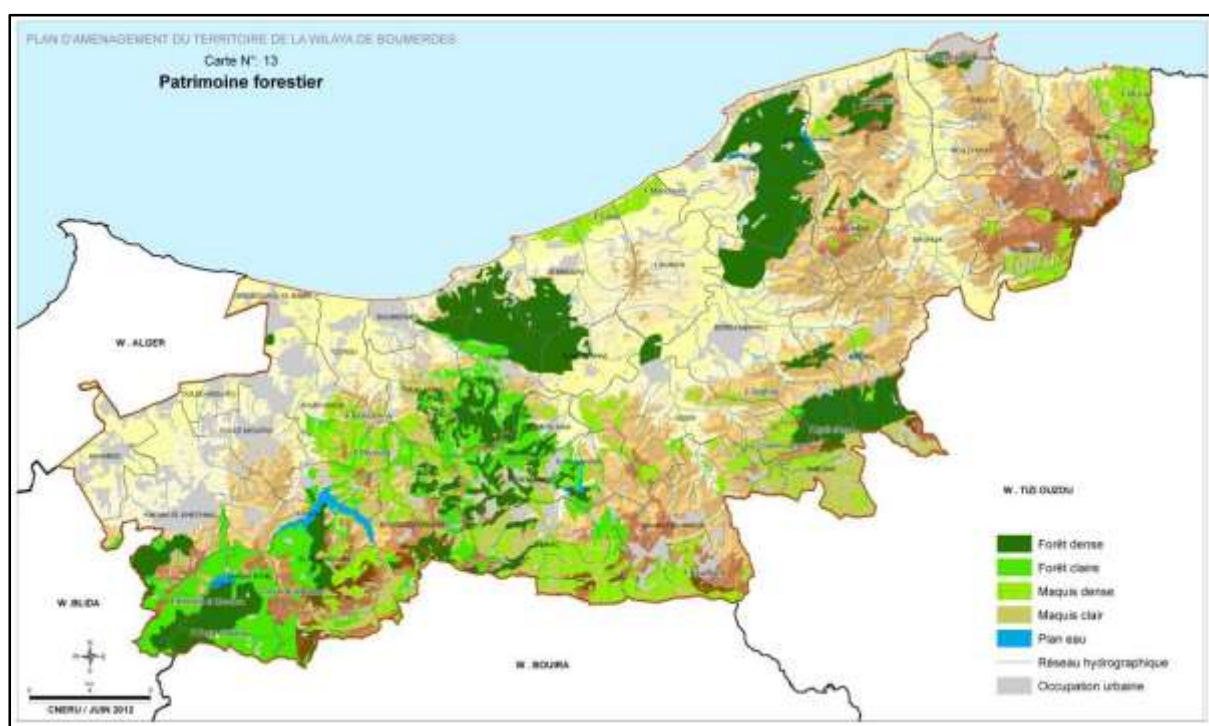


Figure 14. Répartition spatiale du patrimoine forestier (CNERU, 2012).

2- Méthodologie

2-1 Choix des sites échantillonnés

Dans le cadre de ce travail, quatre sites différents ont été sélectionnés pour l'étude morpho-fonctionnelle de *Z. lotus*. Répartis sur plusieurs communes de la wilaya, ces sites se distinguent par des caractéristiques écologiques variées (topographie, sol, exposition), ce qui permet de mieux appréhender la variabilité des traits morpho-fonctionnels de l'espèce (Tableau 1, Figure 15).

Tableau 1. Coordonnées géographiques et altitude des quatre stations d'études.

Daira	Commune	Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Bordj-Menaïel	Bordj-Menaïel	Ouled Aneur	36°47'25.674"N	3°47'11.446"E	337
Thénia	Souk El Had	Aith Belaid	36°40'51.701"N	3°37'26.893"E	146
Isser	Isser	Djaouna	36°41'22.204"N	3°38'12.105"E	336
Isser	Chabat El Aneur	Chabat El Aneur	36°38'38.713"N	3°42'48.337"E	217

**Figure 15.** Situation géographique des quatre sites d'étude sur la carte d'occupation du sol et des ressources de Boumerdès.

2-2 Echantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé sur quatre stations distinctes : le 08/05/2024 à Ouled Aneur, et le 08/06/2024 à Aith Belaid, Djaouna et Chabat El Aneur, par une équipe encadrée par l'enseignante responsable (Figure 16). 10 individus de *Z. lotus* ont été sélectionnés par station, soit un total de 40 individus, espacés d'environ 100 mètres les uns des autres. Pour chaque individu, les feuilles ont été prélevées en veillant à couvrir l'ensemble de l'arbre, depuis les branches inférieures jusqu'aux parties supérieures, et sur différents côtés de la canopée, afin d'éviter un prélèvement localisé et de garantir la représentativité de l'échantillon. Après le prélèvement, les échantillons ont été placés dans des sacs de congélation hermétiques contenant de l'eau distillée et conservés dans une glacière isotherme, jusqu'au transfert au laboratoire (afin de préserver la structure des feuilles et éviter leur altération). Plusieurs caractéristiques ont été mesurées, à la fois au niveau de l'arbre (hauteur et largeur de la canopée) et au niveau

des feuilles (poids frais, poids sec, surface foliaire, longueur, largeur, épaisseur, indices SLA et LDMC).



Figure 16. Échantillonnage de *Z. lotus* sur le terrain.

2-3 Mesure des traits fonctionnels

Les traits fonctionnels correspondent à des caractéristiques morphologiques, physiologiques et phénologiques mesurables à l'échelle de l'individu, qui influencent sa survie, sa croissance et sa reproduction (Violle et *al.*, 2007 ; Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2013). Ils fournissent des indications précieuses sur la manière dont les espèces interagissent avec leur environnement et adoptent des stratégies adaptatives (Cornelissen et *al.*, 2003). Dans ce travail, les mesures des traits fonctionnels visent à évaluer comment *Z. lotus* répond aux variations écologiques, afin de mieux comprendre son fonctionnement et ses stratégies d'adaptation. Huit paramètres morpho-fonctionnels ont été mesurés au total, à la fois au niveau de l'arbre (hauteur maximale et largeur de la canopée) et au niveau des feuilles (épaisseur, longueur, largeur, surface foliaire, ainsi que les indices SLA (Specific Leaf Area) et LDMC (Leaf Dry Matter Content)). Une fois au laboratoire, 30 feuilles ont été soigneusement sélectionnées pour chaque individu, soit un total exact de 300 feuilles par station et 1 200 feuilles pour l'ensemble des quatre stations.

2-3-1 Mesures au niveau de l'arbre (hauteur et largeur de la canopée)

La hauteur d'un individu correspond à la distance verticale entre le sol et la limite supérieure des tissus photosynthétiques principaux, en excluant les inflorescences. Elle a été mesurée en mètres (H_{max}) à l'aide d'un décimètre, du niveau du sol jusqu'au sommet de la plante.

La canopée représente l'envergure horizontale de la couronne végétale. Elle a été mesurée en mètres à l'aide d'un décimètre tendu d'un côté à l'autre de la couronne, selon deux directions perpendiculaires. Les deux mesures ont permis d'estimer plus précisément l'étendue totale de la canopée.

2-3-2 Mesures de l'épaisseur, de la longueur et de la largeur du limbe

Les 30 feuilles sélectionnées par individu ont été séparées de leur pétiole, puis essuyées à l'aide de papier absorbant pour éliminer l'excès d'humidité. L'épaisseur, la longueur et la largeur du limbe ont ensuite été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse, avec une précision au millimètre (Figure 17).



Figure 17. Mesure de l'épaisseur, de la longueur et de la largeur des feuilles à l'aide d'un pied à coulisse électronique (précision au millimètre).

2-3-3 Mesure de la Surface foliaire

La détermination de la surface foliaire s'est déroulée en deux étapes. Tout d'abord, les feuilles ont été scannées à l'aide d'un scanner CANON LIDE 110, permettant d'obtenir des images numériques claires et précises (Figure 18A). Un papier millimétré a été placé à côté des feuilles lors de la numérisation afin de calibrer le logiciel Mesurim Pro version 3.4 (2013), utilisé pour l'analyse (Figure 18B). Après la calibration, des points ont été placés sur l'ensemble de la surface des feuilles à l'aide des outils de dessin disponibles dans le logiciel. La superficie en cm^2 a été calculée automatiquement par Mesurim (Figure 19A, B) puis convertie en millimètres carrés (mm^2) pour permettre le calcul de l'indice SLA.



Figure 18. (A) : Scanner des feuilles, (B) : feuilles scannées sur papier millimétré

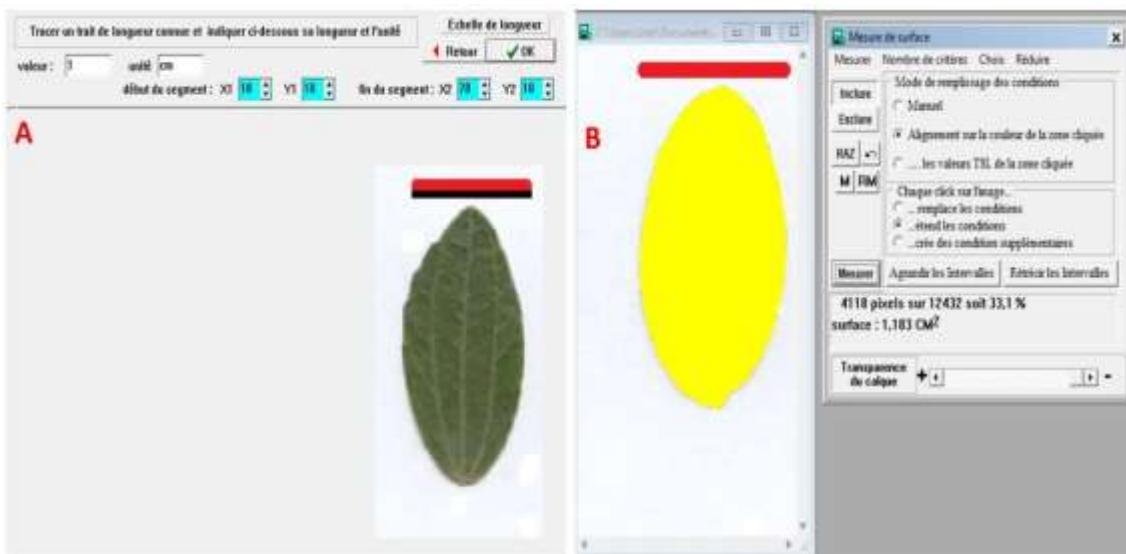


Figure 19. Mesure de la surface foliaire à l'aide du logiciel Mesurim Pro.

2-3-4 Indices SLA (Specific Leaf Area) ET LDMC (Leaf Dry Matter Content)

Le Specific Leaf Area (SLA) est défini comme le rapport entre la surface foliaire (mm^2) et la masse sèche des feuilles (mg) (Pérez-Harguindeguy et al., 2016). Le Leaf Dry Matter Content (LDMC) correspond à la proportion de matière sèche dans les feuilles par rapport à leur masse fraîche et se calcule en divisant le poids sec (mg) par le poids frais (g). Ces deux indices sont des paramètres clés en écologie végétale, permettant de mieux comprendre les stratégies adaptatives des plantes face à leur environnement (Cornelissen et al., 2003).

Pour le calcul de ces indices, des mesures précises ont été réalisées au laboratoire :

- **Poids frais** : Le poids frais de chaque feuille a été mesuré à l'aide d'une balance scientifique (précision : 0,001 g) (Figure 20) ;
- **Séchage** : Les feuilles ont ensuite été placées dans des sacs en papier, à l'abri de l'humidité, jusqu'à obtention d'un poids constant, assurant une dessiccation complète pour une durée de deux mois ;
- **Poids sec** : Le poids sec de chaque feuille a été mesuré avec la même balance scientifique ;
- **Calculs** :
 - $SLA = \text{surface foliaire (mm}^2) / \text{poids sec (mg)}$;
 - $LDMC = \text{poids sec (mg)} / \text{poids frais (g)}$.



Figure 20. Mesure du poids des feuilles à l'aide d'une balance scientifique.

2-4 Analyses statistiques

2-4-1 Analyses de variance (ANOVA)

L'ANOVA (Analysis of Variance) est une méthode statistique permettant de tester si des moyennes diffèrent significativement entre plusieurs groupes en comparant la variance expliquée par un modèle à la variance résiduelle non expliquée. Elle examine ainsi si la variation observée entre les groupes est supérieure à celle que l'on attendrait par simple hasard. (Field, 2013). Un test ANOVA est jugé significatif lorsque la valeur p ainsi que le rapport F atteignent un seuil défini. La valeur p indique le seuil de signification du test, et une valeur de

0.05 signifie qu'il existe 5 % de chances que les relations observées soient le fruit du hasard. C'est ce seuil qui a été adopté dans le cadre de ce mémoire. Le rapport F permet de comparer les variances entre groupes (inter-groupes) et à l'intérieur des groupes (intra-groupes) ; une valeur F élevée indique que le facteur testé a probablement un effet significatif (Andrade, 2019).

Avant de réaliser l'ANOVA, la normalité des huit variables étudiées (H_{max} , largeur de la canopée, surface foliaire, épaisseur, longueur et largeur des feuilles, indices SLA et LDMC) a été vérifiée grâce au test de Shapiro-Wilk et à l'analyse visuelle des graphiques QQ plots (Annexe 2). Les résultats ont montré que l'hypothèse de normalité n'était pas respectée. L'homogénéité des variances n'a pas été également satisfaite. Par ailleurs, nos données présentent des valeurs aberrantes ce qui nous poussés à appliquer une robuste ANOVA en utilisant le package *WRS2* (Mair et Wilcox, 2020) du logiciel RStudio pour chacune des variables. En cas de différences significatives, un test post-hoc est utilisé pour déterminer les stations qui diffèrent entre elles.

2-4-2 Analyses de corrélation

L'analyse de corrélation est une méthode statistique visant à quantifier la force et la direction de la relation entre deux variables quantitatives (X et Y), tout en évaluant sa signification statistique à l'aide de la valeur p . Le coefficient de corrélation, dont l'amplitude varie entre -1 et +1, permet de déterminer si la relation linéaire est positive ou négative. Plus ce coefficient s'approche de ± 1 , plus la liaison entre les variables est forte, tandis qu'une valeur nulle ($r = 0$) traduit l'absence de corrélation (Schober, 2018).

Dans le cadre de notre étude, nous avons réalisé une matrice de corrélation de l'ensemble des variables ainsi que des corrélations séparées pour celles qui étaient hautement significatives.

Chapitre 3

Résultats et Discussions

1- Résultats des statistiques descriptives des traits fonctionnels par station

Dans le cadre de notre travail, une analyse statistique descriptive a été réalisée afin d'identifier la variabilité des traits étudiés, aussi bien entre les stations qu'au sein de chacune d'elles. Cette étape repose sur l'utilisation d'indicateurs simples tels que le nombre d'échantillons, la moyenne et l'écart-type, permettant de résumer les valeurs mesurées pour chaque paramètre. L'échantillonnage total porte sur 40 individus, répartis équitablement sur les quatre stations, avec 30 feuilles analysées par individu, soit un total de 1 200 feuilles. L'utilisation de ces outils statistiques vise à mettre en évidence d'éventuelles différences morpho-fonctionnelles en lien avec les conditions écologiques spécifiques à chaque station, afin de mieux comprendre les stratégies d'adaptation de l'espèce dans son environnement. L'ensemble des résultats obtenus est présenté dans le tableau ci-dessus (Tableau 2).

Tableau 2. Statistiques descriptives (moyenne \pm écart-type) des traits morphologiques et fonctionnels de *Z. lotus* selon les stations d'étude.

Variables	Aith Belaid	Chabat El Aneur	Djaouna	Ouled Aneur
Hauteur(m)	2.43 \pm 1.224	2.93 \pm 1.242	4.07 \pm 1.756	1.93 \pm 0.641
Diamètre(m)	2.01 \pm 0.771	1.94 \pm 0.618	2.11 \pm 0.998	4.60 \pm 2.282
Epaisseur (mm)	0.197 \pm 0.029	0.142 \pm 0.029	0.186 \pm 0.029	0.146 \pm 0.021
Longueur (mm)	16.959 \pm 3.511	17.651 \pm 2.378	17.919 \pm 2.739	21.759 \pm 4.418
Largeur (mm)	9.923 \pm 2.034	10.074 \pm 1.729	10.063 \pm 2.040	12.493 \pm 4.003
Surface foliaire (mm ²)	114.526 \pm 37.515	123.687 \pm 33.923	124.131 \pm 40.152	191.821 \pm 109.452
SLA (mm ² /mg)	10.547 \pm 2.176	10.362 \pm 1.409	10.366 \pm 1.504	11.304 \pm 2.246
LDMC (mg/g)	413.072 \pm 56.128	416.155 \pm 50.677	395.824 \pm 60.692	377.346 \pm 44.980

1-2 La Hauteur (H_{max})

La station de Djaouna présente la valeur la plus élevée pour la hauteur des individus, avec une moyenne de 4.07 \pm 1.756 m, ce qui pourrait s'expliquer par une compétition verticale plus marquée. Des valeurs intermédiaires sont relevées à Chabat El Aneur (2.93 \pm 1.242 m) et à Ait Belaid (2.43 \pm 1.224 m), avec des écarts-types similaires, traduisant une croissance modérée. Tandis que la hauteur la plus faible est observée à Ouled Aneur (1.93 \pm 0.641 m), avec une variabilité réduite, suggérant une dynamique de croissance plus limitée. Cette répartition différente reflète des différences dans les conditions environnementales locales de chaque station.

1-2 Diamètre de la canopée

Le diamètre moyen de la canopée varie entre les stations, avec un écart particulièrement marqué à Ouled Aneur. La valeur la plus élevée est enregistrée dans cette station avec 4.60 \pm 2.282 m, ce qui la distingue nettement des autres. Elle est suivie de Djaouna (2.11 \pm 0.998 m), puis d'Ait Belaid (2.01 \pm 0.771 m) et de Chabat El Aneur (1.94 \pm 0.618 m), dont les moyennes restent

relativement proches. Cette différence souligne une canopée plus développée à Ouled Ameer. On observe également, à travers les écarts-types élevés à Ouled Ameer et Djaouna, une forte dispersion des valeurs mesurées. Cela suggère que les individus de ces deux stations présentent des tailles de canopée plus contrastées, tandis qu'à Ait Belaid et Chabat El Ameer, les valeurs sont plus homogènes.

1-3 L'épaisseur foliaire

L'épaisseur moyenne des feuilles varie légèrement entre les stations. La valeur la plus élevée est enregistrée à Ait Belaid avec 0.197 ± 0.029 mm, suivie de Djaouna (0.186 ± 0.029 mm), puis d'Ouled Ameer (0.146 ± 0.021 mm) et de Chabat El Ameer (0.142 ± 0.029 mm), qui présentent les valeurs les plus faibles. Les écarts-types, relativement bas et proches d'une station à l'autre, indiquent une faible dispersion des mesures, ce qui traduit une certaine homogénéité pour ce paramètre. Cette homogénéité pourrait être liée au contexte subhumide des stations étudiées, dans lequel l'épaississement foliaire est généralement limité.

1-4 Longueur des feuilles

La station d'Ouled Ameer présente la longueur foliaire la plus élevée, avec une valeur moyenne de 21.759 ± 4.418 mm, ce qui reflète un développement marqué de ce paramètre dans cette station. Elle est suivie de Djaouna (17.919 ± 2.739 mm) et de Chabat El Ameer (17.651 ± 2.378 mm), qui affichent des longueurs relativement similaires. Enfin, la valeur la plus faible est enregistrée à Ait Belaid, avec 16.959 ± 3.511 mm.

1-5 Largeur des feuilles

La largeur suit une tendance comparable. Ouled Ameer se distingue à nouveau avec la valeur la plus élevée, soit 12.493 ± 4.003 mm, traduisant un développement plus accentué dans cette station. Les autres sites présentent des mesures assez proches : Djaouna (10.063 ± 2.040 mm), Chabat El Ameer (10.074 ± 1.729 mm) et Ait Belaid (9.923 ± 2.034 mm). Ce contraste entre les stations pourrait témoigner de facteurs locaux particuliers.

1-6 La surface foliaire

La station d'Ouled Ameer présente la plus grande surface foliaire avec une valeur de 191.821 ± 109.452 mm², ce qui confirme la tendance déjà observée pour la longueur et la largeur. Cette distribution suggère un développement foliaire plus marqué dans cette station. À l'opposé, la valeur la plus faible est enregistrée à Aith Belaid avec 114.526 ± 37.515 mm², tandis que les stations de Chabat El Ameer (123.687 ± 33.923 mm²) et Djaouna (124.131 ± 40.152 mm²) présentent des valeurs similaires. Cette tendance pourrait être liée à des conditions locales favorables à l'expansion foliaire, telles qu'une meilleure disponibilité en ressources ou une moindre contrainte environnementale.

1-7 La surface foliaire spécifique (SLA)

Les valeurs de SLA sont globalement proches entre les stations, avec une légère augmentation à Ouled Ameer (11.304 ± 2.246 mm²/mg), suivie de Aith Belaid (10.547 ± 2.176 mm²/mg), Djaouna (10.366 ± 1.504 mm²/mg) et Chabat El Ameer (10.362 ± 1.409 mm²/mg). En ce qui concerne Djaouna et Chabat El Ameer, leurs valeurs sont très proches. Les écarts-types sont

modérés, traduisant une certaine variabilité, notamment à Ouled Ameer. Cette tendance observée à Ouled Ameer peut indiquer une stratégie d'acquisition rapide des ressources, souvent associée à des feuilles fines et à une croissance accélérée, tandis que les valeurs plus faibles peuvent être liées à une structure foliaire plus dense et plus durable

1-8 La teneur en matière sèche (LDMC)

Le LDMC montre une tendance inverse à celle du SLA. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées à Chabat El Ameer (416.155 ± 50.677 mg/g) et à Aith Belaid (413.072 ± 56.128 mg/g), traduisant une teneur plus importante en matière sèche dans ces deux stations. Djaouna affiche une valeur intermédiaire (395.824 ± 60.692 mg/g), tandis que Ouled Ameer présente la valeur la plus faible (377.346 ± 44.980 mg/g), avec un écart-type légèrement plus faible. Cette configuration reflète le contraste entre les deux traits : un SLA légèrement plus élevé à Ouled Ameer est associé à un LDMC plus faible, ce qui peut traduire une stratégie tournée vers une croissance rapide au détriment de la durabilité tissulaire, contrairement aux autres stations.

2- Résultats de l'ANOVA (analyse de variance) des traits morphologiques et fonctionnels selon les stations

Afin de déterminer si les traits morphologiques et fonctionnels de *Z. lotus* varient significativement d'une station à l'autre, une analyse statistique comparative a été menée (Tableau 3). Il s'agit d'une ANOVA à un facteur en utilisant le package WRS2. Ce test permet de comparer les moyennes des différentes stations pour chaque variable étudiée. L'interprétation des résultats repose sur la valeur p, comparée au seuil de signification $\alpha = 0,05$: Une valeur inférieure à ce seuil indique une différence statistiquement significative entre les stations. Ces différences permettent de mettre en évidence l'existence d'une variabilité morpho-fonctionnelle inter-stationnelle potentiellement liée à des conditions environnementales locales.

Tableau 3. Résultats du test ANOVA appliqué aux traits morphologiques et fonctionnels de *Z. lotus* entre les différentes stations.

Variables	Anova (F)	p-value	Significativité
Hauteur(m)	113.51	P<0.0001	Très hautement significative
Diamètre(m)	117.22	P<0.0001	Très hautement significative
Epaisseur (mm)	303.31	P<0.0001	Très hautement significative
Longueur (mm)	71.78	P<0.0001	Très hautement significative
Largeur (mm)	18.98	P<0.0001	Très hautement significative
Surface foliaire (mm ²)	38.60	P<0.0001	Très hautement significative
SLA (mm ² /mg)	9.31	P<0.0001	Très hautement significative
LDMC (mg/g)	55.23	P<0.0001	Très hautement significative

Après avoir mis en évidence des différences significatives à l'aide de l'analyse de variance, un test post-hoc a été réalisé afin d'identifier des différences spécifiques entre les stations (tableau). Ce travail a été complété par la réalisation de boîtes à moustaches (boxplots), permettant une meilleure visualisation de la distribution des données et de faciliter l'interprétation des

variations observées pour chaque paramètre étudié. Seules les comparaisons non significatives ($p \geq 0.05$) sont présentées dans le tableau ci-dessous, toutes les autres étant statistiquement significatives.

Tableau 4. Comparaisons non significatives entre stations

Variabes	Station	p-value
Diamètre(m)	Ouled Ameer vs. Djaouna	0.46745
Longueur (mm)	Ait Belaid vs. Djaouna	0.21035
Largeur (mm)	Ouled Ameer vs. Ait Belaid	0.94157
	Ouled Ameer vs. Djaouna	0.40735
	Ait Belaid vs. Djaouna	0.46077
Surface foliaire (mm ²)	Ait Belaid vs. Djaouna	0.48414
SLA (mm ² /mg)	Ouled Ameer vs. Ait Belaid	0.56761
	Ouled Ameer vs. Djaouna	0.38063
	Ait Belaid vs. Djaouna	0.70117

2-1 La hauteur (H_{max})

L'analyse de variance révèle une très forte différence significative entre les stations ($F = 113.51$; $p < 0.0001$), comme l'illustre la boîte à moustaches (Figure 21), traduisant une variabilité marquée de la hauteur de *Z. lotus* selon les sites étudiés. Djaouna se distingue par une hauteur nettement plus élevée (6m), ce qui pourrait être attribué à une compétition intraspécifique et interspécifique pour la lumière, renforcée par la proximité des habitations et une densité végétale importante. Dans ce type de contexte, l'allongement vertical représente une stratégie efficace pour échapper à l'ombrage et optimiser l'accès à la lumière, comme cela a été montré dans des communautés d'arbustes soumis à des pressions compétitives asymétriques (Brown et Cahill, 2022). Les stations de Chabet El Ameer et Ait Belaid présentent des valeurs intermédiaires, pouvant refléter une pression compétitive plus modérée. Un enrichissement local du sol en éléments comme le potassium ou le magnésium pourrait également intervenir en soutenant l'élongation cellulaire et la régulation hydrique, contribuant ainsi à la croissance verticale des axes ligneux (White et al., 2017). Enfin, à Ouled Ameer, la faible hauteur mesurée suggère que les individus adoptent une stratégie d'adaptation différente : en l'absence de pression lumineuse forte, l'investissement dans la croissance verticale est limité au profit d'autres fonctions, telles que le développement latéral ou reproductif. Cette variabilité morphologique témoigne d'une plasticité adaptative, mécanisme bien documenté chez de nombreuses espèces ligneuses, leur permettant d'ajuster leur structure en fonction des contraintes biotiques et abiotiques locales (Valladares et al., 2007).

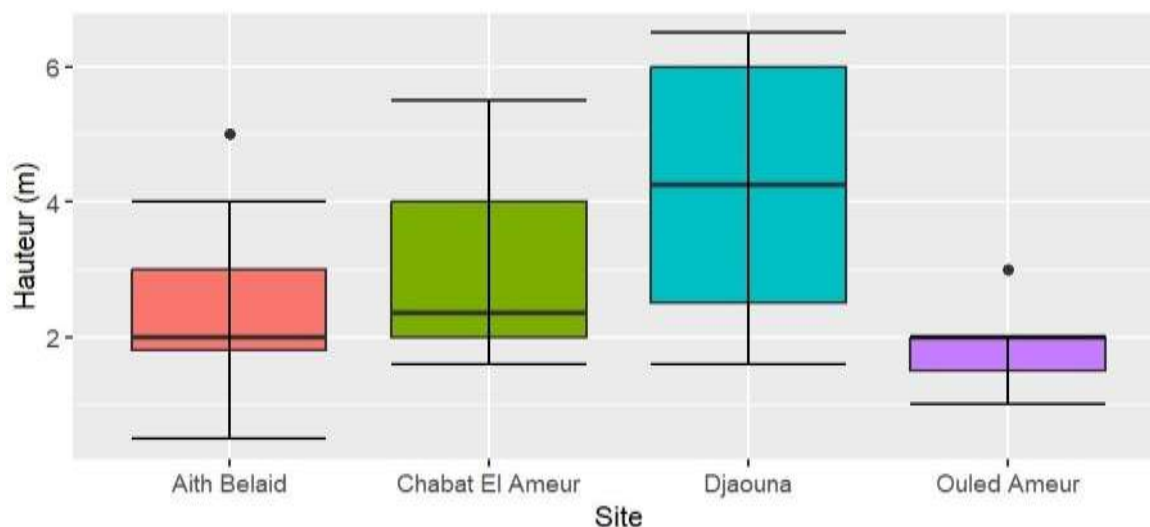


Figure 21. Variation de la hauteur maximale (H_{\max}) de *Z. lotus* dans les quatre stations étudiées.

2-2 Diamètre de la canopée

L'analyse de variance indique une très forte différence significative entre les stations ($F= 117.22$; $p < 0.0001$), comme le montre la figure 22. À Ouled Aneur, la largeur de la canopée est nettement plus élevée que dans les autres sites, ce qui pourrait traduire une moindre densité de végétation et une compétition lumineuse réduite. Dans ce type d'environnement plus ouvert, les individus disposent d'un espace latéral suffisant, favorisant un étalement horizontal de la canopée. Ce développement architectural permet une maximisation de la surface photosynthétique et une meilleure captation de lumière. A l'inverse, dans les stations de Djaouna, Ait Belaid et Chabet El Aneur, la canopée est plus réduite, ce qui peut indiquer des contraintes liées à une plus forte densité végétale ou à un espace restreint.

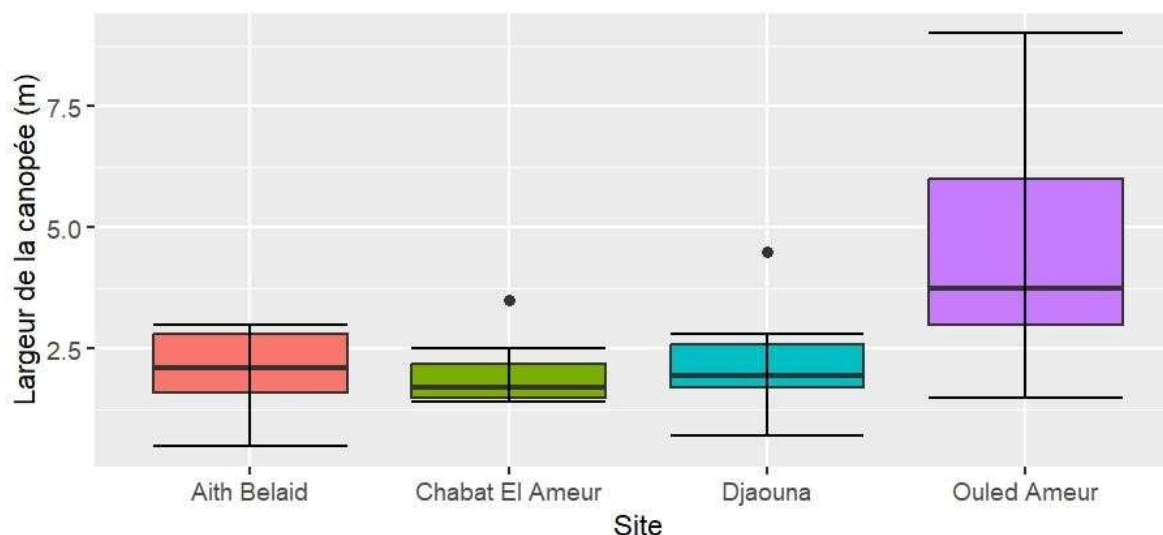


Figure 22. Variation de la largeur de la canopée de *Z. lotus* dans les quatre stations étudiées.

2-3 l'épaisseur foliaire

L'analyse de variance révèle une différence très hautement significative de l'épaisseur foliaire entre les stations étudiées ($F = 303.31$; $p < 0.0001$). Le boxplot (Figure 23) met en évidence une supériorité des valeurs enregistrées à Ait Belaid et Djaouna, avec des médianes élevées et des dispersions relativement contenues. À l'inverse, les stations de Chabat El Aneur et Ouled Aneur présentent des valeurs globalement plus faibles, Ces différences, bien que significatives, traduisent une amplitude de variation modérée, probablement influencée par des micro-variations locales telles que l'exposition solaire, la texture du sol ou l'humidité à l'échelle fine du site.

L'épaisseur foliaire est considérée comme un trait adaptatif, souvent mobilisé par les plantes pour faire face à des contraintes environnementales spécifiques. Pérez-Harguindeguy et *al.* (2013) mettent en évidence son rôle dans la réduction des pertes hydriques en contexte de sécheresse, Homa (2022) insiste sur le fait qu'une forte épaisseur est typique des milieux arides, où le stress hydrique est particulièrement marqué. Pour Liu et *al.* (2020), ce caractère tend également à s'accroître en altitude, en réponse à l'intensité du rayonnement ultraviolet et aux températures froides. Torres-García et *al.* (2021), quant à eux, soulignent que ce trait peut être modulé à une échelle très fine, en fonction des pressions micro-environnementales rencontrées. Dans notre cas, l'absence de sécheresse marquée, de stress hydrique important et de contrastes altitudinaux notables pourrait expliquer que l'épaisseur foliaire reste globalement modérée, avec des valeurs inférieures à 0,25 mm. Une telle finesse des feuilles suggère que les conditions environnementales locales ne requièrent pas un épaissement particulier des tissus pour limiter les pertes hydriques ou faire face à un stress intense.

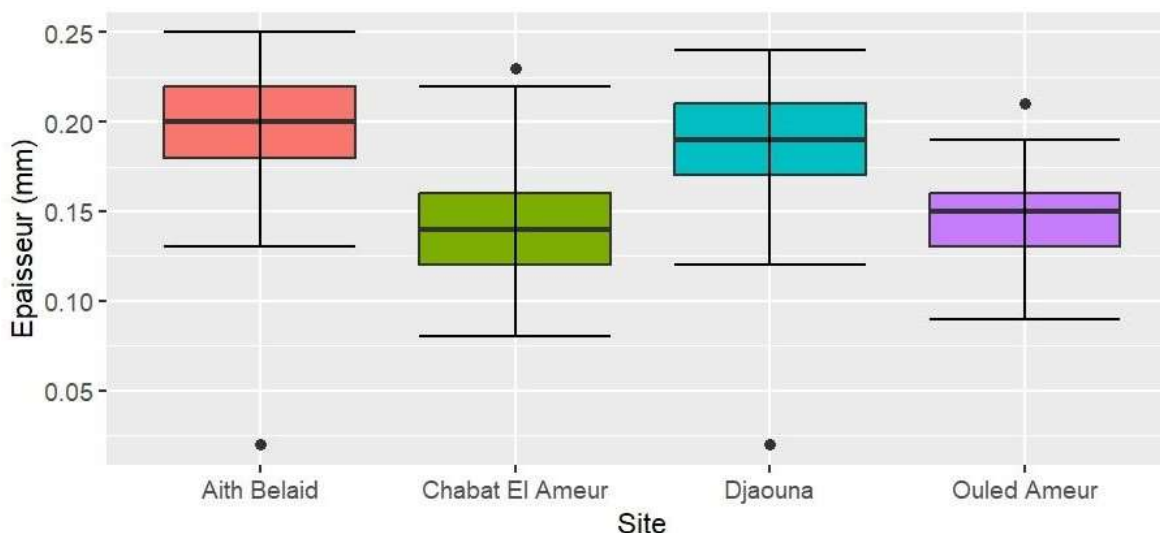


Figure 23. Variation de l'épaisseur foliaire de *Z. lotus* dans les quatre stations étudiées.

2- 4 Longueur des feuilles

L'analyse de variance met en évidence une différence très hautement significative de la longueur foliaire entre les stations étudiées ($F = 71.78$; $p < 0.0001$). La figure 24 montre que Les feuilles les plus longues sont observées à Ouled Ameur, suivies de celles d'Aith Belaid, puis de Djaouna, et enfin, les plus courtes sont mesurées à Chabat El Ameur. L'allongement des feuilles à Ouled Ameur peut s'expliquer par un environnement plus ouvert, une densité végétale plus faible ou une disponibilité lumineuse accrue, conditions qui favorisent généralement le développement en longueur des feuilles. Ce type de réponse est courant chez les plantes exposées à un ensoleillement direct, car il leur permet d'augmenter leur surface de capture de la lumière et d'optimiser leur rendement photosynthétique (Niinemets, 2010). En revanche, dans les milieux à végétation plus dense, les feuilles ont tendance à être plus courtes en raison d'une compétition accrue pour la lumière et d'une allocation différente des ressources (Poorter et *al.*, 2009).

Cette variabilité reflète une plasticité morphologique de *Z. lotus*, qui ajuste la longueur de ses feuilles en fonction des pressions microclimatiques telles que l'exposition solaire, la densité du couvert végétal ou la disponibilité en nutriments.

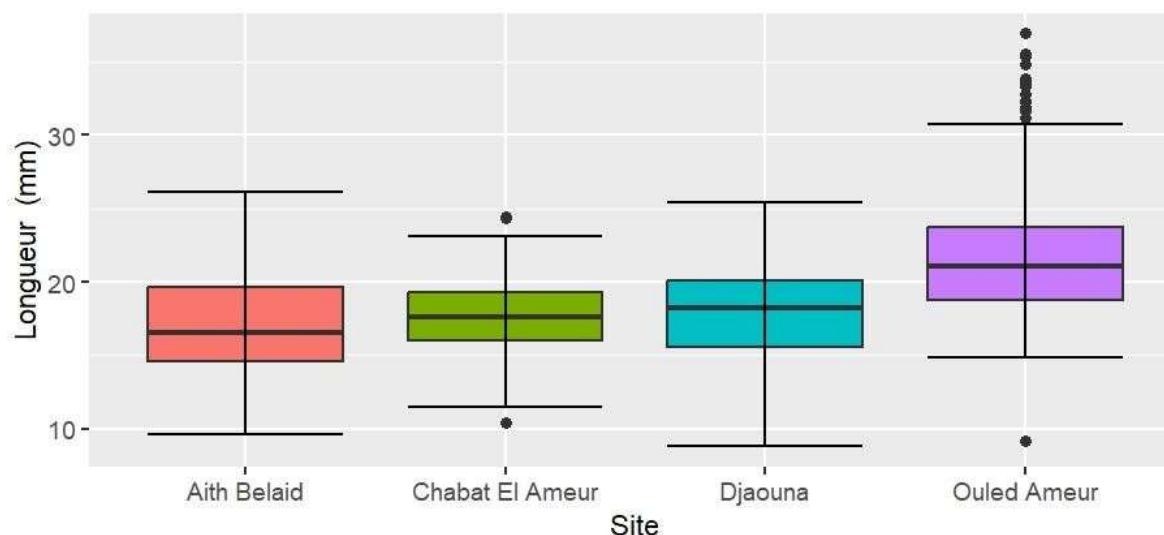


Figure 24. Variation de la Longueur des feuilles de *Z. lotus* dans les quatre stations étudiées.

2-5 Largeur foliaire

L'analyse de variance indique une différence très hautement significative de la largeur foliaire entre les stations étudiées ($F = 18.98$; $p < 0.0001$). Les feuilles les plus larges sont observées à Ouled Ameur, suivie de Djaouna, puis de Chabat El Ameur et enfin Aith Belaid, où les valeurs sont les plus faibles (Figure 25). Toutefois, aucune différence significative n'est observée entre, (Ouled Ameur vs Ait Belaid, Ouled Ameur vs Djaouna, Ait Belaid vs Djaouna) suggérant une relative homogénéité entre ces stations pour ce paramètre (Tableau 5). D'un point de vue écologique, cette distribution est corrélée à celle observée pour la longueur foliaire.

L'élargissement des feuilles à Ouled Ameer pourrait refléter une architecture foliaire plus développée, favorisée par un couvert végétal moins dense et une meilleure exposition lumineuse. La forte dispersion des valeurs observée dans cette station témoigne d'une variabilité intra-stationnelle, possiblement influencée par des hétérogénéités micro-environnementales locales de ce site.

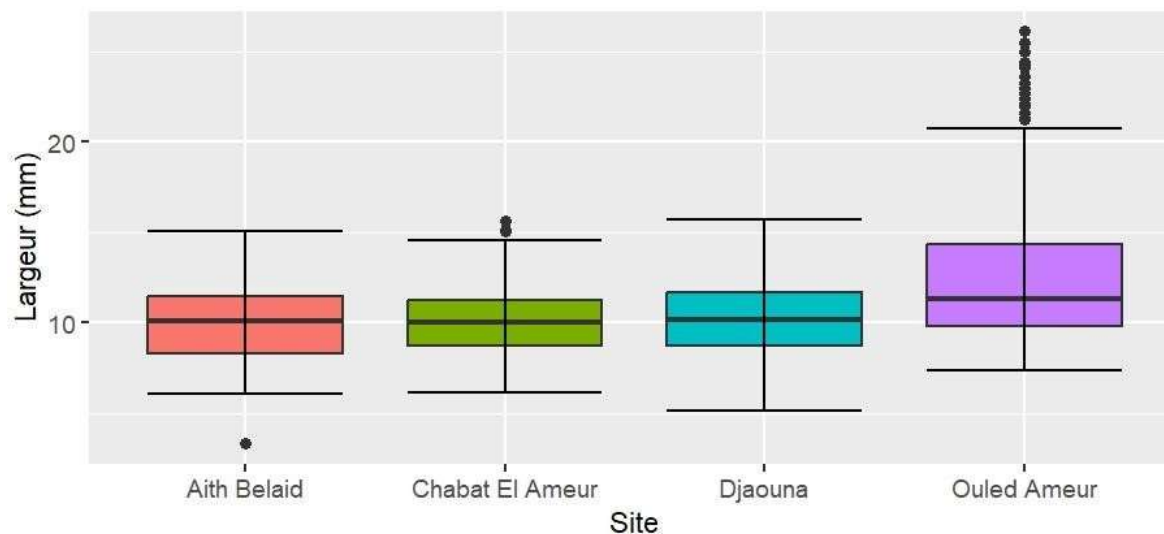


Figure 25. Variation de la Largeur des feuilles de *Z. lotus* dans les quatre stations étudiées.

2-6 La surface foliaire

L'analyse de variance indique une différence très hautement significative de la surface foliaire entre les stations étudiées ($F = 9.31$; $p < 0.0001$). La station d'Ouled Ameer se distingue nettement par des valeurs particulièrement élevées, accompagnées de plusieurs valeurs aberrantes (Figure 26), traduisant une hétérogénéité morphologique interne marquée. Cette variabilité pourrait résulter d'un ensemble de facteurs micro environnementaux favorables, incluant une meilleure exposition lumineuse, une faible densité du couvert végétal, ou encore une moindre compétition racinaire et foliaire, qui favorisent l'expansion des limbes. De plus, la grande surface foliaire observée peut être associée à une stratégie de croissance rapide, typique d'espèces cherchant à maximiser l'assimilation photosynthétique dans des milieux à ressources modérément stables (Poorter et al., 2009 ; Wright et al., 2004).

Chez *Z. lotus*, cette plasticité morphologique est aussi en partie expliquée par son caractère hétérophylle, c'est-à-dire la capacité à produire des feuilles de formes et de tailles différentes sur un même individu, voire sur une même ramification (Torres-García et al., 2021). Cette hétérophylle fonctionnelle permet à l'espèce d'optimiser sa physiologie selon les gradients de lumière, de température ou d'humidité à l'échelle micro-locale. Par exemple, les feuilles plus grandes situées à l'extérieur de la canopée maximisent la capture lumineuse, tandis que des feuilles plus petites ou épaisses à l'intérieur limitent les pertes hydriques ou protègent contre la surcharge thermique (Niinemets, 2001 ; Sack et al., 2003). Ainsi, les valeurs élevées enregistrées à Ouled Ameer pourraient témoigner d'une combinaison synergique entre hétérophylle, architecture aérienne favorable et conditions édaphiques localement optimales, renforçant le développement foliaire.

En revanche, les stations de Chabet El Aneur, Djaouna et surtout Ait Belaid, qui présente les valeurs les plus réduites, traduisent une autre forme d'ajustement adaptatif. Cette réduction de surface pourrait s'expliquer par des contraintes écologiques locales, telles qu'un ombrage plus marqué, une densité végétale accrue, ou des facteurs internes comme une possible variabilité génétique entre les individus ou des différences d'âge au sein des populations étudiées. Dans ce contexte, la réduction de la surface foliaire peut permettre à la plante de limiter la transpiration et de mieux gérer son bilan hydrique, tout en maintenant une photosynthèse minimale efficace (Niinemets et Valladares, 2006). Cette variabilité intra-spécifique de la surface foliaire, observée dans un même bioclimat, traduit donc la souplesse écologique de *Z. lotus* face à de subtiles variations de son habitat.

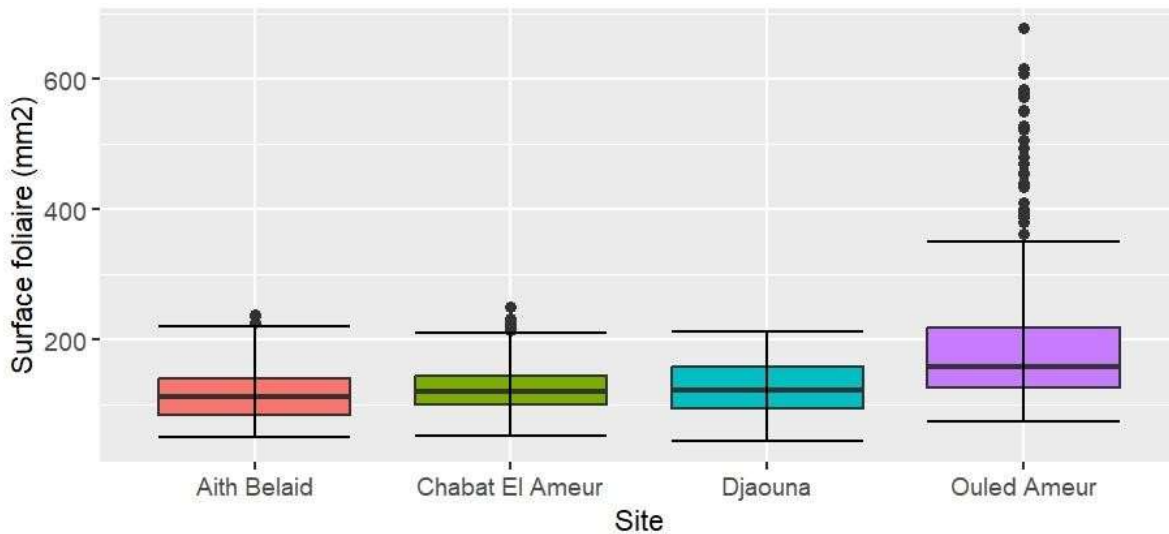


Figure 26 .Variation de la surface foliaire de *Z.lotus* dans les différentes stations d'étude.

2-7 La surface foliaire spécifique (SLA)

L'analyse de variance révèle une différence très hautement significative de l'indice SLA entre les stations étudiées ($F = 9.31$; $p < 0.0001$). Cet indice atteint sa valeur la plus élevée à Ouled Aneur, suivie d'Ait Belaid. Les deux autres stations, Chabet El Aneur et Djaouna, affichent des valeurs plus faibles et relativement proches l'une de l'autre. Cette hiérarchie est visible sur la figure 27, qui met en évidence la distribution des données : Ouled Aneur présente une plus grande variabilité avec plusieurs valeurs extrêmes, tandis que Chabet El Aneur et Djaouna sont caractérisées par une dispersion plus resserrée. Toutefois, aucune différence significative n'est observée entre, (Ouled Aneur vs Ait Belaid, Ouled Aneur vs Djaouna, Ait Belaid vs Djaouna) suggérant une relative homogénéité entre ces stations pour ce paramètre (Tableau 5).

Le SLA, ou surface foliaire spécifique, traduit l'efficacité avec laquelle une plante développe sa surface photosynthétique par rapport à sa biomasse sèche. Des valeurs élevées sont généralement le signe d'une stratégie d'acquisition rapide de ressources, typique des espèces ou des individus en environnement favorable, tandis que des valeurs faibles reflètent une stratégie de conservation, liée à des feuilles plus épaisses, denses et durables. Dans notre cas, la valeur élevée de SLA à Ouled Aneur peut être reliée à la plus grande surface des feuilles, à leur longueur et largeur supérieures, ainsi qu'à un diamètre de canopée plus important. À l'inverse, les stations comme Chabet El Aneur et Djaouna, où la compétition lumineuse est

probablement plus intense ou la densité de la végétation plus élevée, montrent des valeurs plus faibles.

Cette variation s'inscrit dans une logique de plasticité fonctionnelle en réponse à des contraintes locales. Elle pourrait aussi refléter une variabilité génétique entre les populations ou un effet de l'âge des individus sur la structure foliaire. Comme le soulignent Houma (2022) et Krintza et al. (2024), le SLA est un trait hautement sensible aux conditions environnementales, reflétant des ajustements dans la structure des feuilles qui permettent à la plante de limiter les pertes en eau ou de maximiser l'acquisition de lumière, selon le contexte. Enfin, Pérez-Harguindeguy et al. (2016) rappellent que cet indice est essentiel pour relier les traits fonctionnels aux gradients écologiques, car il révèle directement le positionnement adaptatif de l'espèce au sein de son habitat.

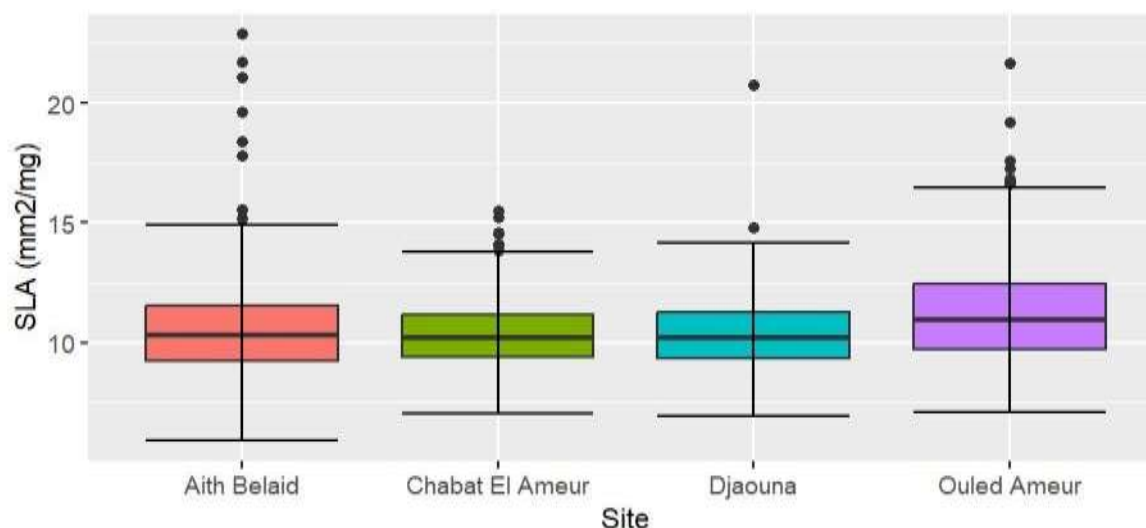


Figure 27. Variation de l'indice SLA (Specific Leaf Area) de *Z. lotus* entre les stations étudiées.

2- 8 Teneur en matière sèche (LDMC)

L'analyse de variance met en évidence une différence très hautement significative de l'indice LDMC entre les stations étudiées ($F = 55.23$; $p < 0.0001$). Bien que les valeurs restent globalement proches, la figure 28 montre que Chabat El Aneur présente les valeurs les plus élevées, suivi d'Ait Belaid, tandis que Djaouna et Ouled Aneur enregistrent les plus faibles. On remarque également la présence de nombreuses valeurs aberrantes, notamment à Djaouna et Ouled Aneur, ce qui traduit une forte variabilité intra-station.

L'indice LDMC (Leaf Dry Matter Content) correspond au rapport entre la masse sèche et la masse fraîche d'une feuille. Il renseigne sur la densité tissulaire et la capacité de la plante à conserver ses ressources. Des valeurs élevées de LDMC traduisent une stratégie conservatrice, avec des feuilles plus rigides, plus coriaces, et une longévité accrue. Ces feuilles limitent les pertes hydriques et résistent mieux à la dessiccation, ce qui peut être avantageux dans des environnements soumis à une forte densité de végétation ou à des ressources limitées (Garnier et al., 2001; Wright et al., 2004). C'est probablement le cas à Chabat El Aneur, où les conditions écologiques peuvent impliquer une compétition plus forte pour les ressources ou une lumière plus limitée du fait d'un couvert végétal plus dense.

À l'inverse, les individus d'Ouled Ameer se distinguent par des valeurs de LDMC nettement inférieures, ce qui suggère une stratégie d'acquisition rapide des ressources. Ce constat est renforcé par le fait qu'Ouled Ameer présente également l'indice SLA le plus élevé, indiquant des feuilles plus fines et plus légères, optimisées pour une croissance rapide et une efficacité photosynthétique élevée. Ce type de stratégie fonctionnelle est souvent associé à des conditions écologiques plus favorables, notamment en lumière et en humidité, permettant un renouvellement foliaire accéléré et une productivité plus importante (Pérez-Harguindeguy et al., 2013 ; Poorter et al., 2009).

Ait Belaid et présente des valeurs intermédiaires, ce qui pourrait refléter un compromis écologique entre acquisition et conservation des ressources, en lien avec des conditions environnementales moins contrastées. Une telle position intermédiaire suggère une plasticité fonctionnelle adaptative face à des facteurs comme l'éclairement, la structure du sol ou la densité du peuplement végétal (Reich, 2014).

Enfin, la variabilité du LDMC au sein d'une même espèce souligne l'importance de ce trait dans l'interprétation des stratégies adaptatives. Plusieurs études, dont celle de Torres-García et al. (2021), insistent sur la sensibilité de cet indice aux variations de lumière, d'humidité du sol et de structure du peuplement. En ce sens, le LDMC apparaît comme un indicateur clé de la capacité des plantes à ajuster leur fonctionnement face aux gradients écologiques locaux (Cornelissen et al., 2003 ; Dwyer et al., 2014).

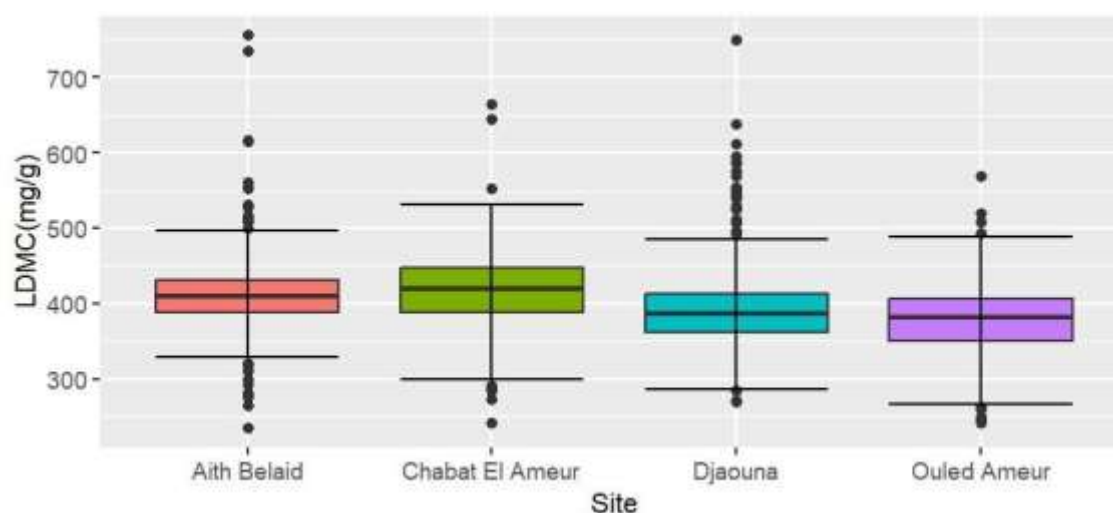


Figure 28. Variation des valeurs du LDMC (Leaf Dry Matter Content) des feuilles de *Z. lotus* entre les stations étudiées.

3- Résultats des corrélations entre les paramètres morfo-fonctionnels étudiés

L'analyse des corrélations entre les différents traits morfo-fonctionnels a été effectuée à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson, qui permet d'évaluer la force et la direction des relations linéaires entre deux variables quantitatives. Ce type d'analyse est couramment utilisé en écologie fonctionnelle pour identifier les interactions entre des traits morphologiques et physiologiques, et pour comprendre les compromis ou les synergies dans les stratégies adaptatives des plantes (Violle et al., 2007). La matrice de corrélation (Figure 29, Annexe 3) met en évidence l'ensemble des relations entre les différents traits morfo-fonctionnels étudiés.

Les croix présentes dans la matrice indiquent une absence de corrélation calculée entre certaines variables.

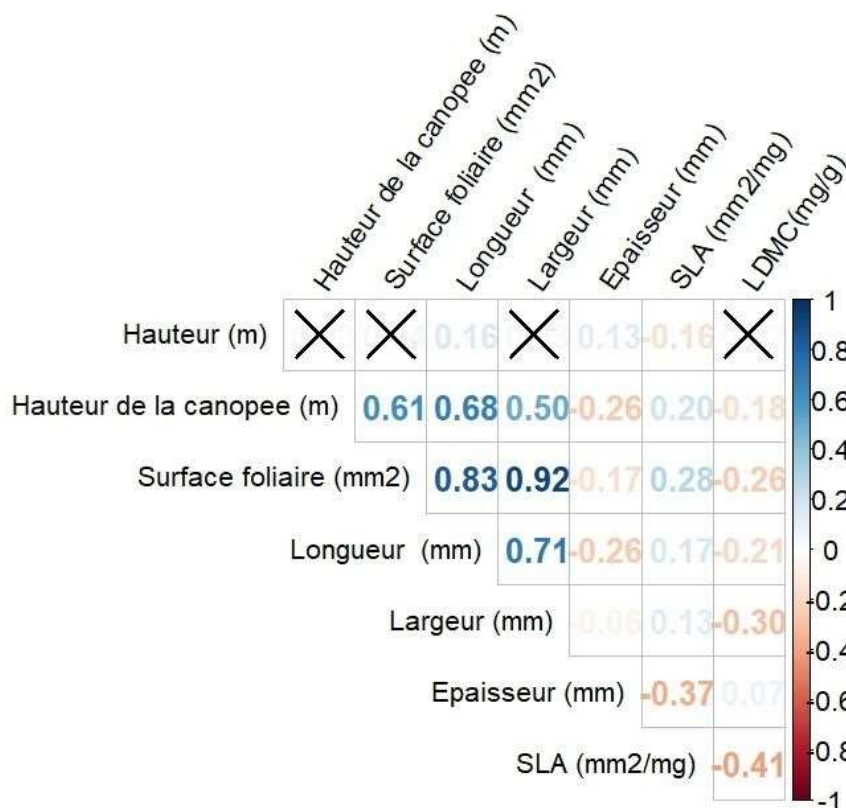


Figure 29. Matrice de corrélation entre les paramètres étudiés.

On observe tout d'abord une corrélation très forte entre la surface foliaire et la largeur des feuilles ($r = 0,92$), ainsi qu'entre la surface foliaire et la longueur des feuilles ($r = 0,83$), ce qui reflète une logique morphologique attendue : une feuille plus grande, en longueur ou en largeur, possède nécessairement une surface plus étendue, favorisant une meilleure interception de la lumière et donc une photosynthèse plus efficace (Wright *et al.*, 2004). Une corrélation forte est également relevée entre la longueur et la largeur des feuilles ($r = 0,71$), confirmant cette cohérence structurelle. Le diamètre de la canopée présente des corrélations modérées à fortes avec plusieurs traits : $r = 0,61$ avec la surface foliaire, $r = 0,68$ avec la longueur, et $r = 0,50$ avec la largeur. Ces résultats suggèrent qu'un développement plus ample de la canopée est associé à des dimensions foliaires plus importantes, ce qui peut améliorer l'efficacité photosynthétique de l'individu (Díaz *et al.*, 2016). À l'inverse, certaines corrélations négatives apparaissent entre les traits fonctionnels : une relation inverse est relevée entre l'épaisseur des feuilles et le SLA ($r = -0,37$), traduisant un compromis entre épaisseur tissulaire et surface foliaire spécifique. Des feuilles épaisses tendent à réduire la surface foliaire par unité de biomasse, ce qui correspond à une stratégie conservatrice. Une corrélation négative est également relevée entre le SLA et le LDMC ($r = -0,41$). Un SLA élevé est associé à des feuilles fines et souples, tandis qu'un LDMC élevé correspond à des feuilles plus denses et résistantes, deux stratégies opposées d'utilisation des ressources (Cornelissen *et al.*, 2003 ; Krintza *et al.*, 2024).

3-1 Les Corrélations positives entre les traits morpho-fonctionnels étudiés

3-1-1 Corrélation entre la largeur et la surface foliaire

Une très forte corrélation positive a été observée entre la surface foliaire et la largeur des feuilles ($r = 0,92$), traduisant une relation morphologique cohérente : les feuilles les plus larges tendent logiquement à présenter une surface plus développée, ce qui permet une meilleure interception de la lumière et une optimisation des échanges gazeux avec l'environnement (Poorter et *al.*, 2009 ; Wright et *al.*, 2004). Ce lien direct entre largeur et surface foliaire est également souligné par Niinemets (2001), qui indique qu'une plus grande surface permet une meilleure efficacité photosynthétique, surtout dans les environnements ouverts. Díaz et *al.* (2016) ajoutent que cette relation fait partie des traits fondamentaux associés à des stratégies d'acquisition rapide de ressources. Reich et *al.* (2014) ont montré que cette association est typique des espèces héliophiles qui maximisent leur surface d'échange foliaire.

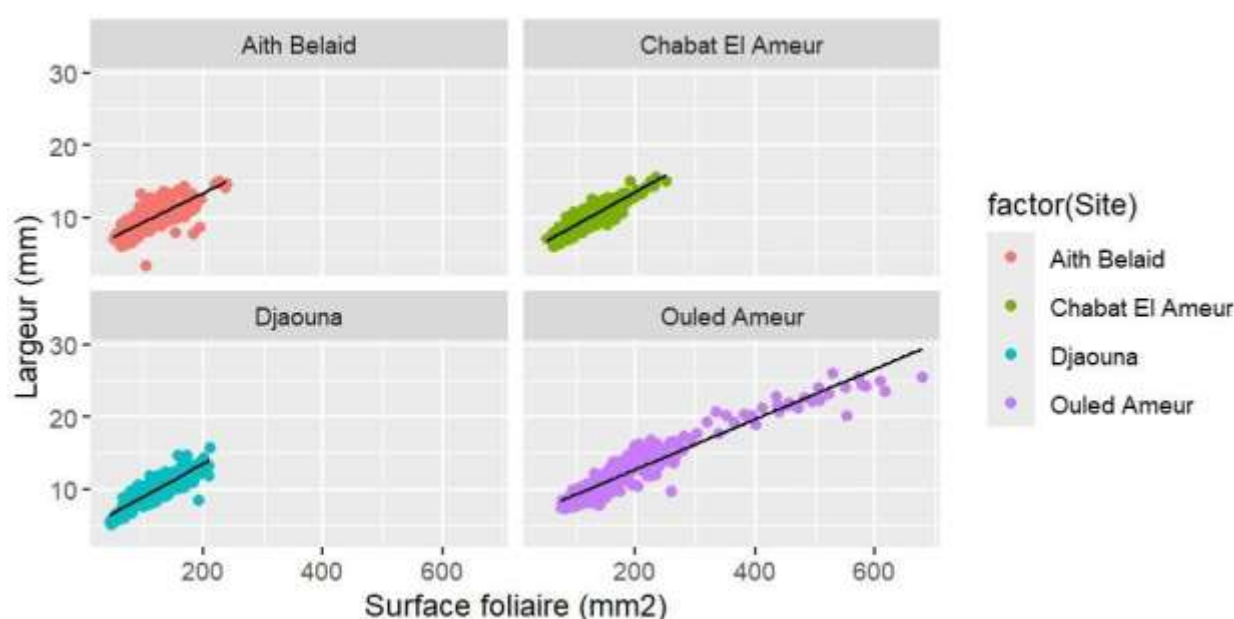


Figure 30. Relation entre la largeur et la surface foliaire de *Z. lotus* au niveau de chaque station.

Parmi les stations étudiées, celle d'Ouled Ameur se distingue par les valeurs les plus élevées à la fois en largeur et en surface foliaire, accompagnées d'une pente marquée du nuage de points (Figure 30) Cette tendance pourrait être liée à une meilleure aération de l'environnement, combinée à des sols profonds et bien structurés, facilitant l'enracinement et l'absorption des nutriments, ce qui favoriserait une croissance foliaire plus étendue. Les autres stations présentent également une corrélation positive entre largeur et surface foliaire, bien que les valeurs soient plus modérées. Ainsi, cette variabilité confirme la capacité de *Z. lotus* à ajuster l'investissement foliaire en fonction des conditions micro-environnementales locales.

3-1-2 Corrélation entre la longueur et la surface foliaire

Une très forte corrélation positive a été observée entre la surface foliaire et la longueur des feuilles ($r = 0,83$), traduisant une cohérence morphologique manifeste chez *Z. lotus* : les feuilles les plus longues tendent à présenter une surface plus importante. Ce lien est confirmé par Niinemets (2001), qui souligne que l'allongement foliaire favorise l'optimisation de la surface d'échange. Liu et al. (2020) ont montré que l'allongement des feuilles contribue directement à l'augmentation de leur surface, renforçant ainsi leur potentiel fonctionnel, particulièrement dans des environnements favorables. Reich et al. (2014) insistent également sur l'importance de ces traits dans les stratégies d'acquisition rapide de ressources. Comparé à d'autres sites, le site d'Ouled Aneur se démarque par des valeurs particulièrement élevées (Figure 31) ce qui suggère un développement foliaire étendu, probablement influencé par la combinaison de plusieurs facteurs : pente marquée, structure du sol bien drainé, conditions édaphiques favorables et exposition accrue à la lumière. Ces éléments semblent favoriser l'expression morphologique maximale de l'espèce. Selon les résultats de notre étude, *Z. lotus* montre ici une forte capacité d'ajustement, révélatrice d'une plasticité écologique marquée lui permettant d'optimiser sa surface foliaire en fonction des conditions locales.

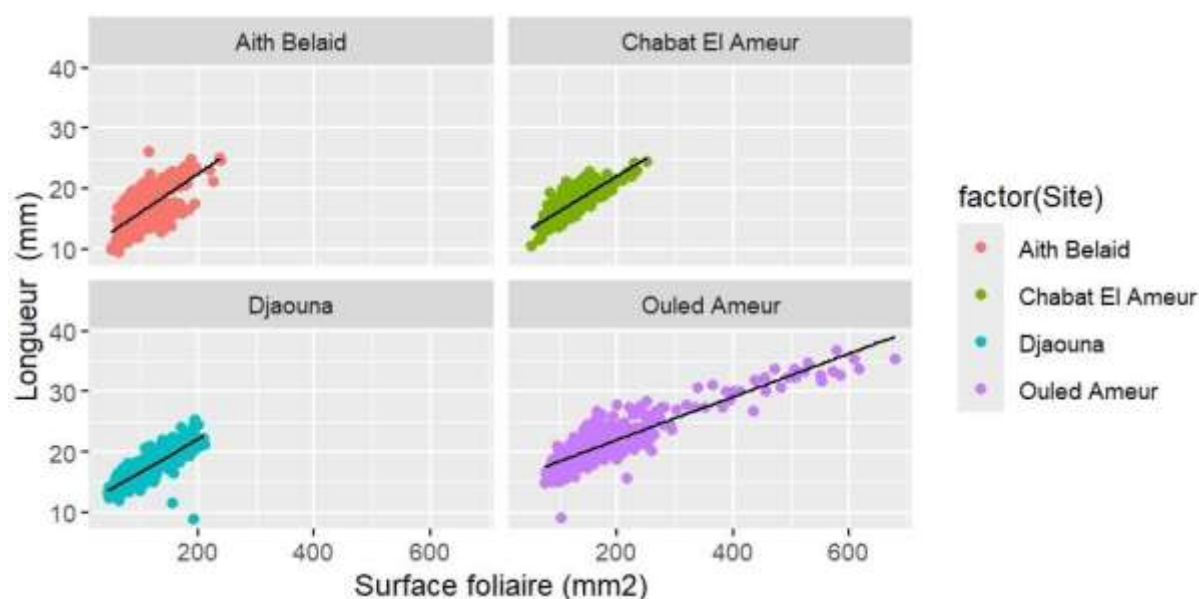


Figure 31. Relation entre la longueur et la surface foliaire de *Z. lotus* au niveau de chaque station.

3-1-3 Corrélation entre la largeur et la longueur des feuilles

Une forte corrélation positive ($r = 0,71$) a été observée entre la longueur et la largeur des feuilles de *Z. lotus*, indiquant que l'allongement du limbe s'accompagne généralement d'un élargissement proportionnel, traduisant une architecture foliaire cohérente. Ce lien morphologique est confirmé par les travaux de Schrader et al. (2021) qui soulignent que l'expansion simultanée de la longueur et de la largeur constitue une stratégie efficace pour optimiser la surface foliaire, et ainsi améliorer la capture lumineuse, la photosynthèse et les échanges gazeux. Les résultats de notre étude montrent que la station d'Ouled Aneur se distingue nettement des autres sites (Figure 32), avec des valeurs particulièrement élevées pour

ces deux traits. Ce développement foliaire accentué pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs environnementaux : une pente marquée favorisant une meilleure exposition à la lumière et un drainage optimal, une structure du sol permettant une aération adéquate et un bon enracinement, une densité végétale relativement faible réduisant la compétition interspécifique. Ces conditions semblent réunir un contexte écologique propice à l'expression d'un limbe foliaire allongé et élargi. Par ailleurs, plusieurs travaux ont souligné que l'allongement des feuilles constitue un facteur déterminant dans l'augmentation de la surface foliaire (Liu et *al.*, 2020 ; Yang et *al.*, 2024), ce qui renforce l'hypothèse selon laquelle *Z.lotus* exprime ici une plasticité morphologique adaptative notable. Ce type de stratégie permettrait à l'espèce de maximiser ses performances physiologiques dans des milieux ouverts ou modérément contraignants.

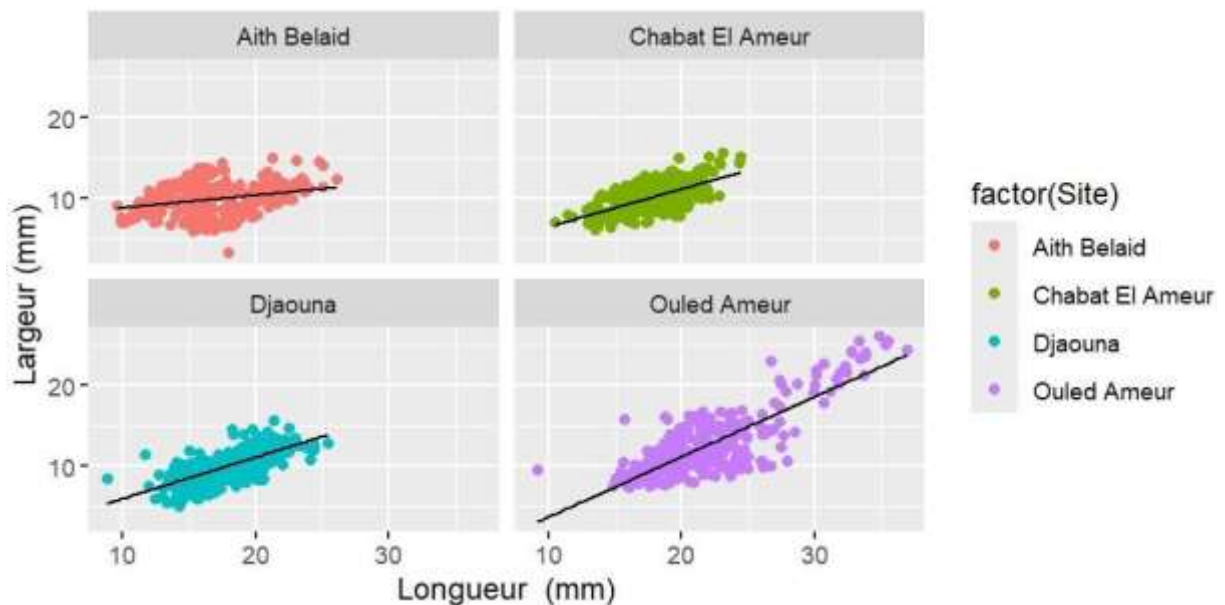


Figure 32. Relation entre la largeur et la longueur des feuilles de *Z.lotus* au niveau de chaque station.

3-1-4 Corrélation entre le diamètre de la canopée et la longueur des feuilles

L'analyse de la relation entre la longueur des feuilles et le diamètre de la canopée chez *Z. lotus* révèle une corrélation positive ($r = 68$) plus marquée à Ouled Ameur où les individus présentent à la fois un limbe foliaire allongé et une couronne plus étendue (Figure 33), Cette tendance suggère une coordination morpho-architecturale, dans laquelle l'allongement des feuilles pourrait contribuer à l'expansion latérale de la plante, en améliorant la capture lumineuse à l'échelle de la ramure (Niinemets, 2010 ; Wright et *al.*, 2017). D'un point de vue écologique, cette stratégie pourrait résulter d'un compromis adaptatif visant à maximiser l'acquisition de ressources dans un environnement caractérisé par une pente marquée, une bonne exposition lumineuse, une concurrence végétale réduite et une structure édaphique favorable. Comparé aux autres stations, où *Z. lotus* adopte d'autres formes de plasticité adaptative parfois plus compactes ou plus économes en réponse à des contextes également équilibrés mais écologiquement distincts, le site de Ouled Ameur illustre une plasticité structurale plus aboutie.

Ce développement pourrait également refléter un enracinement plus profond, associé à une stabilité mécanique accrue et une meilleure exploration du sol, facilitant une architecture aérienne plus étalée (Poorter et *al.*, 2012 ; Valladares et *al.*, 2007). Ainsi, cette corrélation met en évidence l'intégration fonctionnelle entre traits foliaires et traits architecturaux chez *Z. lotus*, appuyant l'hypothèse d'une réponse adaptative synchronisée aux conditions environnementales locales.

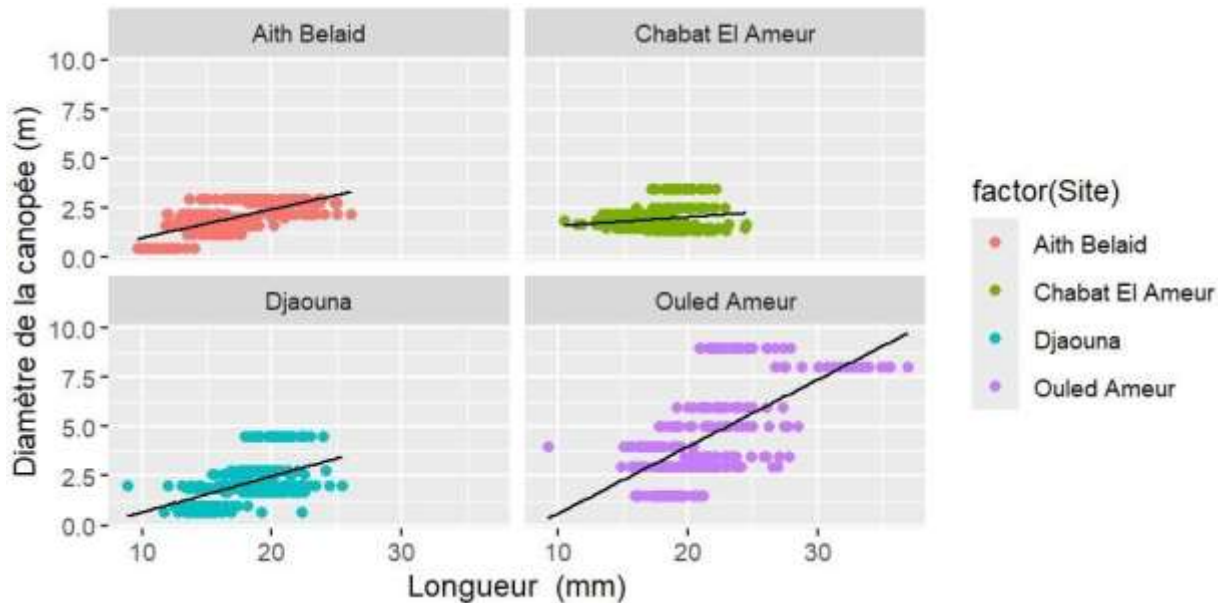


Figure 33. Relation entre le diamètre de la canopée et la longueur des feuilles De *Z.lotus* au niveau de chaque station.

3-1-5 Corrélation entre la surface foliaire et le diamètre de la canopée

Une corrélation positive claire est observée entre le diamètre de la canopée et la surface foliaire ($r = 0.61$), traduisant une coordination morphologique adaptative : plus la couronne s'étend, plus la surface des feuilles augmente, renforçant ainsi la capacité de captation lumineuse et les échanges gazeux. Cette relation met en évidence une stratégie d'optimisation spatiale de la plante, où le développement du houppier favorise l'exposition des feuilles à la lumière. Dans le site d'Ouled Aneur, cette tendance est particulièrement marquée, ce qui suggère une adaptation spécifique de *Z.lotus* à cet environnement. Ce site se démarque par une pente plus élevée (Figure 34), une meilleure exposition solaire et une structure du sol possiblement plus favorable, réduisant la compétition et permettant un développement foliaire plus important. Ce lien étroit entre la surface foliaire et le diamètre de la canopée permet à l'espèce de maximiser ses performances photosynthétiques tout en maintenant une certaine stabilité structurelle, ce qui reflète une forte plasticité écologique face aux variations locales. Cette coordination entre l'expansion foliaire et le diamètre de la canopée reflète une stratégie morpho-fonctionnelle bien documentée, selon laquelle une architecture aérienne étendue permet d'optimiser la capture des ressources lumineuses tout en maximisant les échanges gazeux à l'échelle du couvert (Niinemets, 2010 ; Yang et *al.*, 2024).

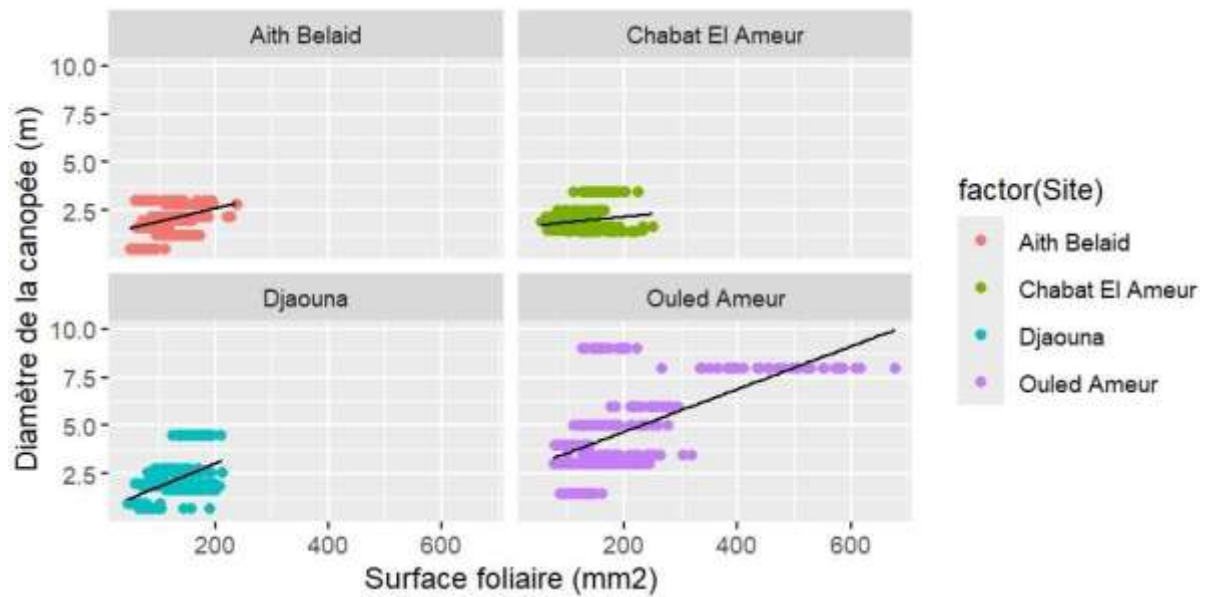


Figure 34. Relation entre Le diamètre de la canopée et la surface foliaire de *Z.lotus* au niveau de chaque station.

3-1-6 Corrélation positive entre la largeur des feuilles et le diamètre de la canopée

Une corrélation positive est mise en évidence entre la largeur des feuilles et le diamètre de la canopée ($r = 0,50$), traduisant une coordination morpho-architecturale cohérente avec les autres relations observées. Cette tendance indique que l'élargissement des feuilles s'accompagne d'un développement plus important de la couronne, contribuant à une meilleure capture de la lumière. Cette stratégie est particulièrement accentuée à Ouled Aneur (Figure 35), où la plante semble investir simultanément dans l'extension foliaire et l'architecture de la canopée, probablement en réponse à des conditions locales telles qu'une forte exposition lumineuse, un sol bien structuré ou une faible densité de végétation voisine. Ce comportement adaptatif illustre la capacité de *Z.lotus* à ajuster conjointement plusieurs traits fonctionnels selon les pressions écologiques du site. Comme le rappellent Falster et Westoby (2003), ce type de relation allométrique est fréquent chez les espèces ligneuses et reflète une co-variation des structures morphologiques. Dans les autres stations, cette coordination reste visible, bien que moins marquée. Elle pourrait témoigner d'une stratégie différente, orientée vers la réduction de la surface exposée et une limitation du développement spatial, en réponse à une forte compétition interspécifique ou à des ressources plus dispersées, permettant à *Z. lotus* de maintenir son implantation sans surinvestir dans l'expansion foliaire ou architecturale.

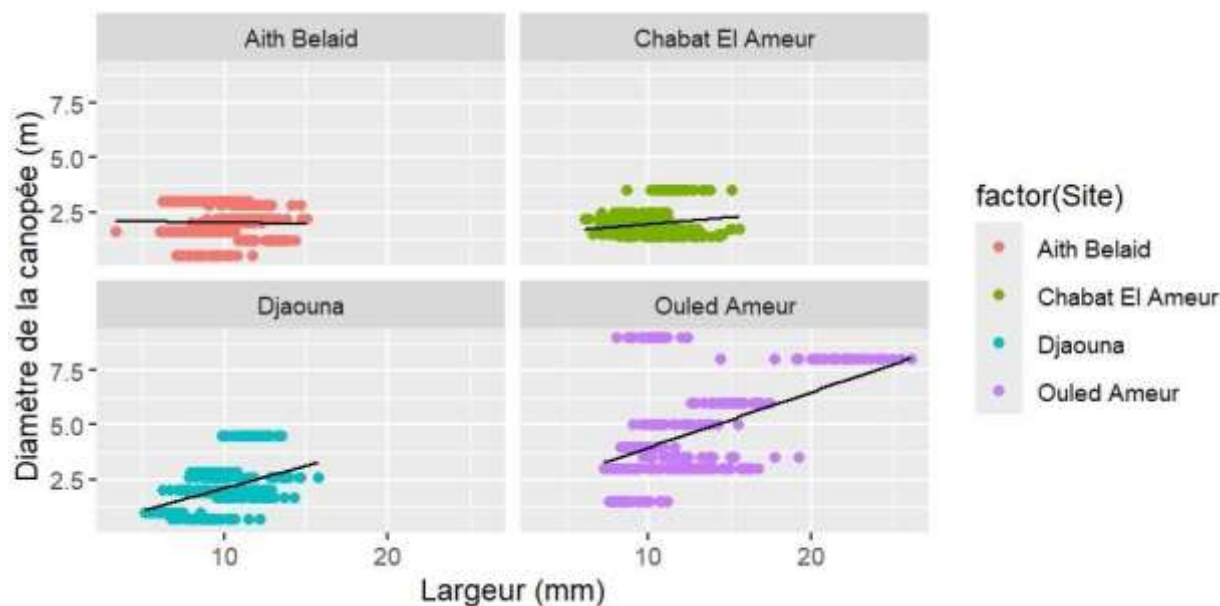


Figure 35. Relation entre la largeur des feuilles et le diamètre de la canopée de *Z.lotus* au niveau de chaque station.

3-2 Les Corrélations négatives entre les traits morpho-fonctionnels étudiés

3-2-1 Corrélation entre la surface foliaire et l'épaisseur des feuilles

Une relation négative est observée entre l'épaisseur foliaire et l'indice SLA ($r = -0,37$), indiquant une coordination morpho-fonctionnelle typique des espèces ligneuses à feuilles persistantes. D'après nos résultats, la pente négative est marquée et relativement homogène entre les sites, traduisant une tendance générale inverse entre l'épaisseur et le SLA. Toutefois, cette relation semble plus accentuée à Ouled Aneur et Djaouna, où l'augmentation du SLA s'accompagne d'une réduction nette de l'épaisseur. À Ait Belaid et Chabat El Aneur, la pente reste négative mais moins abrupte (Figure 36), suggérant une variabilité morphologique plus modérée. Ce compromis structurel a été mis en évidence par de la Riva et *al.* (2016), mais également par Freschet et *al.* (2010) et Pérez-Harguindeguy et *al.* (2013), qui soulignent que les feuilles épaisses sont généralement associées à une densité élevée des tissus et à un investissement plus important dans la résistance mécanique, au détriment d'un rendement instantané élevé. Cette relation inverse entre épaisseur et SLA témoigne d'une plasticité adaptative permettant à *Z.lotus* d'ajuster la structure de ses feuilles aux exigences de chaque station, selon un équilibre entre conservation des ressources et efficacité photosynthétique.

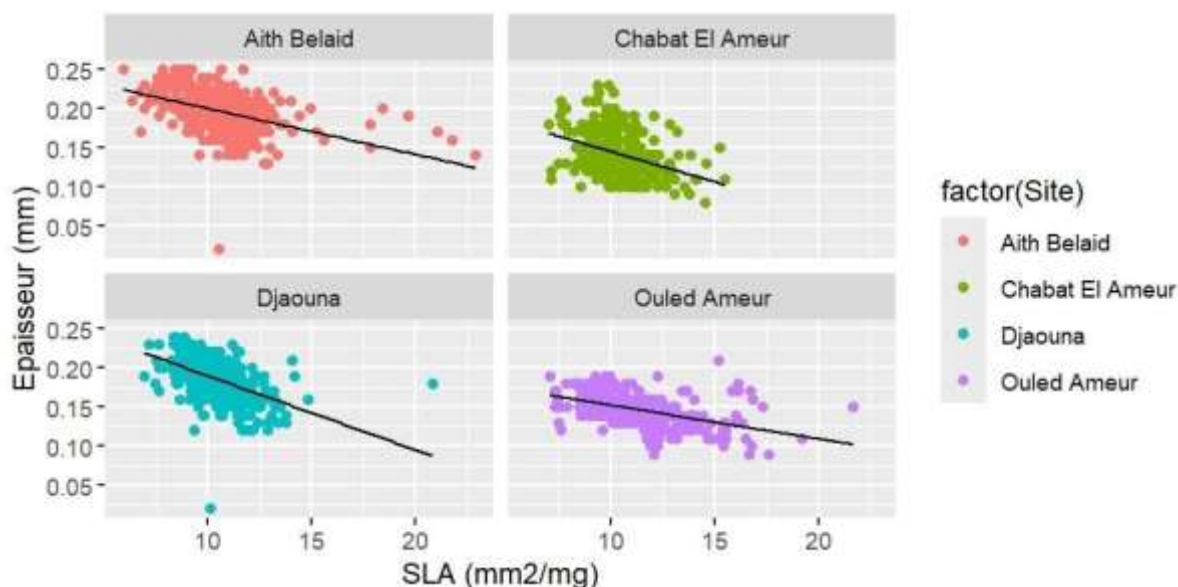


Figure 36. Relation entre la surface foliaire et l'épaisseur des feuilles de *Z. lotus* au niveau de chaque station.

3-2-2 corrélation entre le SLA et LDMC

Une relation négative est observée entre le SLA (surface foliaire spécifique) et le LDMC (teneur en matière sèche foliaire), confirmée par le coefficient de corrélation ($r = -0,41$), tel qu'indiqué sur la figure. Ce lien reflète un compromis fonctionnel essentiel entre deux grandes stratégies adaptatives : une stratégie d'acquisition rapide des ressources, caractérisée par un SLA élevé, et une stratégie de conservation, associée à un LDMC élevé. Un SLA élevé traduit des feuilles fines, peu denses, capables de croître rapidement et de capter efficacement la lumière, mais présentant une durée de vie plus courte. À l'inverse, un LDMC élevé indique des feuilles plus robustes, plus durables et à croissance lente, investissant davantage dans la structure. Ce compromis est au cœur du concept de *Leaf Economic Spectrum* proposé par Wright et al. (2004), qui décrit un continuum universel de stratégies foliaires allant de l'exploitation rapide des ressources à leur conservation. Ce cadre a été confirmé par de nombreuses études ultérieures, notamment celles de Vile et al. (2005), Niinemets (2010) qui ont montré que cette opposition entre SLA et LDMC traduit des ajustements écophysologiques face aux contraintes environnementales. Selon notre étude, les sites d'Ouled Aneur et Aith Belaid présentent une pente plus marquée par rapport aux autres sites (Figure 37), qui montrent des valeurs intermédiaires. Cela suggère une expression plus nette du compromis fonctionnel dans ces stations. Conformément aux observations de Torres-García et al. (2021), *Z. lotus* module ses traits fonctionnels selon les conditions locales, adoptant des stratégies différentes pour optimiser sa survie.

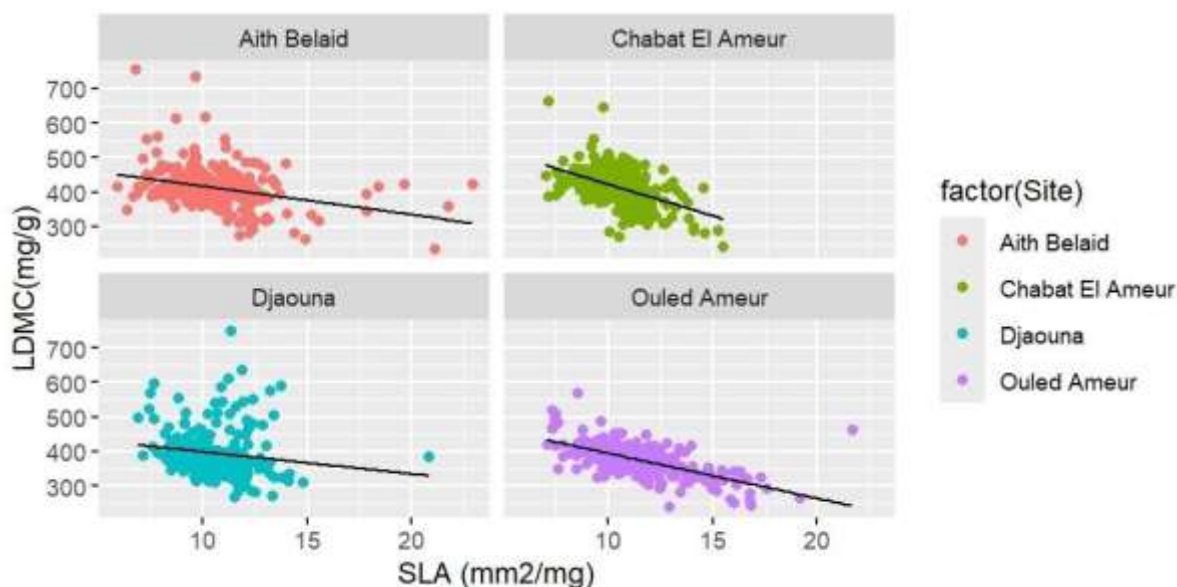


Figure 37. Relation entre la SLA et LDMC de *Z. lotus* au niveau de chaque station.

3-3 Les Corrélations faibles entre les variables morpho-fonctionnelles

Les analyses des corrélations ont révélé l'existence de relations faibles entre certaines variables morpho-fonctionnelles de *Z. lotus*, notamment entre le LDMC, l'épaisseur foliaire, le SLA et le diamètre de la canopée. Ces faibles corrélations s'expliquent par le fait que ces traits répondent à des contraintes écologiques différentes et traduisent des fonctions biologiques variées. Ces résultats confirment les observations de Díaz et *al.* (2016) qui montrent que les corrélations entre traits morpho-fonctionnels ne sont pas systématiques mais dépendent des compromis évolutifs et des contraintes spécifiques à chaque espèce. La présence de ces faibles corrélations illustre ainsi la complexité des réponses adaptatives des plantes et la nécessité d'une approche intégrée pour interpréter ces variations morphologiques.

Conclusion

Les plantes présentent une remarquable aptitude à s'adapter à leur environnement en modulant leur structure morphologique et leurs fonctions physiologiques afin de faire face aux contraintes et variations du milieu. Cette capacité d'ajustement s'exprime à travers leurs traits fonctionnels, qui constituent des indicateurs clés de leurs stratégies écologiques. Chaque trait représente un compromis entre les différentes pressions environnementales, garantissant ainsi la survie et la croissance des espèces dans des milieux variés. Cette plasticité adaptative est au cœur du succès écologique des plantes, leur permettant de répondre efficacement aux défis abiotiques auxquels elles sont confrontées.

Ce mémoire avait pour objectif d'étudier les traits morphologiques et fonctionnels de *Z. lotus* dans la région de Boumerdès. L'objectif était de comprendre les stratégies d'adaptation de cette espèce face aux différentes conditions écologiques rencontrées. Pour ce faire, plusieurs paramètres ont été analysés : la hauteur maximale des individus, le diamètre de leur canopée, ainsi que des caractéristiques foliaires telles que la longueur, la largeur, la surface foliaire, l'épaisseur des feuilles, et des indicateurs fonctionnels comme le SLA (Surface foliaire spécifique) et le LDMC (Teneur en matière sèche).

Les résultats ont révélé des variations significatives des traits étudiés entre les stations. Dans les milieux plus ouverts, où la compétition intraspécifique et interspécifique est moins marquée, *Z. lotus* développe une canopée plus large, ainsi que des feuilles plus longues, plus larges et plus fines, associées à une surface foliaire plus importante. Cette configuration favorise une capture plus efficace de la lumière et une activité photosynthétique accrue, optimisant ainsi la croissance et la survie de la plante. En revanche, dans les environnements où la compétition est plus intense, la plante ajuste sa morphologie, notamment en augmentant sa hauteur, afin de maintenir un accès suffisant à la lumière, ressource essentielle pour son fonctionnement physiologique et sa performance écologique. Cette capacité d'ajustement confirme la flexibilité écologique de l'espèce face à des conditions environnementales contrastées.

Cette plante est bien plus qu'une simple espèce végétale ; c'est une composante emblématique des écosystèmes méditerranéens, dont la présence est synonyme de richesse écologique et de résilience. Elle joue un rôle primordial dans la stabilisation des sols, contribuant à la lutte contre l'érosion et la désertification, un enjeu majeur dans le contexte actuel de changement climatique. Son importance s'étend au-delà de ses fonctions écologiques directes ; elle sert de refuge et de source de nourriture pour de nombreuses espèces animales, et représente une ressource précieuse pour les populations humaines locales, notamment pour ses usages médicinaux et alimentaires. Sa robustesse et sa capacité à s'établir dans des milieux très variés en font une espèce d'intérêt capital pour les programmes de restauration écologique et la valorisation des territoires.

Toutefois, il est essentiel de souligner que, même si ce travail apporte des informations importantes sur les traits morpho-fonctionnels de *Z. lotus*, il ne constitue qu'une étape dans la compréhension exhaustive de cette espèce. Le nombre de stations étudiées reste limité, ce qui ne permet pas de refléter pleinement l'éventail des conditions écologiques dans lesquelles cette plante évolue. L'adaptation étant un phénomène particulièrement complexe, influencé par de multiples facteurs comme la variabilité saisonnière, les interactions biotiques et les contraintes abiotiques, Il serait pertinent d'approfondir l'étude de la diversité génétique afin de mieux comprendre les mécanismes évolutifs à l'origine de la variabilité observée et d'identifier les marqueurs d'adaptation. L'exploration des interactions entre *Z. lotus* et les champignons mycorhiziens représente également un enjeu fondamental, notamment pour évaluer leur rôle dans l'acquisition des ressources et la résilience face au stress environnemental. L'analyse des

paramètres édaphiques, tels que la texture du sol, le pH, ou la teneur en matière organique, l'évaluation de l'impact croissant de l'anthropisation, ainsi que l'étude de sa répartition écologique dans les milieux du nord algérien où les données restent encore lacunaires constitueraient des pistes de recherche essentielles. Ces travaux complémentaires permettraient non seulement de consolider notre compréhension scientifique, mais aussi de valoriser davantage cette espèce emblématique des milieux méditerranéens et de renforcer les efforts de conservation des écosystèmes fragiles où *Z. lotus* joue un rôle écologique majeur.

Références bibliographique

- Abdeddaim M., Lombarkia O., Bacha A., Fahloul D., Abdeddaim D., Farhat R., Saadoudi M., Noui Y., Lekbir A., (2014). Biochemical characterization and nutritional proprieties of *Zizyphus lotus* L. fruits in aures region, northeast of Algeria. *Annals. Food Science and Technology*, 15(1), 75 -81.
- Abu-Zarga, M., Sabri, S., & Al-Aboudi, A. (1995). New cyclopeptide alkaloids from *Zizyphus lotus*. *Journal of Natural Products*, 58(4), 504–511.
- Adzu B., Amos S., Amizan M.B., Gamaniel K., (2003). Evaluation of the antidiarrhoeal effects of *Zizyphus spina-christi* stem bark in rats. *Acta Tropica*, 7: 245-250.
- Ahmed, A. M., Al Alwadie, A., & Ibrahim, A. M. (2015). *Some aspects of groundwater quality in Najran Town, Kingdom of Saudi Arabia. Open Access Library Journal*.
- Albert, C. H., Grassein, F., Schurr, F. M., Vieilledent, G., & Violle, C. (2011). When and how should intraspecific variability be considered in trait-based plant ecology? *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 13(3), 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2011.04.003>
- Amara, M., & Benabdeli, K. (2020). Potentialités écologiques de *Zizyphus lotus* et possibilités de développement durable des espaces arides : cas de la région de Naâma (Algérie). *Geo-Eco-Trop*, 44(2), 269–277.
- Andrade, C. (2019). The P value and statistical significance: Misunderstandings, explanations, challenges, and alternatives. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 41(3), 210–215. https://doi.org/10.4103/IJPSYM.IJPSYM_193_19
- Angiosperm Phylogeny Group. (2016). an update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Arndt, S. K., Clifford, S. C., Wanek, W., Jones, H. G., ET Popp, M. (2001). Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Zizyphus rotundifolia* in response to progressive drought in a semi-arid habitat. *Tree Physiology*, 21(11), 705 715.
- Azam-Ali S., Bonkougou E., Bowe C., deKock C., Godara A., Williams J.T., 2006. *Fruits for the Future 2: Ber and other jujubes*. Ed. Southampton Centre for Underutilised Crops, U.K. 302 p.
- Baba Aissa, F., 1999. Les plantes médicinales en Algérie : Identification, description, principes actifs, propriétés et usage traditionnel de plantes communes en Algérie. Ed. Le monde des pharmaciens, Alger, 181p.
- Bagnouls, F., & Gausсен, H. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 88, 193–240.
- Barry, R.G., & Chorley, R.J. (2003). *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge.
- Bayer E., et Butter K., 2000. Guide de la flore méditerranéenne. p280.
- Bellakhdar J (1997) *La pharmacopée marocaine traditionnelle*. Ibis Press, Paris.
- Bellakhdar, J. (1978). Médecine traditionnelle et toxicologie ouestsaharienne. Contribution à l'étude de la pharmacopée marocaine. Édition Technique Nord-Africaine, Rabat.
- Benammar C., 2011. *Effets antioxydants et immunomodulateurs d'une plantemédicinale*

nord-africaine, *Ziziphus lotus* (L.) Lam. (sedra) : étude des différents extraits, Thèse doctorat. Université aboubekrbelkaid Tlemcen. P120.

- Bérubé-Girouard, V., & Royer-Tardif, S. (2023). Traits fonctionnels et réponse aux changements climatiques. *Progrès Forestier*, Été 2023, 12-15.
- Bonnet J., 2001. *Larousse des arbres - Dictionnaire des arbres et des arbustes*. 512p.
- Borgi W., Bouraoui A., Chouchane N., 2007b. Antiulcerogenic activity of *Ziziphus lotus* (L.) extracts, *Journal of Ethnopharmacology*, 12: 228-231.
- Boukef K (1986) *Les plantes dans la médecine traditionnelle de Tunisie*. Agence de coopération culturelle et technique, Paris.
- Bross J., 2000. *Larousse des arbres et des arbustes*. Larousse (Ed). Canada. 576p.
- Cancio, I., González-Robles, A., Bastida, J. M., Manzaneda, A. J., Salido, T., & Rey, P. J. (2016). Habitat loss exacerbates regional extinction risk of the keystone semiarid shrub *Ziziphus lotus* through collapsing the seed dispersal service by foxes (*Vulpes vulpes*). *Biodiversity and Conservation*, 25(7), 1235-1252.
- Centre National d'Études et de Recherches Appliquées en Urbanisme (CNERU). (2012). *Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Boumerdès – PATW. Volume I : Évaluation territoriale et diagnostic*. Alger : Centre National d'Études et de Recherches Appliquées en Urbanisme.
- Chaturvedi, R.K., Raghubanshi, A.S., & Singh, J.S. (2011). Plant functional traits with particular reference to tropical deciduous forests: A review. *Journal of Biosciences*, 36(5), 963–981.
- Chehma A., 2006. *Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien*. Laboratoire de protections des écosystèmes en zones arides et semi arides. Université d'Ouargla. Ed Dar El Houda, 146p.
- Chitwood, D. H., Rundell, S. M., Li, D. Y., Woodford, Q. L., Yu, T. T., Lopez, J. R., et Greenblatt, D. (2016). Visualizing development: Comparative phenotyping of plant form. *Developmental Cell*, 39(5), 546-558.
- Chouaibi M, Mahfoudhi N, Rezig L, et al. (2012) Nutritional composition of *Zizyphus lotus* L. seeds. *J Sci Food Agric* 92(6): 1171–7.
- Cornelissen, J., Lavorel, S., Garnier, E., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D., Reich, P., ter Steege, H., Morgan, H.D.G., Van der Heijden, M., Pausas, J.G.H., Poorter, H., 2003. Handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, v.51, 335-380, 51.
- Dahlia-Mahieddine, F. (2019). *Analyse de la variabilité des fruits de quelques populations de jujubier sauvage (Ziziphus lotus L. Desf.) en Algérie* (Thèse de doctorat). Université Ibn Khaldoun, Tiaret, Algérie.
- de la Riva, E. G., Tosto, A., Pérez-Ramos, I. M., Navarro-Fernández, C. M., Olmo, M., Anten, N. P. R., Marañón, T., & Villar, R. (2016). A plant economics spectrum in Mediterranean forests along environmental gradients: Is there coordination among leaf, stem and root traits? *Journal of Vegetation Science*, 27(1), 187–199.
<https://doi.org/10.1111/jvs.12341>

- Díaz, S., Hodgson, J. G., Thompson, K., Cabido, M., Cornelissen, J. H. C., Jalili, A., ... & Zak, M. R. (2016). The global spectrum of plant form and function. *Nature*, 529(7585), 167–171. <https://doi.org/10.1038/nature16489>
- Dobignard A. & Chatelain C., 2013. *Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord. Vol. 5 : Dicotyledoneae : Oleaceae à Zygophyllaceae*. Genève, Suisse : Ville de Genève, Éditions des Conservatoire et Jardins botaniques.
- Dwyer, J.M., Hobbs, R.J., Mayfield, M.M., 2014. Specific leaf area responses to environmental gradients through space and time. *Ecology* 95, 399–410.
- Elaloui M, Laamouri A, Albouchi A, Cerny M, Mathieu C, Vilarem G, et al. Chemical compositions of the Tunisian *Ziziphus jujuba* oil. 2014; *Emir. J. Food Agric.* 26 (7).
- Elgorashi E.E., Taylor J.L.S., Maes A., Staden J.V., De Kimpe N., Verschaeve L., 2003. Screening of medicinal plants used in South African traditional medicine for genotoxic effects. *Toxicology Letters*, 143 : 195 – 207.
- Emberger L., 1955.- Une classification biogéographique des climats. Rev. Trav. Lab. Bot., Montpellier, 7, 3-43.
- Espiard E., 2002. *Introduction à la transformation industrielle des fruits*. Tec et doc(Ed). 360p. Gast M., Chaker S., 2004. « Jujubier », in 26 *Judaïsme – Kabylie*, Aix-en-Provence, Edisud (« Volumes », no 26).
- Fabricif L.B., Renard V., 1999. *Les fruits tropicaux*. Ed. Le grand livre. France, 189p.
- Falster, D. S., & Westoby, M. (2003). Plant height and evolutionary games. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(7), 337–343.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (4th ed.). London: SAGE Publications. ISBN 978-1-4462-4917-8.
- Freschet, G. T., Cornelissen, J. H. C., van Logtestijn, R. S. P., & Aerts, R. (2010). Substantial nutrient resorption from leaves, stems and roots in a subarctic flora: What is the link with other resource economics traits? *New Phytologist*, 186(4), 879–889. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03228.x>
- Garnier, E., & Navas, M.-L. (2013). *Diversité fonctionnelle des plantes : cours Licence 3, Master et Doctorat en Sciences de la Vie et de la Terre, concours de l'enseignement : traits des organismes, structure des communautés, propriétés des écosystèmes*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur. ISBN 978-2-8041-7562-7
- Garnier, E., Shipley, B., Roumet, C., Laurent, G., 2001. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology* 15, 688–695.
- Garnier, E., Shipley, B., Roumet, C., Laurent, G., 2001. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology* 15, 688–695.
- Gharnit, N., El Mtili, N., Ennabili, A., et Sayah, F. (2010). Aspects de la phénologie fructifère du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans la région de Chefchaouen (NW Maroc). *Journal of Materials and Environmental Science*, 1(2), 107-113.
- Ghazi-Yaker, A., Kraak, B., Houbraken, J., Houali, K., & Saadoun, N. (2022). Diversity

of endophytic and epiphytic fungi associated with leaves of *Ziziphus lotus* (L.) Lam. from Algeria. *Polish Journal of Ecology*, 70(4), 159-174.

- Ghedira, K. (2013). *Zizyphus lotus* (L.) Desf. (Rhamnaceae) : jujubier sauvage. *Phytothérapie*, 11(3), 149-153. <https://doi.org/10.1007/s10298-013-0776-8>
- Gipsy. (2023, 24 octobre). Le Jujubier (*Ziziphus jujuba*) : ses bienfaits et nos conseils pour le consommer. Récupéré de <https://www.aroma-zone.com/page/le-jujubier-ziziphus-jujuba-ses-bienfaits-et-nos-conseils-pour-le-consommer>
- Gong, H., Yang, M., Wang, C., & Tian, C. (2023). *Leaf phenotypic variation and its response to environmental factors in natural populations of *Eucommia ulmoides**. *BMC Plant Biology*, 23(562). <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04583-3>
- Gueda Ba, S.H., 2005. *Etude phytochimique et activités biologiques de *Ziziphus mauritiana* Lam. (Rhamnaceae) utilisé dans le traitement traditionnel du diabète et de l'hyper-tension artérielle en Mauritanie*.Thèse de Doctorat. Univ d'Odonto-Stomatologie du Mali. P.147.
- Houma, I. (2022). *Ziziphus lotus* (L.) morphological description from wild populations in Algeria. *Agrobiologia*, 12(1), 2915–2931.
- Houma, I. *Etude Eco botanique du jujubier (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.) Dans les zones arides et semi-arides En Algérie*, Thèse de doctorat. Université ZIANE ACHOUR-Djelfa.
- Ifticene-Habani, N., Chebouti-Meziou, N., & Chebouti, Y. (2022). Interactions entre les variables dendrométriques du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de la steppe centrale (Djelfa). *Revue Agrobiologia*, 12(1), 2951–2960.
- Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (2010). Source monitoring. *Psychological Bulletin*, 114(1), 3-28.
- Joly, D., Brossard, T., Cardot, H., et al. (2010). Les types de temps en climatologie : définition, méthodes et applications. *Annales de Géographie*, 678(2), 166–193. <https://doi.org/10.3917/ag.678.0166>
- Kattge, J., Díaz, S., Lavorel, S., Prentice, I. C., Leadley, P., Bönisch, G., Wirth, C. (2011). TRY – a global database of plant traits. *Global Change Biology*, 17(9), 2905–2935. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02451.x
- Krintza, N., Dener, E., et Seifan, M. (2024). Stress induces trait variability across multiple spatial scales in the arid annual plant *Anastatica hierochuntica*. *Plants*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/plants13020256>
- Laamouri A., Ammari Y., Albouchi A., Sghaier T., Mguis K., et Akrimi N., 2008. Etude comparative de la croissance et du développement du système racinaire de trois espèces de jujubier en Tunisie. *Geo-Eco-Trop*, 32: 37- 46.
- Lavorel, S., & Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16(5), 545–556.

- Le Stradic, S. (2008). Relation entre les traits fonctionnels des végétaux des ravines marneuses et leurs capacités à résister au déracinement. *Biologos*, 7, 17-29.
- Liu, W., Zheng, L., & Qi, D. (2020). Variation in leaf traits at different altitudes reflects the adaptive strategy of plants to environmental changes. *Ecology and Evolution*, 10(14), 6935–6947.
- Mabberley, D. J. (1987). *The plant book* (pp. 465–470). Cambridge University Press.
- Malhado, A. C. M., Malhi, Y., Whittaker, R. J., Ladle, R. J., ter Steege, H., Phillips, O. L., & Malhado, J. (2009). *Spatial distribution and functional significance of leaf lamina shape in Amazonia*. *Biogeosciences*, 6(8), 1577–1590. <https://doi.org/10.5194/bg-6-1577-2009>
- Maraghni M., Gorai M., Neffati M., 2011. The Influence of Water-Deficit Stress on Growth, Water Relations and Solute Accumulation in Wild Jujube (*Ziziphus lotus*). *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, 1(2): 63-72.
- Maraghni, M, Gorai, M., ET Neffati, M., 2010. Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Ziziphus lotus*. *South African Journal of Botany*, 76: 453–459.
- Martín-Sánchez, R., Sancho-Knapik, D., Alonso-Forn, D., López-Ballesteros, A., Ferrio, J. P., Hipp, A. L., Peguero-Pina, J. J., & Gil-Pelegrín, E. (2024). *Oak leaf morphology may be more strongly shaped by climate than by phylogeny*. *Annals of Forest Science*, 81(14). <https://doi.org/10.1186/s13595-024-01232-z>
- Maydell D.J.V., 1990. *Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations*. Version française GTZ, Eschbom. 531 p.
- Moussaouali, B., & Hamdi Aïssa, B. (2017). Utilisation de traits fonctionnels pour caractériser l’adaptation de *Sulla coronaria* L. aux conditions agroécologiques du Sahara algérien en culture irriguée. *Fourrages*, 232, 341-345.
- Munier, P. (1973). Le jujubier et sa culture. *Fruits*, 28(5), 377-388.
- Nasri-Ayachi M.B. & Nabli M.A., 2009. Floral biology study of *Ziziphus lotus* L. *Acta Hort.*, 840, 337-342, doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.840.46.
- Ndamiyeh Ncutirakiza, J.-B., Lejeune, P., Gourlet-Fleury, S., Fayolle, A., Ndjele Mianda-Bungi, L., & Ligot, G. (2020). Quantifier les dimensions des houppiers à l’aide d’images aériennes à haute résolution pour estimer l’accroissement diamétrique des arbres dans les forêts d’Afrique centrale. *Bois et Forêts des Tropiques*, 343, 67-81. <https://doi.org/10.19182/bft2020.343.a31848>
- Nicotra, A. B., Leigh, A., Boyce, C. K., Jones, C. S., Niklas, K. J., Royer, D. L., & Tsukaya, H. (2011). The evolution and functional significance of leaf shape in the angiosperms. *Functional Plant Biology*, 38(7), 535–552. <https://doi.org/10.1071/FP11057>
- Niinemets, Ü. (2001). Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. *Ecology*, 82(2), 453–469.
- Niinemets, Ü. (2010). Responses of forest trees to single and multiple environmental stresses from seedlings to mature plants: past stress history, stress interactions, tolerance and acclimation. *Forest Ecology and Management*, 260(10), 1623–1639.

- Niinemets, Ü., & Valladares, F. (2006). Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate Northern Hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs*, 76(4), 521–547.
- Ninyerola, M., Pons, X., & Roure, J.M. (2007). Objective delineation of homogeneous regions in the Catalan Pyrenees and Eastern Pyrenean Foreland based on bioclimatology. *International Journal of Climatology*, 27(4), 475–493.
- Nyaberi, M. O., Onyango, C. A., Mathooko, F. M., Maina, J. M., Makobe, M., & Mwaura, F. (2010). Evaluation of phytochemical, antioxidant and antibacterial activity of edible fruit extracts of *Ziziphus abyssinica* A. Rich. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 6(2), 623-629.
- Oukhrib, R., El Issami, B., El Ibrahimy, K., El Mouaden, K., Bazzi, L., Bammou, L., Chaouay, A., Salghi, R., Hammouti, B., & Amin-Alamie, A. (2017). *Ziziphus lotus* as a green inhibitor of copper corrosion in natural seawater. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 35(2), 187-200. <https://doi.org/10.4152/pea.201704187>
- Ozenda P., 1991. *Flore et végétation du Sahara*. Edition du CNRS (3ème édition), Paris, France. 662p.
- Paroda R.S., Mal B., 1989. New plant sources for food and industry in India. In: Wickens GE, Haq N, Day P (Eds). *New crops for food and industry*. Chapman and Hall, London, pp 135-149.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., & McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633–1644.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos, A. C., ... Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61(3), 167–234.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., ... & Cornelissen, J. H. C. (2016). Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 64, 715-716
- Pinto, P. A., & Lopes, C. M. (1998). Estimation de la surface foliaire principale et secondaire d'un sarment de vigne. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/256391314>
- Poorter, H., & Garnier, E. (1999). Ecological significance of inherent variation in relative growth rate. In F. Pugnaire & X. Valladares (Eds.), *Handbook of functional plant ecology* (pp. 81–120). Marcel Dekker.
- Poorter, H., Niinemets, Ü., Poorter, L., Wright, I. J., & Villar, R. (2009). Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist*, 182(3), 565–588.

- Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta- analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193(1), 30–50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>
- Quezel P., Santa S., 1962. *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome I. Ed. Centre national de la recherche. Paris, France. 565p.
- Rabaa C., 2007. *Le grenadier, le caroubier, le jujubier, le pistachier et l'arbousier : Le nom de l'arbre*. Ed. Actes sud le Majan (1ère édition), France. Pp : 45-62.
- Radouane, N., Errafii, K., Mouhib, S., Ait Mhand, K., Legeay, J., & Hijri, M. (2024). Potential Plant-To-Plant Transmission: Shared Endophytic Bacterial Community between *Ziziphus lotus* and Its Parasite *Cuscuta epithymum*. *Microbial Ecology*, 87(1), 119-132.
- Rais, C., Lazraq, A., Nechad, I., Houhou, M., El Harchali, H., El Ghadraoui, L., MeniMahzoum, A., & Louahlia, S. (2017). The biochemical and metabolic profiles of the leaves in *Ziziphus lotus* L. as a potential adaptive criterion to the environmental conditions. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8(5), 1626–1633
- Regehr D.L., El Brahli A., 1995. Wild Jujube (*Ziziphus lotus*) Control in Morocco. *Weed Technology*, 9 (2) : 326-330.
- Reich, P. B. (2014). The world-wide ‘fast–slow’ plant economics spectrum: a traits manifesto. *Journal of Ecology*, 102(2), 275–30.
- Rivas-Martínez, S. (2008). Global bioclimatics (Clasificación bioclimática de la Tierra). *International Journal of Geobotanical Research*.
- RSAISSI, N., & BOUHACHE, M. (2002). La lutte chimique contre le jujubier. *Transfert de Technologie en Agriculture*, 94, 1-4. <http://agriculture.ovh.org>
- Sack, L., Cowan, P. D., Jaikumar, N., & Holbrook, N. M. (2003). Leaf ‘hydrology’: co-ordination of structure and function in temperate woody species. *Plant, Cell and Environment*, 26(9), 1343–1356. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2003.01058.x>
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763–1768.
- Schrader, J., et al. (2021). Leaf size estimation based on leaf length, width and shape. *Annals of Botany*, 128(4), 395–406. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab078>
- Singh A.K., Devanshi I, Sharma P., Singh R., Singh B., Koundal K.R. and Singh N.K., 2007. Assessment of Genetic Diversity in *Ziziphus mauritiana* Using Inter-Simple Sequence Repeat Markers. *J. Plant Biochemistry & Biotechnology*, 16(1) : 35-40.
- Souleymane A-A., 2016. Potential Benefits of Jujube (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.) Bioactive Compounds for Nutrition and Health. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 6:1-13.
- Souza Neto, M. A. de. (2016). *Ziziphus joazeiro Martius: Estudo fitoquímico do extrato hidroetanólico das folhas, fracionamento bioguiado anti-Candida e avaliação do efeito protetor em modelo de doença inflamatória intestinal* (Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte).
- Suksamrarn S., Suwannapoch N. Aunchai N. Kuno M. Ratananukul P. Haritakum R. Jansakul C. Ruchirawat S., 2005. Ziziphine N, O, P, new antiplasmodial cyclopeptide alkaloids from *Ziziphus oenoplia* var. *brunoniana*. *Tetrahedron*, 61:1175-1180.

- Tardío J., Sánchez-Mata M.C., Morales R., Molina M., García-Herrera P., Morales P., DíezMarqués C., Fernández-Ruiz V., Cámara M., Pardo-de-Santayana M., 96 MatallanaGonzález M.C., Ruiz-Rodríguez B.M., Sánchez-Mata D., Torija-Isasa M.E, GuilGuerrero J.L. and Boussalah N., 2016. Chapter 13. Ethnobotanical and Food Composition Monographs of Selected Mediterranean Wild Edible Plants: *Mediterranean Wild Edible Plants*, M. de C. Sánchez-Mata, J. Tardío (eds.), Springer Science+Business Media New York, pp: 273 – 470.
- Torres-García, M. T., Salinas-Bonillo, M. J., Pacheco-Romero, M., & Cabello, J. (2021). Modular growth and functional heterophylly of the phreatophyte *Ziziphus lotus*: A trait-based study. *Plant Species Biology*, 36(4), 554–566. <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12343>
- Valladares, F., & Brites, D. (2004). Leaf phyllotaxis: Does it really affect light capture? *Plant Ecology*, 174(1), 1–11.
- Vicente-Serrano, S.M., Gouveia, C., Camarero, J.J., et al. (2013). Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(1), 52–57. <https://doi.org/10.1073/pnas.1207068110>
- Vile, D., Garnier, E., Shipley, B., Laurent, G., Navas, M.-L., Roumet, C., Bigot, R., & Toussaint, J.-P. (2005). Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. *Annals of Botany*, 96(6), 1129–1136. <https://doi.org/10.1093/aob/mci264>
- Violle, C., Enquist, B. J., McGill, B. J., Jiang, L., Albert, C. H., Hulshof, C., Jung, V., & Messier, J. (2012). The return of the variance: Intraspecific variability in community ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(4), 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.11.014>
- Violle, C., Navas, M.-L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., Garnier, E., 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116, 882–892. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>
- Wright, I. J., Dong, N., Maire, V., Prentice, I. C., Westoby, M., Díaz, S., Gallagher, R. V., Jacobs, B. F., Kooyman, R., Law, E. A., Leishman, M. R., Niinemets, Ü., Reich, P. B., Sack, L., Villar, R., Wang, H., & Wilf, P. (2017). Global climatic drivers of leaf size. *Science*, 357(6354), 917–921. <https://doi.org/10.1126/science.aal4760>
- Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., et Villar, R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985), 821–827.
- Yang, Y., Wang, Z., Bao, W., Wu, N., Hu, H., Yang, T., Li, X., Nkrumah, D. T., et Li, F. (2024). Environmental aridity driving latitudinal pattern of biomass allocation fractions in root systems of 63 shrub species in dry valleys. *Ecology and evolution*, 14(8), e70091. <https://doi.org/10.1002/ece3.70091>
- Zouaoui R., Ksontini M. Ferchichi A., 2013. Effet de l'intensité de la contrainte hydrique sur la germination de *Ziziphus lotus* (L.) Lam., des régions arides de la Tunisie. *Algerian journal of arid environment*, 3 : 35-49.
- Zouggar, H., Ben Haj Jilani, I., Mekious, S., Belhadj, S., Mahdad, Y. M., Masseaux, C., & Boulahbel, H. (2024). Miel de jujubier d'Algérie : analyse méliissopalynologique et caractères morphologiques du pollen. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 28(2), 69-81. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.20682>.

- Lebane Y., Zidane A., 1995.- Carte bioclimatique de l'Algérie septentrionale au 1/500.000. Mémoire Ingéniorat, Univ. Sci. Tech. H. Boumediene, Alger, 42 p. + Ann.
- Seltzer., 1946. – Le climat de l'Algérie. Ed : Institut de météorologie et de physique du globe. Alger, 218 p.
- Shipley, B., De Bello, F., Cornelissen, J. H. C., Laliberté, E., Laughlin, D. C., & Reich, P. B. (2016). Reinforcing loose foundation stones in trait-based plant ecology. *Oecologia*, 180(4), 923–931.
- Kalinganire, A., & Koné, B. (2011). *Ziziphus mauritiana*, jujubier. Conservation et utilisation durable des ressources génétiques des espèces ligneuses alimentaires prioritaires de l'Afrique subsaharienne. *Bioversity International / ICRAF*.

Annexes

Annexe 1 :

Tableau 1. Tableau récapitulatif des données climatiques de Boumerdès (1991–2021) (<https://fr.climate-data.org/info/sources/>.)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep- tembre	Octobre	No- vembre	Décembre
Température moyenne (°C)	9.8	10	12.5	15	18.4	22.9	26.4	26.6	23.3	19.9	14.1	11
Température minimale moyenne (°C)	5.9	5.8	7.8	9.9	12.9	16.8	20	20.8	18.3	15.2	10.4	7.3
Température maximale (°C)	14.5	14.8	17.6	20.2	23.7	28.8	32.6	32.8	29	25.5	18.8	15.5
Précipitations (mm)	94	79	74	69	53	9	2	9	34	61	96	92
Humidité(%)	75%	73%	72%	71%	69%	59%	54%	56%	63%	64%	71%	74%
Jours de pluie (frée)	9	8	7	7	5	2	1	1	5	6	9	8
Heures de soleil (h)	6.8	7.5	8.7	9.9	11.0	12.3	12.4	11.4	10.1	8.9	7.3	6.8

Annexe 2 :

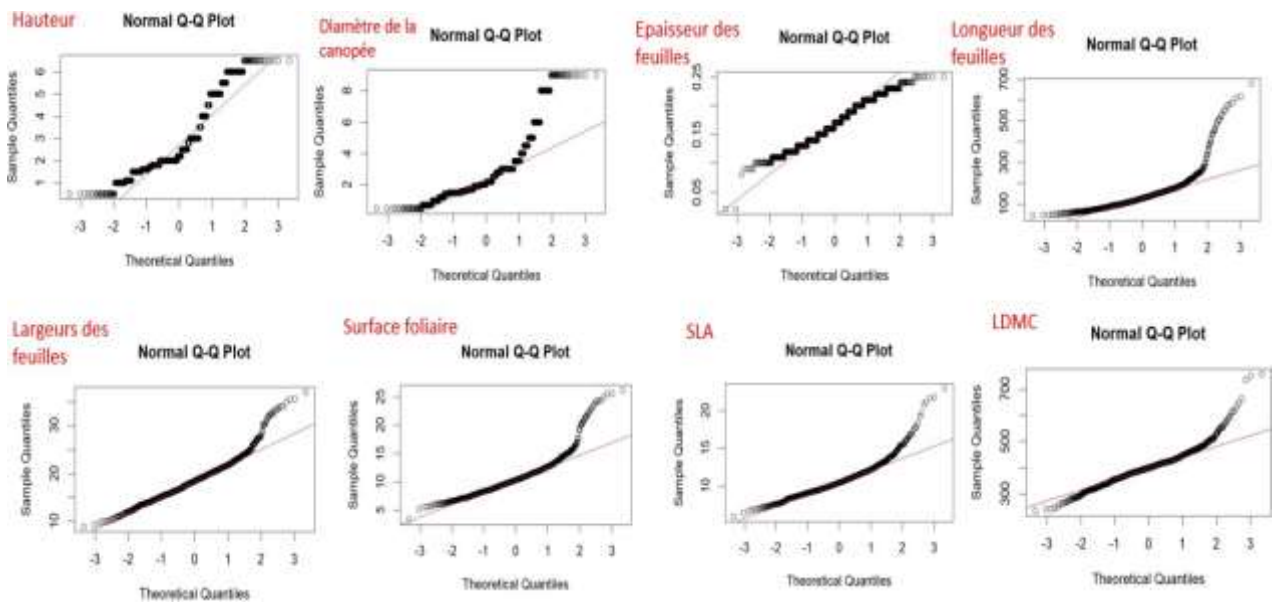


Figure 1. Q-Q plots illustrant l'absence de normalité des variables étudiées.

Annexe 3 :

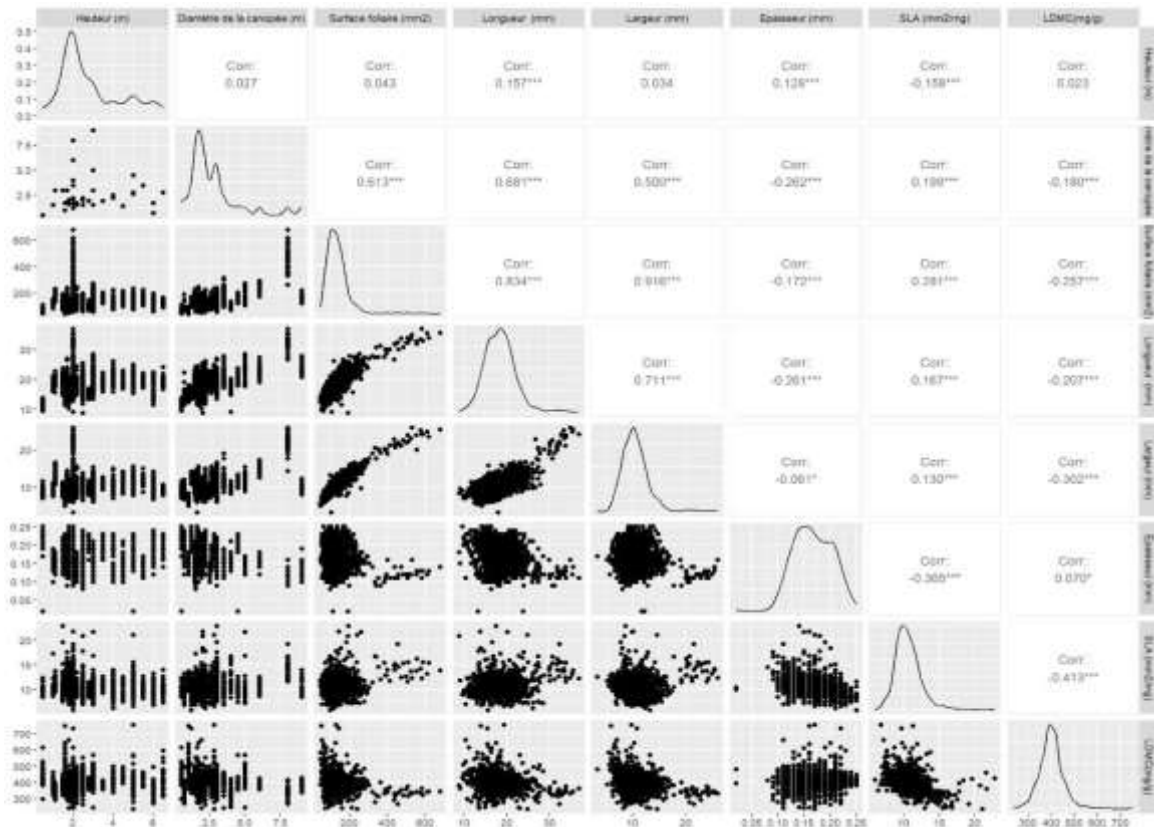


Figure 1. Représentations détaillées des corrélations entre les paramètres morpho-fonctionnels étudiés.

Annexe 4 :

Tableau 2. Données climatiques utilisées pour le calcul du quotient Q2 des 4 Stations

Ouled Ameur			Djaouna		
Paramètre	Valeur	Unités	Paramètre	Valeur	Unités
Température maximale moyenne	30.62	°C	Température maximale moyenne	30.62	°C
Température maximale moyenne	303.77	K	Température maximale moyenne	303.77	K
Température minimale moyenne	4.67	°C	Température minimale moyenne	4.67	°C
Température minimale moyenne	273.82	K	Température minimale moyenne	273.82	K
Température annuelle moyenne	17.64	°C	Température annuelle moyenne	17.64	°C
Pluviométrie annuelle moyenne	739.2	mm	Pluviométrie annuelle moyenne	684.8	mm
Quotient (Q2)	85.10	/	Quotient (Q2)	85.10	/

Chabet el Ameur			Aith Belaid		
Paramètre	Valeur	Unités	Paramètre	Valeur	Unités
Température maximale moyenne	31.95	°C	Température maximale moyenne	31.46	°C
Température maximale moyenne	305.1	K	Température maximale moyenne	304.61	K
Température minimale moyenne	5.43	°C	Température minimale moyenne	5.15	°C
Température minimale moyenne	278.58	K	Température minimale moyenne	278.3	K
Température annuelle moyenne	18.69	°C	Température annuelle moyenne	18.30	°C
Pluviométrie annuelle moyenne	684.36	mm	Pluviométrie annuelle moyenne	684.8	mm
Quotient (Q2)	85.10	/	Quotient (Q2)	85.10	/

Résumé :

Les plantes ajustent leur morphologie et leur physiologie pour faire face aux contraintes environnementales. Cette plasticité, exprimée à travers leurs traits fonctionnels, reflète leurs stratégies écologiques. Dans la région de Boumerdès, nous avons étudié 40 individus de *Ziziphus lotus* (L.) Desf., en mesurant 1 200 feuilles réparties sur quatre stations. Huit paramètres ont été pris en compte : la hauteur, le diamètre de la canopée, la longueur, la largeur, l'épaisseur et la surface des feuilles, ainsi que le SLA (Specific Leaf Area) et le LDMC (Leaf Dry Matter Content). L'ANOVA robuste suivie de tests post hoc a révélé des différences significatives entre stations. Les grandes feuilles, associées à un SLA élevé, traduisent une stratégie d'acquisition rapide, tandis que les petites feuilles, à LDMC fort, indiquent une stratégie conservatrice. Ces résultats illustrent la plasticité adaptative remarquable de *Z. lotus*.

Mots-clés : *Ziziphus lotus*, traits fonctionnels, plasticité, SLA, LDMC, Boumerdès.

Abstract:

Plants adjust their morphology and physiology to cope with environmental constraints. This plasticity, expressed through functional traits, reflects their ecological strategies. In the Boumerdès region, 40 individuals of *Ziziphus lotus* (L.) Desf. were studied, with 1,200 leaves measured across four stations. Eight parameters were considered: height, canopy diameter, leaf length, width, thickness, surface area, as well as SLA (Specific Leaf Area) and LDMC (Leaf Dry Matter Content). ANOVA robuste followed by post hoc tests revealed significant differences among stations. Larger leaves, with high SLA, indicate a rapid resource acquisition strategy, while smaller leaves, with higher LDMC, show a conservative strategy. These results highlight the remarkable adaptive plasticity of *Z. lotus*.

Keywords: *Ziziphus lotus*, functional traits, plasticity, SLA, LDMC, Boumerdès.

Resumen :

Las plantas ajustan su morfología y fisiología para enfrentar limitaciones ambientales. Esta plasticidad, reflejada en sus rasgos funcionales, muestra sus estrategias ecológicas. En la región de Boumerdès se estudiaron 40 individuos de *Ziziphus lotus* (L.) Desf., con 1 200 hojas medidas en cuatro estaciones. Se evaluaron ocho parámetros: altura, diámetro de la copa, longitud, anchura, grosor y superficie foliar, así como SLA (Área Foliar Específica) y LDMC (Contenido de Materia Seca Foliar). El ANOVA robusto seguido de pruebas post hoc mostró diferencias significativas entre estaciones. Las hojas grandes, con SLA elevado, indican una estrategia de adquisición rápida, mientras que las hojas pequeñas, con alto LDMC, reflejan una estrategia conservadora. Estos resultados ilustran la notable plasticidad adaptativa de *Z. lotus*.

Palabras clave : *Ziziphus lotus*, rasgos funcionales, plasticidad, SLA, LDMC, Boumerdès.