

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou



**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département d'Ecologie et Environnement**

Mémoire présenté dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Ecologie Végétale

Sujet :

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

Par :

SI AMER Ania

Soutenue publiquement le, 25/09/2025

Devant le jury composé de :

Présidente : Mme METNA F. MCA, à l'UMMTO

Promotrice : Mme BERRACHED R. MCA, à l'UMMTO

Examinatrice : Mme HEDJAM H. MCB, à l'UMMTO

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Je tiens à remercier Mme Berrached R. Promotrice, pour sa rigueur scientifique et son encadrement tout au long de ce travail.

J'exprime ma gratitude à Mme Metna F. Présidente du jury, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'évaluer ce mémoire avec sérieux et professionnalisme.

Je remercie Mme Hedjam H. Examinatrice, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant d'évaluer ce mémoire et pour l'attention portée à ce travail.

Enfin, j'adresse mes remerciements à l'équipe du Haut Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS) de Djelfa) pour leur disponibilité et leur collaboration durant cette étude.

Dédicace

Je remercie Dieu Tout-Puissant pour la force, la patience et la lumière qu'Il m'a accordées tout au long de ce parcours.

À moi

Pour avoir tenu bon malgré les épreuves, pour chaque effort silencieux et chaque moment de courage.

Je me dédie ce travail en signe de reconnaissance envers ma propre persévérance, ma patience et ma volonté de ne jamais abandonner. Que ce mémoire soit la preuve que je peux croire en moi et aller toujours plus loin. Je suis fière de moi.

À ma maman

À ma maman, la personne la plus précieuse de ma vie. Merci pour ton amour, ta patience et tes encouragements qui m'ont toujours donné la force d'avancer. Merci à toi qui as toujours cru en moi.

Maman, je suis fière d'être ta fille, et je prie pour que Dieu te garde longtemps auprès de moi, en bonne santé et dans le bonheur. Je t'aime plus que les mots ne pourront jamais le dire. Ta présence est le plus beau cadeau que la vie m'ait offert.

À ma grande sœur Malika et son mari Quentin

Ma chère grande sœur, tu as toujours eu une place unique dans ma vie. Depuis mon enfance jusqu'à aujourd'hui, tu as été mon exemple, mon soutien et ma force silencieuse. Ton amour et ta présence sont des trésors que je chéris profondément. Je suis fière de t'avoir comme sœur.

Au mari de ma sœur, pour ton respect, ton soutien et la bienveillance que tu as toujours manifesté. Ta présence compte beaucoup pour moi et pour notre famille.

À mes petites sœurs Nihad et Sophia

À mes petites sœurs chéries, ma joie et ma fierté, dont la présence illumine ma vie. Je vous aime de tout mon cœur.

À mon amie Hayet

À toi, Hayet, qui as toujours su trouver les mots justes pour m'encourager dans les moments difficiles malgré les distances. Ta sincérité, ton écoute et ta bienveillance font de toi une amie précieuse. Merci d'avoir été présente dans mon parcours, avec ton énergie et ton sourire qui m'ont tant apporté.

À mon amie Liza

À toi, Liza, qui as illuminé mon chemin de ton optimisme et de ton humour. Ton soutien constant et ta capacité à voir le positif même dans les situations compliquées m'ont beaucoup inspirée. Merci pour ta loyauté et pour les beaux souvenirs que nous partageons.

À mon amie Nacima

À toi, Nacima, dont la gentillesse et la générosité m'ont toujours touchée. Ton amitié est une source de réconfort et de confiance, et je suis reconnaissante pour toutes les fois où tu as su m'apporter ton aide et ton affection. Merci d'être là, avec ton sourire et ta présence qui rendent les choses plus légères.

À mon ami Ferhat

À mon ami Ferhat, pour ton amitié sincère, ton soutien et les bons moments partagés. Ta présence a toujours été précieuse dans mon parcours.

À mon amie Katia

À toi, Katia, que j'ai eu la chance de rencontrer à l'université. Ton amitié a été un véritable cadeau au cours de ce parcours. Merci pour ton soutien, ta présence et les beaux souvenirs que nous avons construits ensemble.

À mon amie Myassa

À toi, Myassa, avec qui j'ai partagé tant de moments précieux à l'université. Je suis reconnaissante d'avoir trouvé en toi une amie fidèle.

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Morphologie générale de <i>Ziziphus lotus</i> | 5 |
| Figure 2 : Système racinaire de <i>Z. lotus</i> | 6 |
| Figure 3 : Morphologie de <i>Z. lotus</i> | 7 |
| Figure 4 : Distribution de <i>Ziziphus lotus</i> en Algérie (Quezel et Santa, 1962)..... | 8 |
| Figure 5 : Carte administrative de la wilaya de Djelfa..... | 17 |
| Figure 6 : Situation géographique des quatre stations d'étude sur la carte administrative de Djelfa. | 22 |
| Figure 7 : Sélection des feuilles de <i>Z. lotus</i> | 23 |
| Figure 8 : Mesure des dimensions foliaires de <i>Z. lotus</i> | 24 |
| Figure 9 : Scanner Canon LIDE 110,(b) :Surface d'une feuille mesurée à l'aide du logiciel Mesurim Pro v3.4 (2013)..... | 24 |
| Figure 10 : Comparaison multiple de la hauteur des individus de <i>Z. lotus</i> selon les quatre stations échantillonnés..... | 30 |
| Figure 11 : Comparaison multiple de la largeur de la canopée des individus de <i>Z. lotus</i> selon les quatre stations échantillonnés..... | 31 |
| Figure 12 : Comparaison multiple de la longueur foliaire de <i>Z. lotus</i> selon les quatre stations échantillonnés..... | 33 |
| Figure 13 : Comparaison multiple de la largeur foliaire de <i>Z. lotus</i> selon les quatre stations échantillonnés..... | 33 |
| Figure 14 : Comparaison multiple de l'épaisseur foliaire de <i>Z. lotus</i> selon les quatre stations échantillonnés..... | 34 |
| Figure 15 : Comparaison multiple de la surface foliaire de <i>Z. lotus</i> selon les quatre stations échantillonnés..... | 35 |
| Figure 16 : Comparaison multiple du SLA de <i>Z. lotus</i> selon les quatre stations échantillonnés... | 36 |
| Figure 17 : Comparaison multiple du LDMC de <i>Z. lotus</i> selon les quatre stations échantillonnés | 38 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Coordonnées géographiques, altitudes et étage bioclimatique des quatre stations.... | 22 |
| Tableau 2 : Statistiques descriptives des traits fonctionnels étudiés en fonction des quatre stations échantillonnées..... | 26 |
| Tableau 3 : Résultat des tests ANOVA des différents traits étudiés au niveau des quatre stations | 28 |
| Tableau 4 : P-values des comparaisons multiples (test post-hoc)..... | 29 |

Table des matières

| | |
|--|----------|
| Introduction | 1 |
| Chapitre 1 : Généralité sur le <i>Ziziphus lotus</i> (L). Desf.et les traits fonctionnels | 4 |
| 1. Origine du jujubier sauvage | 4 |
| 2. Nomenclature | 4 |
| 3. Systématique | 4 |
| 4. Description morphologique du jujubier sauvage | 5 |
| 4.1. Allure générale de la plante..... | 5 |
| 4.2. Système racinaire..... | 5 |
| 4.3. Rameaux | 6 |
| 4.4 Feuilles..... | 6 |
| 4.5. Fleurs..... | 6 |
| 4.6 Fruits..... | 7 |
| 5. Répartition géographique de l'espèce..... | 7 |
| 5.1. Répartition dans le monde..... | 7 |
| 5.2. Répartition en Algérie | 8 |
| 6. Ecologie de <i>Ziziphus lotus</i> | 8 |
| 7. Intérêt écologique de <i>Ziziphus lotus</i> | 9 |
| 8. Utilisations du <i>Ziziphus lotus</i> | 10 |
| 8.1. Utilisation en médecine traditionnelle | 10 |
| 8.2. Utilisation en nutrition..... | 10 |
| 8. 3. Utilisation de <i>Ziziphus lotus</i> comme insecticide..... | 11 |
| 8.4. Autres utilisations | 11 |
| 9. Activités biologiques et propriétés thérapeutiques de <i>Ziziphus lotus</i> | 11 |
| 9.1. Activités anti-inflammatoires et analgésiques de <i>Z. lotus</i> | 11 |
| 9.2. Activités antifongiques et anti-mollusques de <i>Z. lotus</i> | 12 |
| 9.3. Activités anti-ulcérogéniques de <i>Z. lotus</i> | 12 |
| II. Présentation des traits fonctionnels | 12 |
| 1. Hauteur de la plante | 13 |
| 2. Largeur de la canopée | 13 |
| 3. Longueur de la feuille | 14 |

| | |
|--|-----------|
| 4. Largeur de la feuille | 14 |
| 5. Épaisseur de la feuille | 14 |
| 6. Surface foliaire | 15 |
| 7. Surface foliaire spécifique (Specific Leaf Area, SLA) | 15 |
| 8. Teneur en matière sèche des feuilles (Leaf Dry Matter Content, LDMC)..... | 16 |
| Chapitre 2 : | 17 |
| Matériels et Méthodes..... | 17 |
| I. Présentation de la zone d'étude | 17 |
| 1. Situation géographique et administrative de la zone d'étude..... | 17 |
| 2. Géologie | 18 |
| 3. Géomorphologie | 18 |
| 4. Pédologie..... | 19 |
| 5. Hydrologie..... | 19 |
| 6. Climat..... | 20 |
| 7. Végétation..... | 20 |
| II. Méthodologie | 21 |
| 1. Choix des stations..... | 21 |
| 2. Caractérisation bioclimatique des stations étudiées..... | 21 |
| 3. Echantillonnage de <i>Z. lotus</i> | 22 |
| 3.1. Hauteur maximale (Hmax) | 23 |
| 3.2. Largeur de la canopée | 23 |
| 3.3 Mesures des traits foliaires | 23 |
| 3.3.1. Épaisseur, longueur et largeur du limbe | 23 |
| 3.3.2. Surface foliaire | 24 |
| 3.3.3. L'indice SLA (Specific Leaf Area) | 25 |
| 3.3.4. L'indice LDMC (Leaf Dry Matter Content) | 25 |
| 4. Analyses statistiques | 25 |
| Chapitre 3 : | 26 |
| Résultats et Discussions | 26 |
| 1. Résultats des statistiques descriptives des traits fonctionnels en fonction des stations..... | 26 |
| 1.1. Hauteur (Hmax) | 26 |

| | |
|---|-----------|
| 1.2. Diamètre de la canopée | 26 |
| 1.3. Longueur de la feuille | 27 |
| 1.4. Largeur de la feuille | 27 |
| 1.5. Epaisseur de la feuille | 27 |
| 1.6. Surface foliaire..... | 27 |
| 1.7. Surface foliaire spécifique (SLA) | 27 |
| 1.8. Teneur en matière sèche des feuilles (LDMC) | 28 |
| 2. Analyse de la variance des traits morphologiques et fonctionnels selon les stations..... | 28 |
| 2.1. Hauteur..... | 29 |
| 2.2. Largeur de la canopée | 30 |
| 2.3. Longueur des feuilles..... | 30 |
| 2.4. Largeur des feuilles..... | 31 |
| 2.5. Épaisseur foliaire..... | 33 |
| 2.6. Surface foliaire..... | 34 |
| 2.7. Surface foliaire spécifique (SLA)..... | 35 |
| 2.8. Teneur en matière sèche des feuilles (LDMC)..... | 37 |
| Conclusion..... | 39 |
| Références bibliographiques..... | 40 |

Introduction

Les zones arides et semi-arides représentent des environnements particulièrement contraignants pour la végétation en raison de la rareté et de l'irrégularité des précipitations, de l'intensité de l'ensoleillement, des vents desséchants et de la pauvreté des sols. En Algérie, ces zones couvrent plus de 90 % du territoire national, et sont aujourd'hui au cœur des préoccupations écologiques du fait de leur vulnérabilité face aux effets du changement climatique (Halitim, 1988 ; Amara et Benabdeli, 2020). La combinaison de la hausse des températures et de la baisse de la pluviométrie accentue l'aridification des milieux, avec des conséquences directes sur la dynamique des écosystèmes, la structure de la végétation et les capacités de résilience des espèces (Nouidjem et *al.*, 2021 ; Hirche et *al.*, 2011).

Dans ces conditions extrêmes, les plantes adoptent diverses stratégies d'adaptation morphologiques, physiologiques et phénologiques leur permettant de limiter les pertes hydriques, d'optimiser l'acquisition des ressources, et de maintenir leurs fonctions vitales. L'approche basée sur l'étude des traits fonctionnels végétaux constitue aujourd'hui un cadre conceptuel robuste pour analyser ces réponses adaptatives (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2013 ; Cornelissen et *al.*, 2003). Ces traits, mesurables à l'échelle de l'individu, sont directement liés à la performance de la plante, à ses stratégies écologiques, et à son interaction avec l'environnement. Parmi eux, les traits foliaires tels que la surface foliaire spécifique (SLA), la teneur en matière sèche (LDMC), l'épaisseur qui sont particulièrement informatifs dans les contextes de stress hydrique, car les feuilles jouent un rôle central dans la régulation des échanges gazeux, de la photosynthèse et de la transpiration (Chaves et *al.*, 2003 ; Liu et *al.*, 2022).

Dans ce contexte, l'espèce *Ziziphus lotus* (L.) Desf., un arbuste xérophyte de la famille des Rhamnaceae, est largement répandu dans les zones arides et semi-arides du bassin méditerranéen, notamment en Algérie. Il colonise une variété d'habitats, allant des dunes sahariennes aux steppes rocheuses, illustrant sa grande plasticité écologique (Houma, 2022). Des études ont mis en évidence une variabilité morphologique significative entre les populations, notamment en ce qui concerne la taille des feuilles et la densité stomatique, en lien avec les conditions climatiques locales (Houma, 2022). Cette variabilité reflète des ajustements adaptatifs à l'aridité. Par ailleurs, la morphologie des fruits de *Z. lotus* présente également une variabilité géographique. Une étude a mis en évidence plusieurs phénotypes correspondant à des gradients d'aridité du nord au sud du pays, confirmant une réponse morphologique aux contraintes environnementales (Dahlia, M., et *al.*, 2019). Outre son intérêt écologique dans la stabilisation des sols et la facilitation de la régénération végétale, *Z. lotus* présente également une valeur médicinale importante, liée à la richesse de ses composés phytochimiques aux propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes (Ghazghazi et *al.*, 2014).

La région de Djelfa, située dans les Hautes Plaines steppiques d'Algérie, se caractérise par un climat continental rigoureux, une variabilité climatique interannuelle marquée et une aridité croissante du nord vers le sud (Bensaid et *al.*, 2019). Ce gradient climatique en fait un espace pertinent pour étudier la variabilité intraspécifique des traits adaptatifs de *Z. lotus* en réponse à des

conditions environnementales contrastées. Analyser les traits morphologiques et fonctionnels des feuilles de cette espèce dans différents sites de Djelfa peut ainsi apporter des informations précieuses sur sa stratégie d'adaptation, son écologie fonctionnelle, et sa capacité à persister dans un climat en changement.

L'objectif général de ce mémoire est d'examiner la variabilité morphologique et fonctionnelle des feuilles de *Ziziphus lotus* dans plusieurs stations de la région de Djelfa, afin de mieux comprendre ses mécanismes d'adaptation aux conditions d'aridité locales. Ce mémoire cherche, en particulier, à (1) Décrire et comparer les principaux traits foliaires (dimensions, SLA, LDMC, épaisseur, etc.) dans différentes stations représentatives des gradients d'aridité de la région de Djelfa. (2) Évaluer la variabilité intraspécifique de ces traits et en déduire les stratégies écologiques adoptées par *Z. lotus* en réponse aux contraintes abiotiques. (3) Contribuer à une meilleure compréhension de la plasticité adaptative de cette espèce dans un contexte de changement climatique, en vue d'éclairer les efforts de conservation et de restauration écologique dans les zones steppiques algériennes.

Rattaché aux thématiques scientifiques développées par le laboratoire Ressources Naturelles de la Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques de l'UMMTO, ce mémoire se décline en quatre chapitres successifs. Le premier chapitre est divisé en deux parties, la première présente le cadre général de l'étude, en décrivant les caractéristiques botaniques, écologiques et utilitaires de *Ziziphus lotus*, la deuxième partie est consacré à la revue des concepts clés relatifs aux traits fonctionnels végétaux, en particulier ceux liés à l'adaptation des plantes à l'aridité. Le deuxième chapitre expose la méthodologie adoptée pour la collecte des données, la mesure des traits foliaires, ainsi que les analyses statistiques utilisées pour interpréter les résultats. Il met également en lumière que les particularités climatiques et environnementales de la région de Djelfa. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus, leur interprétation et leur discussion, en mettant en relation les traits mesurés avec les conditions environnementales spécifiques de chaque station d'étude. Le mémoire se conclut par une synthèse, des perspectives de recherche et des recommandations pour la conservation des espèces végétales adaptées aux milieux arides.

**Chapitre 1 : Généralités sur *Ziziphus*
lotus et les traits fonctionnels**

1. Origine du jujubier sauvage

L'origine exacte du *Ziziphus lotus* (L.) Desf demeure incertaine et fait toujours l'objet de débats. Les jujubiers sont principalement originaires de Chine, du Japon et de l'Asie du Sud-Est (El Hachimi et al., 2014). Selon plusieurs auteurs (Aymonin, 1993 ; Brosse, 2000 ; Espiard, 2002 ; Su et Liuscientia, 2005), le jujubier aurait été introduit en Méditerranée depuis la Chine il y a environ 4000 ans, avant de se répandre en Algérie, Tunisie, Italie et Espagne. Toutefois, Aymonin (1993) et Brosse (2000) suggèrent une origine indienne, précisant que l'espèce aurait été introduite en Europe méditerranéenne par les Grecs et en Afrique du Nord par les Arabes. À l'inverse, Benchalah et al., (2004) avancent une origine strictement méditerranéenne.

2. Nomenclature

La nomination du *Ziziphus* vient du grec « Zizyphos », mais le mot viendrait du nom arabe « Zizouf » et n'apparaît qu'au deuxième siècle (Bonnet, 2001).

Cette plante possède de nombreuses appellations (Ghedira et al., 1995), dont:

- En arabe : Zizouf, زيزفون / sedra, سدر /sidr, سدر /sidrbarri البريالسدر ;
- En anglais : African jujube, lotus jujube, wild jujube ;
- En français : Jujubier sauvage, jujubier de Berbérie ;
- En berbère : Azzougar;
- En allemand : Wilde Jujube;
- En portugais : Acufeifa-menor;
- En espagnol : Azufaifoaficano, Arto, Espina de Cristo.

3. Systématique

D'après la classification phylogénétique APG IV (2016), le *Ziziphuslotus* répond à la systématique suivante :

- Règne : Plantae
- Embranchement : Magnoliophyta
- Sous-embranchement : Magnoliophytina
- Classe : Magnoliopsida
- Sous-classe : Rosidae
- Ordre : Rhamnales
- Famille : Rhamnaceae
- Tribu : Ziziphae
- Genre : *Ziziphus*
- Espèce : *Ziziphus lotus* (L.) Desf. (1789).

4. Description morphologique du jujubier sauvage

4.1. Allure générale de la plante

Le *Z. lotus* est un arbuste épineux (Rsaissi et Bouchache, 2002) de petite taille, formant des touffes dont la hauteur varie de 0.5 à 2.5 mètres (Figure 1) (Claudine, 2007). Il présente une forme buissonnante dès la base, avec des rameaux flexueux, très épineux, recourbés vers le sol et disposés en zigzag. Ceux-ci sont de couleur gris blanchâtre (Claudine, 2007 ; Maraghni et *al.*, 2011).



Figure 1 : Morphologie générale de *Ziziphus lotus* (Original, 2025).

4.2. Système racinaire

Le *Z. lotus* possède un système racinaire particulièrement développé, lui permettant de s'adapter aux environnements arides. Ses racines peuvent s'enfoncer à plusieurs mètres de profondeur dans le sol, lui offrant ainsi la capacité de puiser l'eau des nappes phréatiques ou des poches d'humidité situées en profondeur. Ceci est considéré comme un atout essentiel pour sa survie en milieu où les précipitations sont rares et irrégulières (Ehleringer et Dawson, 1992).

En complément de ses racines profondes, le *Z. lotus* développe un vaste réseau de racines latérales qui s'étendent largement dans le sol. Ces racines superficielles optimisent l'absorption des nutriments et de l'eau disponibles dans les couches supérieures du sol, ce qui lui permet de tirer pleinement parti des ressources, y compris lors des courtes périodes de précipitations intenses (Arndt et *al.*, 2001) (Figure 2).



Figure 2 : Système racinaire de *Z. lotus* (Original ,2025).

4. 3. Rameaux

Les rameaux du *Z. lotus* sont recourbés vers le bas, souples et de teinte blanc grisâtre, adoptant une disposition en zigzag au fur et à mesure de leur croissance (Botineau, 2015). Ils sont dotés d'épines robustes disposées par paires, dont l'orientation peut varier : certaines sont droites, tandis que d'autres sont légèrement recourbées, renforçant ainsi le caractère défensif de l'arbuste (Ghedira, 2013) (Figure 3 F)

4.4. Feuilles

Les feuilles du jujubier sont caduques, alternes et munies de stipules épineuses. Elles sont allongées, avec un limbe finement denté et d'un vert foncé brillant sur la face supérieure (Figure 3 A). Trois nervures principales convergent vers l'extrémité de la feuille. À l'aisselle des feuilles, on trouve deux stipules épineuses, plus ou moins droites et effilées : l'une, dirigée vers le haut, peut atteindre 1.8 cm de long, tandis que l'autre, orientée vers le bas, est légèrement plus courte (Arbonnier, 2002).

4.5. Fleurs

Les fleurs du *Z. lotus* sont bien visibles et de couleur jaune, avec une structure pentamère (Rsaissi et Bouchache, 2002). Elles possèdent cinq sépales ouverts en étoile, de petits pétales et un ovaire supère bisexué, ce qui signifie que chaque fleur contient à la fois des organes mâles et femelles (Rabaa, 2007) (Figure 3 B). De petite taille, elles peuvent être solitaires ou regroupées en petites inflorescences, chacune étant portée par un pédicelle court (Azam-Ali et *al.*, 2006 ; Maraghni et *al.*, 2011). Leur calice, en forme d'entonnoir, contribue à la protection des organes reproducteurs (Ghedira, 2013 ; Tardío et *al.*, 2016).

4.6. Fruits

Les fruits du *Z. lotus* sont des drupes sphériques, d'un diamètre variant entre 1 et 2 cm, rappelant par leur taille celle d'une olive (Azam-Ali et al., 2006) (Figure 3 D). Leur pulpe, relativement épaisse, peut présenter différentes teintes et textures. Elle est parfois blanc verdâtre, avec une saveur douce et légèrement acidulée, ou brun jaunâtre, offrant une consistance légèrement glutineuse et un goût sucré mais plutôt fade (Bayer et al., 2009) (Figure 3 E).



Figure 3 : Morphologie de *Z. lotus*. Feuille (A) ; fleur (B) ; épine (C) ; fruit mature (D) ; fruit immature (E) ; rameaux (F).

5. Répartition géographique de l'espèce

5.1. Répartition dans le monde

Le *Z. lotus* est présent sur une vaste aire géographique, s'étendant du Maroc à l'Afghanistan et jusqu'à la Chine. Il pousse naturellement dans le sud de l'Espagne, de l'Italie et du Portugal, ainsi qu'en Sicile, en Grèce et dans le centre de l'Europe (Brosse, 2000). En plus d'être répandu en Chine, l'espèce est également présente en Corée du Sud et en Asie occidentale (Brosse, 2000 ; Espiard, 2002 ; Adeli et Samavati, 2015).

Au Moyen-Orient, on le retrouve notamment au Yémen, sur l'île de Socotra, en Palestine, en Syrie, en Turquie et à Chypre. Très fréquent dans les régions méditerranéennes, il pénètre faiblement le Sahara septentrional et devient plus rare dans le Sahara central et occidental (Maroc, Algérie, Tunisie et Libye) (Ghedira, 2013). Il est particulièrement abondant dans les steppes désertiques et semi-désertiques d'Afrique du Nord (Tardío et al., 2016). L'espèce colonise également divers

milieux arides, tels que les plaines argileuses et pierreuses, les steppes, ainsi que les dayas désertiques des plaines et basses montagnes d'Afrique du Nord (Quézel et Santa, 1963).

5.2. Répartition en Algérie

Selon Quézel et Santa (1962), le *Z. Lotus* est largement répandu en Algérie, à l'exception du Tell algéro-constantinois. Il est particulièrement commun sur les hautes plaines steppiques, dans les régions des dayas, l'Atlas saharien et jusqu'au Sahara septentrional, notamment à Taghit (wilaya de Béchar). Cette espèce est considérée comme une composante clé des parcours sahariens (Chehema, 2006 ; Abdeddaim et al., 2014).

Dans le Sahara septentrional, cette espèce se développe principalement dans les lits d'oueds ainsi que sur les berges sableuses et caillouteuses. Elle colonise également les ravins rocheux et les pentes escarpées, bien qu'elle soit rarement présente sous forme de peuplements denses. Capable de croître jusqu'à 2000 mètres d'altitude, le *Z. lotus* forme parfois des buissons compacts et contribue à la formation de buttes en piégeant le sable transporté par le vent (Figure 4).

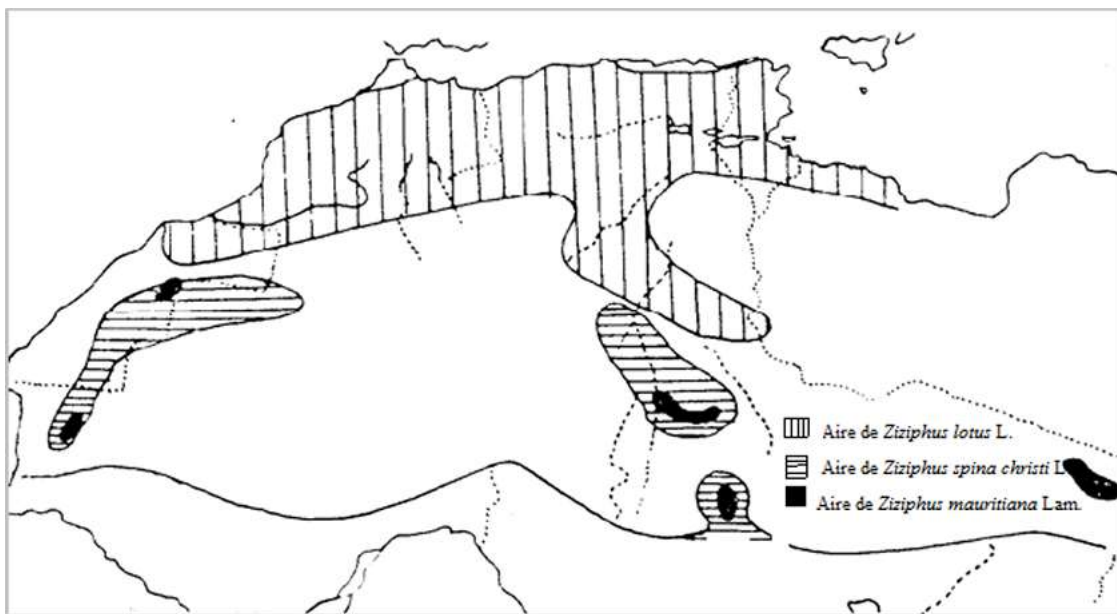


Figure 4 : Distribution de *Ziziphus lotus* en Algérie (Quézel et Santa, 1962).

6. Ecologie de *Ziziphus lotus*

Les espèces du genre *Ziziphus* possèdent diverses caractéristiques physiologiques et morphologiques qui leur confèrent une grande capacité d'adaptation à différents environnements, y compris les milieux arides, grâce à leur faible exigence en eau. Ces arbrisseaux ont une croissance très lente et ne commencent à fructifier qu'à partir de l'âge de quatre ans (Bonnet, 2001).

Le *Z. lotus* est une espèce dotée d'une forte plasticité écologique. Elle peut s'implanter dans des zones aux contrastes climatiques marqués (Emberger, 1960 ; Laamouri et al., 2008). Bien qu'elle

soit naturellement adaptée à la sécheresse et aux faibles précipitations (Asatryan et Telzur, 2014), elle s'est acclimatée à la région méditerranéenne. L'espèce peut se développer dans des régions aux contrastes climatiques marqués, avec une pluviométrie variante entre 150 et 1 000 mm (Von Maydell 1990). Par ailleurs, le *Z.lotus* possède des caractéristiques physiologiques et morphologiques qui lui confèrent une grande capacité d'adaptation aux environnements arides (Arndt, 2001). Il développe un réseau racinaire profond et étendu, lui permettant d'exploiter des réserves d'eau souterraines et de maintenir un apport hydrique et nutritif suffisant même lorsque la surface du sol s'assèche (Arndt, 2001). Le *Z. lotus* peut également tolérer les inondations temporaires (FAO, 1982).

Très résilient, le *Z. lotus* peut pousser sur divers types de sols, y compris les sols salins, les terres non cultivées et les substrats pauvres. Grâce à son système racinaire robuste et pivotant, il parvient même à s'enraciner dans des couches semi-dures de calcaire ou de carbonate (Maire, 1933 ; Chopra et al., 1960 ; Ozenda, 1991 ; Liu et al., 2009). Il est généralement observé sur des terrains rocailloux, au pied des collines, le long des falaises et dans les lits d'oueds à substrat pierreux, bien qu'il privilégie les sols sableux profonds, bien drainés, au pH neutre ou légèrement alcalin (FAO, 1982).

Chez le *Z. lotus*, les bourgeons apparaissent dès le mois de mars et croissent activement au printemps et en été, formant des rameaux ligneux. La floraison, qui survient en juin, est cependant influencée par la répartition des précipitations et les températures, rendant son occurrence irrégulière au sein d'un même arbuste. Il est fréquent d'observer simultanément des fleurs et des fruits mûrs sur un même individu. La maturation des fruits dure environ trois mois et demi, et la récolte, généralement est effectuée entre septembre et octobre, coïncide avec leur détachement naturel de l'arbre (Bonnet, 2001). Le *Z. lotus* entre en dormance entre octobre et mars (Maraghni et al., 2010), période durant laquelle ses pousses se dessèchent et ses feuilles chutent (Rsaissi et Bouchache, 2002).

7. Intérêt écologique de *Ziziphus lotus*

Le *Z. lotus* joue un rôle important dans la lutte contre l'ensablement et l'amélioration des sols dégradés. En émettant des rameaux hors du sol, il contribue à la stabilisation des substrats mobiles. Il sert également d'abri à de nombreux animaux, notamment les rongeurs, les insectes et les reptiles, et favorise l'installation d'une flore nitrophile. Grâce à son système racinaire profond et robuste, il contribue significativement à la préservation des sols en formant une ceinture verte. Celle-ci stabilise les substrats et les protège efficacement contre l'érosion et l'action des courants d'eau (Bamouh, 2002 ; Laamouri et al., 2008). Ces caractéristiques font de lui un arbuste d'une grande valeur écologique, particulièrement dans les milieux arides et semi-arides (Laamouri et Zine El Abidine, 2000).

Le jujubier sauvage est considéré également comme une espèce clé pour l'établissement du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*), dans les dayas. Il facilite la germination de ses graines en

maintenant un taux d'humidité favorable et en offrant une protection contre les herbivores (Ozenda, 1991 ; Stachowicz, 2001). Ensemble, ces deux espèces composent des steppes buissonnantes clairsemées, où le couvert végétal ne dépasse généralement pas 30 %, sauf dans certaines dayas et oueds (Quezel et Santa, 1962 ; Belhadj, 2007).

8. Utilisations du *Ziziphus lotus*

8.1. Utilisation en médecine traditionnelle

En médecine traditionnelle, le *Z.lotus* est largement employé pour traiter diverses affections, notamment le diabète, en particulier chez la population algérienne (Benammar et *al.*, 2010). Il est également réputé pour ses bienfaits sur le système digestif et le foie (Baba Aissa, 1999).

Les feuilles, en infusion, sont utilisées pour soulager la diarrhée et l'insuffisance cardiaque. Lorsqu'elles sont séchées puis humidifiées avec de l'eau, elles sont appliquées en cataplasme pour traiter les furoncles et les abcès. Dans les régions sahariennes, elles servent aussi de remède contre les piqûres de vipères (Benchalah, 2004). De plus, la poudre de feuilles sèches et de fruits est couramment employée pour soigner les furoncles (Borgi et *al.*, 2007a).

Les fruits sont reconnus pour leurs propriétés adoucissantes. Ils peuvent être consommés frais ou séchés, et transformés en pâtes, confits, conserves ou confitures (Catoire et *al.*, 1999). Ils sont traditionnellement utilisés pour soulager les vomissements, les troubles digestifs (Salhi et *al.*, 2010) et certaines infections cutanées (Adzu et *al.*, 2003). De plus, ils sont réputés pour leurs effets bénéfiques dans le traitement des maux de gorge, des irritations broncho-pulmonaires (Baba Aissa, 1999 ; Borgi, 2007a), de la diarrhée et pour réguler la glycémie (Hammi et *al.*, 2015). Ils sont également utilisés contre les calculs rénaux (Lahsissene, 2009 ; Khouchlaa et *al.*, 2018). En outre, les fruits de *Z. lotus* sont réputés pour leurs propriétés adoucissantes et sont couramment utilisés dans le traitement des affections de la gorge et des irritations broncho-pulmonaires. Par ailleurs, la poudre issue des feuilles sèches et des fruits est appliquée pour soigner les furoncles (Borgi et *al.*, 2007a).

L'écorce des racines est elle aussi employée dans le traitement du diabète, notamment sous forme de décoction aux propriétés hypoglycémiantes (Ghedira et *al.*, 1995 ; Lahlou, 2002 ; Allali et *al.*, 2008). Par ailleurs, la racine écrasée libère un jus utilisé dans le traitement des leucomes (Lahsissene, 2009). Elle est également reconnue pour ses vertus contre les affections pulmonaires et l'ictère (Chehma, 2006).

8.2. Utilisation en nutrition

Les fruits de *Z. lotus* sont largement consommés en Afrique du Nord, où ils sont très appréciés pour leur goût délicieux et leur richesse nutritionnelle. Ils contiennent des quantités significatives de vitamines A, C et E, de fibres, d'acides gras, d'acides aminés et de sucres (Abdoul-Azize, 2016 ; Chouaibi et *al.*, 2012). Ces fruits peuvent être dégustés de diverses manières : frais, séchés, conservés, ou intégrés dans des confiseries et pâtisseries. Leur jus est également utilisé pour

préparer des boissons rafraîchissantes (Lahlou et *al.*, 2002). De plus, chez les Touaregs, la farine issue de ce fruit est utilisée pour préparer un pain traditionnel appelé Oufer (Chevalier, 1947).

En Inde, les fruits mûrs sont transformés en produits secs similaires aux dattes séchées et sont consommés en hiver comme dessert (Parrek, 2001). En Chine, ils sont prisés pour la fabrication du vin et peuvent être consommés glacés ou accompagnés de thé (Ghost et Lysias 2007).

8.3. Utilisation de *Ziziphus lotus* comme insecticide

Une étude scientifique réalisée par Mouffok et *al.* (2018) a mis en évidence l'effet significatif des extraits de feuilles de *Z.lotus* échantillonnées dans la région Cherahil-Monastir en Tunisie sur la mortalité des larves de moustiques. Les composés actifs extraits de ces feuilles ont perturbé le développement larvaire, entraînant ainsi une augmentation du taux de mortalité et une réduction de la population de moustiques.

8.4. Autres utilisations

Les branches de *Z. lotus* sont couramment utilisées pour la fabrication de clôtures autour des habitations ainsi que comme bois de chauffage. Dans les zones arides, ses fruits, appréciés pour leur valeur nutritive, constituent une source de nourriture essentielle pour le bétail, qui les broute abondamment (Maire, 1933 ; Ozenda, 1991 ; Bamouh, 2002 ; Chehma, 2006 ; Abdeddaim et *al.*, 2014). Les fleurs du jujubier revêtent une importance particulière, car elles sont très attractives pour les abeilles, favorisant ainsi la production d'un miel réputé pour sa qualité et ses bienfaits thérapeutiques. Ce miel présente des caractéristiques physico-chimiques spécifiques, notamment un pH particulier (Ghazanfar, 1994 ; Haderbache et *al.*, 2013 ; Zerrouk et *al.*, 2017).

9. Activités biologiques et propriétés thérapeutiques de *Ziziphus lotus*

Les différentes espèces du genre *Ziziphus* sont traditionnellement utilisées pour traiter diverses affections, notamment les troubles digestifs, la fatigue, les maladies hépatiques, l'obésité, les troubles urinaires, le diabète, les infections cutanées, la fièvre, la diarrhée et l'insomnie (Abu-Zarga et *al.*, 1995 ; Abdel-Zaher et *al.*, 2005 ; Suksamrarn et *al.*, 2005).

Les recherches récentes sur les propriétés pharmacologiques de *Z. lotus* ont mis en évidence plusieurs effets bénéfiques, revêtant un intérêt majeur pour la médecine moderne. Parmi ces effets, certains se distinguent particulièrement et méritent d'être soulignés :

9.1. Activités anti-inflammatoires et analgésiques de *Z. lotus*

Les flavonoïdes et les saponines extraits de l'écorce des racines de *Z.lotus* échantillonné dans la région Cherahil-Monastir en Tunisie ont démontré une activité anti-inflammatoire notable (BorgietChouchane, 2006). L'effet anti-inflammatoire de cette plante est également lié à son action inhibitrice sur la production de monoxyde d'azote (NO). Cette inhibition est particulièrement observée avec l'extrait méthanolique de l'écorce des racines, qui pourrait être à l'origine de l'effet

anti-inflammatoire dans la réponse d'hypersensibilité retardée induite par l'oxazolone (Borgi *et al.*, 2008).

Par ailleurs, les feuilles de *Z. lotus* possèdent des propriétés analgésiques, attribuées à leur richesse en flavonoïdes et saponines (Borgi *et al.*, 2007a-2008). L'ensemble de ces activités pharmacologiques soutient l'usage traditionnel de cette plante dans le traitement des affections inflammatoires et douloureuses (Borgi *et al.*, 2007a).

9.2. Activités antifongiques et anti-mollusques de *Z. lotus*

Les extraits de *Z. lotus*, notamment les extraits étheré, chloroformique, d'acétate d'éthyle et méthanolique, ont montré une activité significative *in vitro* contre neuf souches de champignons pathogènes. De plus, ces extraits se sont révélés efficaces contre *Bulinus truncatus*, un mollusque jouant le rôle d'hôte intermédiaire et de vecteur dans la transmission de la bilharziose (Lahlou *et al.*, 2002). Les champignons filamenteux comme *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea*, *Chaetomium cupreum*, *Collectotrichum graminicola*, *Coniphora olivacea*, *Coriolus versicolor*, *Crinepellis perniciosus*, *Fomes annosus* et *Trichoderma viride* sont inhibés par les tanins (Chung et Wei, 2001).

9.3. Activités anti-ulcérogéniques de *Z. lotus*

Les feuilles et l'écorce des racines de *Z. lotus* possèdent une activité anti-ulcérogénique notable. Cet effet est principalement attribué à la présence de tanins et de flavonoïdes, reconnus pour leurs propriétés gastroprotectrices (Borgi *et al.*, 2007b).

II. Présentation des traits fonctionnels

Le développement des classifications fonctionnelles repose sur la volonté de regrouper les espèces en fonction de leur fonctionnement et de leur physiologie plutôt que selon des critères taxonomiques (Keddy 1992b; Lavelle *et al.*, 1997; Weiher *et al.*, 1999). Cette approche a orienté les recherches vers l'identification des traits fonctionnels permettant d'exprimer des différences écologiques significatives entre les espèces. Ainsi, plusieurs caractéristiques biologiques et traits fonctionnels ont été étudiés (Weiher *et al.*, 1999; Cornelissen *et al.*, 2003; Diaz *et al.*, 2004).

Le terme « trait » est largement employé en biologie, notamment en génétique quantitative, physiologie, écologie fonctionnelle, démographie et biologie évolutive, pour évaluer la performance des organismes (Violle *et al.*, 2007b). Une définition précise des traits fonctionnels a récemment été établie en écologie végétale : il s'agit de caractéristiques morphologiques, physiologiques et phénologiques mesurables à l'échelle individuelle, de la cellule à l'organisme entier, indépendamment de l'environnement ou d'autres niveaux d'organisation (Violle *et al.*, 2007b). La valeur d'un trait dans un milieu donné est qualifiée d'attribut.

Les études menées sur les traits des espèces végétales (Grime *et al.*, 1997; Westoby *et al.*, 2002) et l'analyse croisée de divers jeux de données (Diaz *et al.*, 2004; Wright *et al.*, 2004) ont mis en évidence des axes récurrents de spécialisation entre des espèces phylogénétiquement éloignées.

Ces corrélations entre traits fonctionnels, fondement de la théorie d'histoire de vie développée par Grime (1977-2001), s'étendent à différentes flores.

1. Hauteur de la plante

La hauteur de la plante est définie comme « *la distance verticale la plus courte entre la limite supérieure des principaux tissus photosynthétiques (à l'exclusion des inflorescences) et le niveau du sol* » (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Cette mesure standardisée permet de comparer différentes espèces sur leur capacité à atteindre la lumière. La hauteur des plantes joue un rôle fondamental dans la compétition pour la lumière, qui est une ressource essentielle pour la photosynthèse (Westoby, 1998). Les plantes plus grandes interceptent plus efficacement le rayonnement lumineux et peuvent ainsi dominer la structure de la végétation. De plus, une plus grande hauteur peut améliorer la dispersion des graines, en particulier pour les espèces dont la dissémination dépend du vent ou des animaux (Moles et al., 2005). La hauteur est un trait fonctionnel crucial pour comprendre l'adaptation écologique des plantes à leur environnement. Une grande hauteur est généralement associée à une meilleure compétitivité dans les milieux riches en ressources, tandis que dans les environnements soumis à des perturbations fréquentes, comme les zones de pâturage ou de sécheresse, les espèces de faible hauteur peuvent être avantagées (Thomas, 1996).

2. Largeur de la canopée

La canopée d'une plante est définie comme « *la couche supérieure ou la projection horizontale formée par l'ensemble des parties aériennes, principalement les feuilles et les branches, d'une plante ou d'un ensemble de plantes* » (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Chez les espèces individuelles, la canopée se mesure souvent par la projection de l'envergure maximale du feuillage au sol, exprimée en mètres carrés (Cornelissen et al., 2003). Elle représente ainsi la surface d'interaction entre la plante et son environnement, notamment pour les flux d'énergie (lumière) et de matière (eau, gaz). La canopée joue un rôle essentiel dans la dynamique des échanges entre la plante et son environnement. Premièrement, elle contrôle l'interception de la lumière solaire, influençant directement la photosynthèse et la production primaire (Niinemets 2001 ; Wright et al., 2004). Une canopée étendue permet d'optimiser la captation lumineuse tout en ombrageant le sol, limitant ainsi l'évaporation de l'eau et la perte d'humidité du substrat (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Deuxièmement, la structure de la canopée module les conditions microclimatiques sous-jacentes, en abaissant la température et en augmentant l'humidité relative (Le Houérou, 2006). La canopée est un élément central de l'écologie fonctionnelle des plantes, déterminant à la fois la compétitivité individuelle et l'impact sur l'écosystème environnant (Niinemets et Valladares, 2006 ; Cornelissen et al., 2003). Une canopée étendue améliore la capacité compétitive en captant la majorité du rayonnement disponible, limitant ainsi la croissance des espèces concurrentes de plus petite taille (Wright et al., 2004).

3. Longueur de la feuille

La longueur de la feuille est définie comme « *la distance linéaire mesurée entre le point d'insertion de la feuille (ou du pétiole) sur la tige et l'apex de la feuille* » (Pérez-Harguindeguy et al., 2013).

Cette mesure simple mais fondamentale permet d'estimer la capacité d'une feuille à capter la lumière et à échanger des gaz avec l'atmosphère (Cornelissen et al., 2003). La longueur peut être influencée par des facteurs environnementaux tels que la disponibilité de l'eau, la lumière ou la température (Niinemets et Valladares, 2006). La longueur de la feuille joue un rôle déterminant dans l'interception de la lumière et l'efficacité photosynthétique. En effet, les feuilles plus longues augmentent leur capacité à capter la lumière incidente, favorisant ainsi une meilleure performance photosynthétique dans des environnements exposés (Niinemets, 2001 ; Wright et al., 2004). Cependant, une longueur excessive pourrait accroître la charge thermique et la perte d'eau par transpiration (Niinemets et Valladares, 2006). La longueur foliaire est un trait adaptatif essentiel pour la survie dans des milieux soumis à des contraintes hydriques et thermiques sévères.

4. Largeur de la feuille

La largeur de la feuille est définie comme « *la plus grande distance perpendiculaire à l'axe principal de la feuille* » (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Cette mesure, souvent combinée avec la longueur, est essentielle pour estimer la forme générale de la feuille ainsi que ses propriétés fonctionnelles telles que la capture de lumière et les échanges gazeux (Cornelissen et al., 2003). La largeur de la feuille affecte directement l'efficacité de capture de la lumière et le contrôle de la transpiration. Des feuilles larges offrent une grande surface d'interception lumineuse, augmentant ainsi le potentiel photosynthétique (Niinemets, 2001 ; Wright et al., 2004). Cependant, cette large exposition accroît également le risque de perte d'eau par évapotranspiration, surtout en milieu aride (Niinemets et Valladares, 2006). La largeur foliaire est un trait fortement lié aux stratégies adaptatives des plantes aux stress environnementaux. Dans les milieux désertiques ou semi-désertiques, les espèces tendent à produire des feuilles plus étroites pour réduire la surface exposée aux radiations solaires et aux pertes d'eau (Wright et al., 2004 ; Niinemets et Valladares, 2006).

5. Épaisseur de la feuille

L'épaisseur de la feuille est définie comme « *la distance perpendiculaire mesurée entre les faces supérieure et inférieure de la feuille* », souvent mesurée au micromètre (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Cette propriété est directement liée à la densité tissulaire et à la capacité de la plante à stocker l'eau et à résister au stress mécanique (Cornelissen et al., 2003).

L'épaisseur foliaire contribue à la protection contre la perte d'eau et à la résistance mécanique face aux conditions climatiques extrêmes (Witkowski et Lamont, 1991). Une plus grande épaisseur permet un stockage interne accru d'eau et une réduction des gradients de température entre les deux faces de la feuille (Terashima et Hikosaka, 1995).

L'épaisseur de la feuille est un indicateur clé des stratégies de tolérance à la sécheresse et à la chaleur (Wright *et al.*, 2004). Dans les écosystèmes arides, la sélection naturelle favorise des feuilles plus épaisses pour minimiser les pertes hydriques et prolonger la durée de vie foliaire (Niinemets et Valladares, 2006).

6. Surface foliaire

La surface foliaire est définie comme « *l'aire projetée d'une feuille simple ou d'une foliole sur un plan horizontal* » (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Cette mesure est essentielle pour quantifier la capacité d'interception lumineuse d'une plante (Cornelissen *et al.*, 2003). La surface foliaire joue un rôle déterminant dans la capacité de la plante à capter l'énergie lumineuse nécessaire à la photosynthèse (Niinemets, 2001). En effet, la production de biomasse est étroitement liée à la quantité de lumière interceptée par les feuilles (Wright *et al.*, 2004). Une grande surface foliaire maximise le flux de photons absorbés, augmentant ainsi le taux de photosynthèse nette (Reich *et al.*, 1997). Cependant, une augmentation de la surface d'échange avec l'atmosphère expose également la plante à des risques accrus de perte d'eau par transpiration (Niinemets et Valladares, 2006).

La surface foliaire est un trait fonctionnel clé permettant d'interpréter les stratégies écologiques des plantes face aux gradients environnementaux (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Dans les milieux humides et ombragés, les espèces investissent dans de larges surfaces foliaires afin de maximiser la capture de lumière diffuse (Wright *et al.*, 2004). Ainsi, la surface foliaire de cette espèce illustre parfaitement la relation entre morphologie foliaire, efficacité photosynthétique et adaptation aux conditions de stress hydrique.

7. Surface Foliaire Spécifique (SLA)

La Surface Foliaire Spécifique (SLA) est définie comme « *la surface foliaire fraîche d'une feuille divisée par sa masse sèche* » (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Elle est exprimée en mm^2/mg ou m^2/g . Cet indicateur intègre deux propriétés essentielles : la taille de la feuille et sa densité, reflétant ainsi la stratégie fonctionnelle de la plante vis-à-vis de l'acquisition ou de la conservation des ressources (Wright *et al.*, 2004 ; Cornelissen *et al.*, 2003).

Le SLA joue un rôle fondamental dans le fonctionnement des plantes, car il influence directement le taux de croissance, la capacité photosynthétique et l'efficacité d'utilisation des ressources (Reich *et al.*, 1997 ; Wright *et al.*, 2004). Un SLA élevé est généralement associé à une croissance rapide et à une stratégie d'exploitation rapide des ressources dans des environnements riches et peu stressants (Cornelissen *et al.*, 2003 ; Niinemets, 2001). À l'inverse, un SLA faible est observé chez les plantes ayant des feuilles denses et durables, adaptées à des environnements où les ressources sont rares ou fortement limitées (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013 ; Niinemets et Valladares, 2006).

En permettant de maintenir une activité photosynthétique même en période de forte contrainte hydrique, le faible SLA de cette espèce illustre son adaptation au stress hydrique chronique et à la faible disponibilité des nutriments.

8. Teneur en Matière Sèche des Feuilles (LDMC)

La Teneur en Matière Sèche des Feuilles (LDMC) est définie comme « *le rapport entre la masse sèche d'une feuille et sa masse fraîche immédiatement après récolte* » (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Elle est généralement exprimée en g/g et constitue un indicateur de la densité tissulaire ainsi que de la robustesse mécanique de la feuille (Cornelissen et al., 2003 ; Wright et al., 2004). Chez *Z.lotus*, le LDMC est relativement élevé, ce qui reflète une adaptation marquée aux environnements soumis à un stress hydrique intense (Le Houérou, 2006).

Le LDMC influence directement la longévité foliaire, la résistance aux dommages physiques (par exemple au vent, au broutage) et la capacité de la plante à conserver ses ressources (Wright et al., 2004 ; Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Un LDMC élevé signifie que la feuille contient plus de matière sèche par unité d'eau, rendant les tissus plus durs, moins appétents pour les herbivores, et plus résistants aux stress mécaniques (Cornelissen et al., 2003).

Chapitre 02 : Matériels et Méthodes

I. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique et administrative de la wilaya de Djelfa

La wilaya de Djelfa se situe au centre de l'Algérie septentrionale. Le chef-lieu de la wilaya, la ville de Djelfa, se trouve à environ 300 km au sud d'Alger (DPSB, 2011). Cette wilaya est localisée entre 2° et 5° de longitude Est et entre 33° et 35° de latitude Nord (Figure 5).



Figure 5 : Carte administrative de la wilaya de Djelfa.

Elle est délimitée géographiquement par ces wilayas :

- Au Nord : Médéa et Tissemsilt ;
- A l'Ouest, Laghouat et Tiaret ;
- A l'Est, M'Sila et Biskra ;
- Au Sud Ouargla, El Oued et Ghardaïa (DPSB Djelfa, 2011).

Sur le plan biogéographique, la wilaya de Djelfa occupe une position charnière entre le Tell au nord et le Sahara au sud. Elle présente une grande hétérogénéité géographique et climatique qui se traduit par une diversité écologique remarquable (Bensaid et *al.*, 2019). Située dans la région des Hauts Plateaux, à une altitude moyenne avoisinant 1200 mètres, cette zone se caractérise par une topographie contrastée comprenant des montagnes, des plaines et des vallées, ce qui génère une

diversité de microclimats (Bensaid et *al.*, 2019). Ces spécificités influencent fortement la répartition de la végétation et des groupements écologiques à l'échelle locale.

2. Géologie

Du point de vue géologique, la wilaya de Djelfa est dominée par des formations datant du Crétacé supérieur et inférieur, principalement constituées d'alternances de marnes et de marnes calcaires (Barry et *al.*, 1974). À ces unités s'ajoutent des formations du Tertiaire, notamment du Méiocène, qui apparaissent sous forme de matériaux consolidés superposés à des dépôts meubles, témoins d'une dynamique sédimentaire ancienne et complexe (Barry et *al.*, 1974 ; Benchettara et *al.*, 2012 ; Boughani, 2014). Ces caractéristiques géologiques conditionnent la structure du substrat et influencent les processus de formation des sols et la distribution de la végétation.

3. Géomorphologie

La géomorphologie de la wilaya de Djelfa traduit la dynamique complexe des interactions entre les facteurs géologiques, climatiques et anthropiques à l'échelle régionale (Pouget, 1980). Elle joue un rôle déterminant dans la distribution spatiale des groupements végétaux, en particulier dans les zones arides et semi-arides où les contraintes édaphiques et topographiques conditionnent fortement l'installation des espèces (Le Houérou, 1995 ; Mainguet et Dumay, 1995).

Selon Pouget (1980), plusieurs grandes unités géomorphologiques se distinguent dans la région de Djelfa :

- Des reliefs faiblement disséqués, constitués principalement de formations crétacées et tertiaires, apparaissent dans les zones du nord et du sud-est de la wilaya ;
- Des glacis d'accumulation ou de dégradation, caractéristiques des milieux semi-arides, dominent les parties intermédiaires. Ils sont souvent constitués de matériaux meubles issus de l'érosion des versants et jouent un rôle tampon entre les zones de pente et les dépressions (Pouget, 1980 ; Benchettara et *al.*, 2012) ;
- Des formes éoliennes, telles que les nebkas (amas sableux fixés par la végétation) et les voiles sableux, sont fréquentes dans les secteurs méridionaux et témoignent de l'activité éolienne intense qui caractérise cette région (Mainguet, 1991 ; Bensaid et *al.*, 2019).
- Les dépressions fermées, appelées chotts ou sebkhas selon leur degré de salinité, jouent un rôle essentiel dans la régulation des écoulements de surface. Parmi celles-ci, la dépression d'Aïn El Ibel constitue un élément morphologique majeur. Elle s'organise selon un système synclinal très ouvert dont l'axe principal suit la ligne Aïn El Ibel – Ksar Timekmert (Barry et *al.*, 1974 ; Boughani, 2014). Cette structure topographique, associée à un drainage déficient, favorise la concentration des eaux temporaires et la formation de sols salins ou hydromorphes (Kadik, 2005).

D'après Mainguet (1991), la diversité des formes du relief influe sur l'organisation du couvert végétal et sur la répartition des espèces xérophiiles, en raison des variations locales de microclimat,

d'humidité du sol et de substrat. Les espèces comme *Ziziphus lotus* se développent souvent sur les pentes caillouteuses bien drainées, tandis que des espèces halophiles peuvent occuper les dépressions salées.

4. Pédologie

Les sols de la région steppique de Djelfa sont généralement peu profonds, faiblement différenciés, pauvres en matière organique et fortement sensibles à la dégradation physique et chimique (Pouget, 1980 ; Kadik, 2005). Selon Pouget (1973), ces sols présentent une faible teneur en humus et une structure fragile en raison de la texture grossière du substrat. L'aridité climatique, combinée à une faible couverture végétale, aggrave leur érosion, surtout sur les versants exposés.

Une des caractéristiques majeures de la pédologie régionale est la présence étendue de croûtes calcaires, formées durant le Quaternaire ancien et moyen, qui recouvrent une grande partie des hauts glacis et des zones de transition entre reliefs et plaines (Pouget, 1980 ; Benchettara *et al.*, 2012). Ces croûtes, souvent indurées, limitent la profondeur d'enracinement et restreignent la capacité de rétention hydrique des sols (Boughani, 2014).

Sur ces surfaces encroûtées, les sols les plus fréquents sont des sols peu évolués et des sols calcimagnésiques (Pouget, 1980 ; Kadik, 2005). Ils se caractérisent par un horizon A mince, une forte teneur en carbonates et une texture généralement sableuse à sablo-limoneuse. Ces conditions édaphiques contraignantes n'autorisent que l'installation d'une végétation xérophile spécialisée.

La flore dominante sur ces sols comprend plusieurs espèces caractéristiques des steppes semi-arides, telles que *Stipa tenacissima* (alfa), *Artemisia herba-alba* (armoïse blanche) et *Lygeum spartum* (sparte) (Le Houérou, 2001 ; Bensaid *et al.*, 2019). À ces espèces s'ajoute *Ziziphus lotus*, un arbuste ligneux de la famille des Rhamnaceae, largement répandu sur les sols calcaires bien drainés et souvent caillouteux (Ouled Belgacem et Louhaïchi, 2013). D'après Le Houérou (2006), *Z. lotus* se développe principalement sur les versants à substrat calcaire, où il bénéficie d'un bon drainage et d'une exposition favorable. Grâce à un système racinaire très profond, il est capable d'exploiter les eaux souterraines et joue un rôle écologique fondamental dans la fixation des sols et la lutte contre l'érosion (Le Houérou, 2006 ; Ouled Belgacem et Louhaïchi, 2013).

5. Hydrographie

Le réseau hydrographique de la wilaya de Djelfa est peu développé et fortement influencé par les conditions climatiques semi-arides de la région. Il se compose essentiellement d'oueds temporaires, appelés aussi Charefs, qui ne coulent qu'après de fortes précipitations (Bensaid *et al.*, 2019). Ces écoulements sont de type endoréique, c'est-à-dire qu'ils ne rejoignent pas la mer, mais se perdent dans des cuvettes ou des zones basses, souvent par infiltration ou évaporation (Bencherifa et Djebbar, 2010).

Parmi les principaux oueds de la région figurent l'Oued Mellah et l'Oued Sebkha. Ces cours d'eau présentent un régime irrégulier, souvent torrentiel en période d'orage, ce qui accentue les

phénomènes d'érosion hydrique et de ravinement (Mainguet, 1991 ; Kadik, 2005). La rareté et la discontinuité des précipitations ne permettent pas l'établissement d'un réseau permanent, et la majorité des oueds sont à sec pendant la majeure partie de l'année.

Les dépressions internes, telles que celles de Aïn El Ibel et Faïdh El Guefoul, jouent un rôle de récepteurs naturels des écoulements de surface. Ces zones sont souvent sujettes à des phénomènes d'accumulation temporaire d'eau, favorisant localement l'installation d'une végétation hydromorphe ou halophile (Pouget, 1980 ;Boughani, 2014 ;).

Enfin, l'infiltration des eaux dans les formations meubles du Quaternaire et les calcaires fissurés du Crétacé permet l'alimentation de quelques nappes phréatiques peu profondes, parfois exploitées à des fins agricoles ou pastorales (Kadik, 2005 ; Benchettaraet *al.*, 2012).

6. Climat

Le climat constitue un facteur essentiel dans le fonctionnement écologique des écosystèmes, puisqu'il influence directement la phytomasse, la production primaire, la richesse floristique, la phénologie des espèces et l'occupation du sol (Djebaili, 1978 ; Aïdoud, 1983- 1989; Benrbiha,1984; Le Houérou, 2005; Aïdoud et *al.*, 2006; Hirche et *al.*, 2011; Nedjraoui et *al.*, 2016).

La steppe algérienne, incluant la wilaya de Djelfa, se rattache au climat méditerranéen aride à semi-aride, caractérisé par une longue sécheresse estivale, une saison froide et pluvieuse, des précipitations faibles et irrégulières ainsi qu'un régime thermique continental (Seltzer, 1946 ; Daget et David, 1982 ; Djellouli, 1981-1991 ; Le Houérou, 1995 ; Djebaili, 1984 ; Benabadji et Bouazza, 2000 ; Hirche et *al.*, 2007). Ces conditions imposent aux végétaux un stress hydrique plus ou moins marqué (Le Houérou, 2004).

Plus récemment, Djelfa a enregistré une tendance au réchauffement climatique d'environ 1°C en quarante ans, accompagnée d'une augmentation des températures minimales et maximales et d'une diminution notable des précipitations, particulièrement en hiver et au printemps. Cette évolution accentue le déficit hydrique, fragilise la végétation et accroît les risques de désertification (Guesmi et *al.*, 2017).

7. Végétation

La région de Djelfa présente une végétation steppique typique des zones arides et semi-arides de l'Algérie. Elle se caractérise par une couverture végétale discontinue, dominée par des espèces xérophiiles, hémicryptophytes et chaméphytes, capables de résister aux conditions climatiques rigoureuses et aux sols peu profonds (Djebaili, 1984 ; Le Houérou, 1995).

Selon Aïdoud et *al.*, (2006), la composition floristique de cette région est fortement influencée par l'aridité, la topographie et la nature du substrat. Les espèces les plus fréquentes sont *Stipa tenacissima*, *Lygeumspartum*, *Artemisia herba-alba*, *Haloxylonscoparium*, et *Ziziphus lotus*, cette

dernière constituant une espèce ligneuse indicatrice des milieux semi-désertiques (Le Houérou, 2006 ; Ouled Belgacem et Louhaichi, 2013).

Ziziphus lotus, arbuste héliophile de la famille des Rhamnaceae, est largement répandu dans la région. Il est présent notamment sur les glacis pierreux, les versants bien drainés et les zones de transition entre plaines et bas-fonds (Bensaid et *al.*, 2019). Il s'installe sur des sols peu profonds, à texture grossière et à forte teneur en calcaire, et supporte de longues périodes de sécheresse grâce à son système racinaire profond (Le Houérou, 2006). Il joue un rôle écologique majeur dans la stabilisation des sols et dans la structuration des communautés arbustives ouvertes (Ouled Belgacem et Louhaichi, 2013).

L'anthropisation, en particulier le surpâturage, la coupe excessive et les labours incontrôlés, entraîne une régression de la couverture végétale et une fragmentation des groupements structurés, notamment ceux à *Ziziphus lotus* (Djebaili, 1984 ; Nedjraoui et *al.*, 2016). Cette dégradation conduit à une banalisation de la flore et à une substitution progressive par des espèces nitrophiles ou rudérales à faible valeur pastorale.

II. Méthodologie

1. Choix des stations

L'échantillonnage de *Ziziphus lotus* a été réalisé au niveau de quatre stations situées dans la wilaya de Djelfa, au cœur des hautes plaines steppiques algériennes. Ce choix méthodologique visait à analyser la variabilité des traits fonctionnels de l'espèce en fonction de conditions écologiques contrastées propres à cette région aride (Figure 6). L'ensemble des prélèvements a été effectué par des étudiants lors de travaux de terrain conduits en 2024, afin d'assurer une collecte homogène et standardisée des données.

2. Caractérisation bioclimatique des sites d'étude

Dans le but de préciser le cadre climatique des sites étudiés, les étages bioclimatiques ont été délimités sur une base de références bibliographiques spécialisées. L'ensemble des stations étant localisé dans la région de Djelfa, on été classifiés on s'appuyant sur la carte bioclimatique de la steppe algérienne élaborée par Le Houérou *et al.* (1977), qui constitue une référence incontournable pour l'analyse des conditions bioclimatiques de cette zone steppique (Tableau 1).

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

| Station | Latitude | Longitude | Altitude (m) | Etage bioclimatique | Variante thermique à hivers |
|------------------|----------------|---------------|--------------|---------------------|-----------------------------|
| Taicha | 35° 6'45.364"N | 2°58'57.431"E | 761 | Aride moyen | Frais |
| El Demtha | 34°28'21.598"N | 2°33'47.649"E | 1138 | Aride supérieur | Froid |
| Faidh El Guefoul | 34°42'12.96"N | 2°45'52.88"E | 988 | Aride supérieur | Frais |
| Bechia | 35°18'23.033"N | 3°13'58.746"E | 798 | Aride moyen | Frais |

3. Échantillonnage de *Ziziphus lotus*

Selon les recommandations méthodologiques de Pérez-Harguindeguy et *al.*, (2013), un échantillonnage subjectif a été réalisé sur chaque site d'étude. Dix individus adultes de *Ziziphus lotus* ont été sélectionnés de manière aléatoire, avec un espacement de 10 à 1000 m entre les individus, afin de limiter les biais liés à la proximité spatiale. (Figure 6).

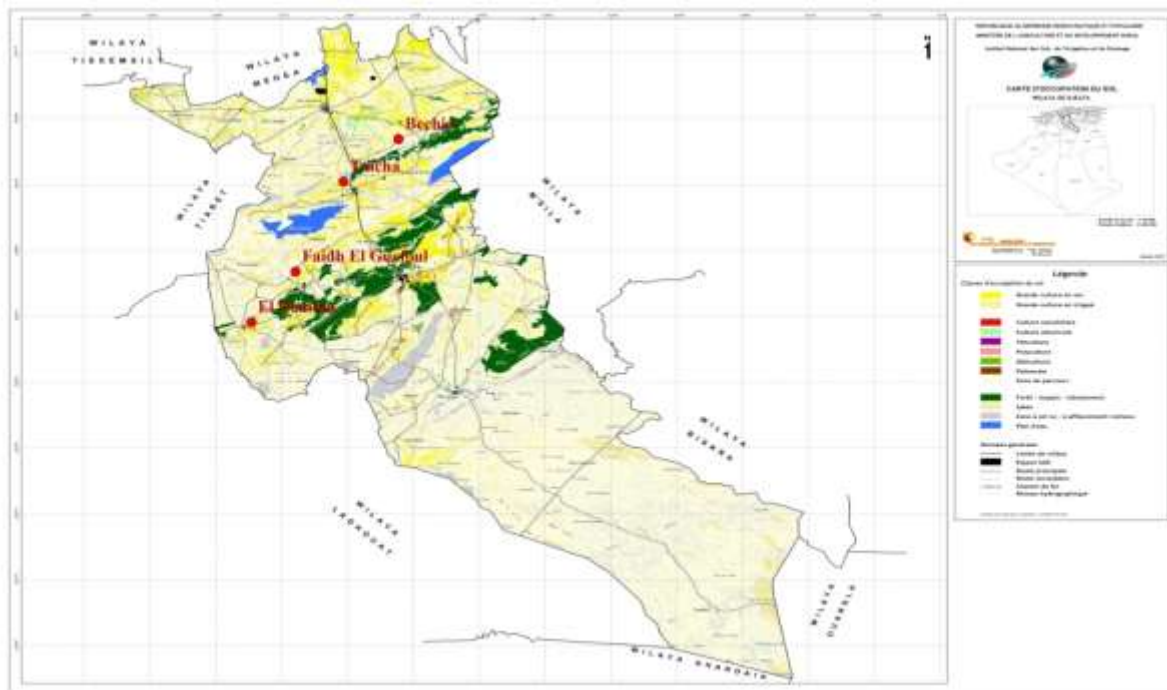


Figure 6 : Situation géographique des quatre stations d'étude sur la carte administrative de Djelfa.

3.1. Hauteur maximale (H_{max})

D'après Cornelissen *et al.*, (2003), la hauteur d'un individu représente la distance verticale entre le sommet de la biomasse aérienne vivante et le sol. Cette mesure a été réalisée à l'aide d'un décimètre, et exprimée en mètres (m).

3.2. Largeur de la canopée

Conformément aux méthodes de mesure de la biomasse végétale décrites par Garnier *et al.* (2004), la largeur de la couronne a été estimée pour chaque individu en mesurant deux diamètres perpendiculaires à l'aide d'un décimètre. La valeur retenue correspond à la moyenne de ces deux mesures, exprimée en mètres.

3.3. Mesures des traits foliaires

Selon Cornelissen *et al.*, (2003) et Pérez-Harguindeguy *et al.*, (2013), les traits foliaires incluent des paramètres morphologiques, physiologiques et anatomiques qui influencent les stratégies adaptatives des espèces à leur environnement.

Suivant les protocoles standards de collecte (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013), des feuilles matures ont été prélevées sur chaque individu lors des relevés de hauteur et de largeur. Elles ont été immédiatement placées dans des sacs Zip-Loc contenant de l'eau distillée, puis conservées dans une glacière opaque afin de limiter la déshydratation jusqu'au traitement (dans les 48 h).

Pour chaque station, 300 feuilles (30 par individu) ont été sélectionnées avec soin. Avant mesure, chaque feuille a été essuyée avec du papier absorbant, et le limbe séparé du pétiole. Seules les mesures sur le limbe ont été conservées (Figure 7).



Figure 7 : Sélection des feuilles de *Z. lotus*.

3.3.1. Épaisseur, longueur et largeur du limbe

D'après Garnier *et al.*, (2004), ces mesures permettent d'évaluer la morphologie foliaire en lien avec les conditions environnementales. Elles ont été réalisées à l'aide d'un pied à coulisse électronique (précision au 0.01 mm) (Figure 8).



Figure 8 : Mesure de : (a)Épaisseur, (b) longueur et (c) largeur du limbe.

3.3.2. Surface foliaire

Comme recommandé par Pérez-Harguindeguy *et al.*, (2013), les feuilles ont été scannées à haute résolution à l'aide d'un scanner Canon LIDE 110. Les surfaces ont été calculées à l'aide du logiciel Mesurim Pro v3.4 (2013), après calibration par papier millimétré. La surface calculée en cm^2 a été convertie en mm^2 (Figure 9).

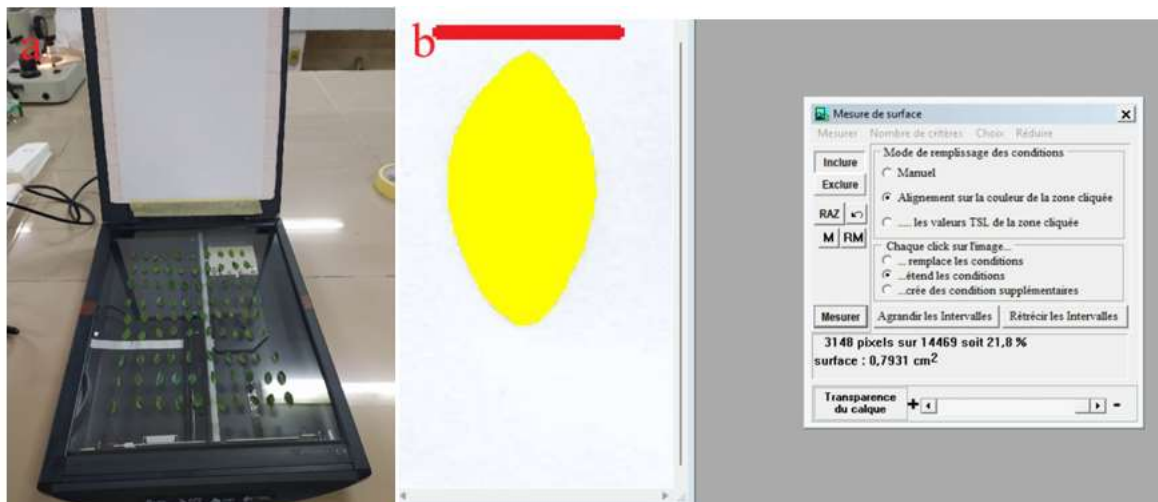


Figure 9 : (a) : Scanner Canon LIDE 110, **(b) :** Surface d'une feuille mesurée à l'aide du logiciel Mesurim Pro v3.4 (2013).

3.3.3. L'indice SLA (Specific Leaf Area)

Selon Wright et *al.*, (2004), l'indice SLA est défini comme le rapport entre la surface foliaire (mm^2) et la masse sèche (mg). Le poids frais a été mesuré immédiatement après l'échantillonnage, avant séchage des feuilles à l'air libre durant 30 jours, puis pesées avec une balance de précision (10^{-4} g).

3.3.4. L'indice LDMC (Leaf Dry Matter Content)

D'après Garnier et *al.*, (2001), le LDMC est un indicateur du contenu en matière sèche et reflète la capacité de rétention d'eau. Il est calculé comme le rapport entre la masse sèche (mg) et la masse fraîche (g).

4. Analyses statistiques

Afin de tester s'il existe des différences significatives entre les moyennes des quatre stations étudiées, nous avons utilisé une ANOVA (Analysis of Variance). Cependant, avant de réaliser l'ANOVA, nous avons vérifié la normalité des huit variables étudiées (H_{max} , largeur de la canopée, surface foliaire, épaisseur, longueur et largeur des feuilles, indices SLA et LDMC) grâce au test de Shapiro-Wilk et à l'analyse visuelle des graphiques QQ plots. Dans un second temps, nous avons vérifié l'homogénéité des variances à l'aide du test de Levene. Les résultats des deux tests ont montré que la normalité et la variance n'ont pas été satisfaites. En outre, nous avons trouvé que les données présentent des valeurs aberrantes. Après la non-validation des trois hypothèses nécessaires pour la réalisation de l'ANOVA, nous avons décidé d'appliquer une robuste ANOVA en utilisant le package *WRS2* (Mair et Wilcox, 2020), dont une valeur de $p \leq 0.05$ a été considérée comme statistiquement significative. En cas de significativité, un test post-hoc de Bonferroni a été appliqué pour comparer les moyennes entre stations.

Toutes les analyses ont été réalisées sous RStudio (interface de R version 4.3.2), un environnement statistique reconnu pour sa robustesse en écologie (R Core Team, 2023).

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

1. Résultats des statistiques descriptives des traits fonctionnels en fonction des stations

Dans le but de mieux appréhender les variations morphologiques et fonctionnelles de *Ziziphus lotus*, une analyse descriptive a été conduite pour chacun des traits étudiés au sein des quatre stations. Cette analyse repose sur des indicateurs statistiques fondamentaux, à savoir la moyenne, l'écart-type et le nombre d'échantillons, afin de résumer efficacement les données recueillies. Chaque station comprend un échantillonnage standardisé de 10 individus et 300 feuilles, ce qui garantit une comparaison rigoureuse et équilibrée entre les sites (Tableau 2).

Tableau 2 : Statistiques descriptives (moyenne \pm écart type) des traits fonctionnels étudiés en fonction des quatre stations échantillonnées.

| Variable | Bechia | El Demtha | Faidh El Guefoul | Taïcha |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Hauteur | 2.49 \pm 0.27 | 2.76 \pm 0.201 | 2.66 \pm 0.362 | 3.45 \pm 0.569 |
| Diamètre de la canopée | 8.37 \pm 1.52 | 9.85 \pm 3.55 | 7.07 \pm 2.13 | 10.1 \pm 1.88 |
| Longueur | 19.9 \pm 3.14 | 15.1 \pm 2.30 | 15.8 \pm 3.02 | 15.6 \pm 2.26 |
| Largeur | 10.7 \pm 1.63 | 7.94 \pm 1.72 | 8.46 \pm 1.59 | 8.54 \pm 1.35 |
| Épaisseur | 0.208 \pm 0.026 | 0.213 \pm 0.007 | 0.215 \pm 0.009 | 0.208 \pm 0.007 |
| Surface foliaire | 146 \pm 44.3 | 81.4 \pm 26.3 | 104 \pm 32.2 | 139 \pm 22.2 |
| SLA | 11.3 \pm 1.34 | 10.5 \pm 2.57 | 12.3 \pm 2.66 | 17.1 \pm 3.92 |
| LDMC | 345 \pm 32.8 | 325 \pm 36 | 330 \pm 48.7 | 361 \pm 61.3 |

1.1. Hauteur (Hmax)

Les hauteurs moyennes des individus présentent des écarts notables selon les stations. La plus grande taille est observée à Taïcha avec une moyenne de 3,45 \pm 0,57 m, suivie par El Demtha (2,76 \pm 0,20 m) et Faidh El Guefoul (2,66 \pm 0,36 m), tandis que Bechia affiche la hauteur la plus modeste (2,49 \pm 0,27 m). Cette variabilité interstationnelle pourrait refléter des conditions environnementales différentielles, telles que la qualité du sol, la disponibilité en eau ou encore les pressions anthropiques. Les écarts-types relativement élevés à Taïcha et Faidh El Guefoul indiquent une diversité intra-stationnelle importante, traduisant une hétérogénéité structurelle dans ces peuplements.

1.2. Diamètre de la canopée

Le diamètre moyen de la canopée vari également selon les sites. Taïcha et El Demtha se distinguent par les plus grandes dimensions (10,10 \pm 1,88 m et 9,85 \pm 3,55 m respectivement), tandis que Faidh El Guefoul et Bechia présentent des canopées plus réduites (7,07 \pm 2,13 m et 8,37 \pm 1,52 m). Cette différence suggère que les conditions environnementales moins contraignantes à Taïcha et El Demtha favoriseraient une expansion horizontale plus marquée, tandis que dans les sites plus stressants, la croissance en largeur semble plus restreinte, probablement en réponse à la limitation des ressources.

1.3. Longueur de la feuille

Les longueurs foliaires moyennes varient entre $15,1 \pm 2,30$ mm à El Demtha et $19,9 \pm 3,14$ mm à Bechia. Faidh El Guefoul ($15,8 \pm 3,02$ mm) et Taïcha ($15,6 \pm 2,26$ mm) se situent entre ces extrêmes. Ces résultats témoignent d'une variabilité interstationnelle manifeste. La longueur accrue des feuilles à Bechia pourrait être liée à une plus grande disponibilité en ressources ou à des conditions moins stressantes pour la croissance végétative.

1.4. Largeur de la feuille

Concernant la largeur, une tendance similaire est observée. Bechia affiche la valeur moyenne la plus élevée ($10,7 \pm 1,63$ mm), suivie de Taïcha ($8,54 \pm 1,35$ mm) et Faidh El Guefoul ($8,46 \pm 1,59$ mm). El Demtha présente la valeur la plus faible ($7,94 \pm 1,72$ mm). Ces différences suggèrent que les dimensions latérales des feuilles sont, elles aussi, modulées par les conditions environnementales propres à chaque station.

1.5. Épaisseur de la feuille

L'épaisseur des feuilles de *Z. lotus* reste relativement stable entre les stations, avec des valeurs comprises entre $0,208 \pm 0,026$ mm (Bechia) et $0,215 \pm 0,009$ mm (Faidh El Guefoul). El Demtha affiche une moyenne proche ($0,213 \pm 0,007$ mm), tout comme Taïcha ($0,208 \pm 0,007$ mm). Bien que les variations soient faibles, une légère tendance à l'épaississement foliaire peut être observée dans les stations les plus arides, ce qui pourrait constituer un mécanisme d'adaptation visant à limiter les pertes hydriques.

1.6. Surface foliaire

Les surfaces foliaires présentent une variabilité marquée selon les stations. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées à Bechia ($146 \pm 44,3$ mm²) et à Taïcha ($139 \pm 22,2$ mm²), traduisant une plus grande expansion foliaire dans ces milieux. À l'inverse, El Demtha ($81,4 \pm 26,3$ mm²) et Faidh El Guefoul ($104 \pm 32,2$ mm²) affichent des surfaces plus réduites. Cette différence pourrait refléter des adaptations morphologiques permettant de limiter la perte hydrique dans les environnements plus arides.

1.7. Surface foliaire spécifique (SLA)

L'indice SLA varie fortement entre les sites. Il atteint son maximum à Taïcha ($17,1 \pm 3,92$ mm²/mg), suivi de Faidh El Guefoul ($12,3 \pm 2,66$ mm²/mg), puis Bechia ($11,3 \pm 1,34$ mm²/mg) et enfin El Demtha ($10,5 \pm 2,57$ mm²/mg). Des valeurs élevées de SLA sont généralement associées à des feuilles fines, à croissance rapide, typiques des environnements favorables. À l'inverse, des SLA plus faibles indiquent des feuilles plus robustes et denses, souvent observées dans des habitats contraignants.

1.8. Teneur en matière sèche des feuilles (LDMC)

Enfin, la teneur en matière sèche des feuilles (LDMC) présente une variabilité significative. Taïcha montre la valeur la plus élevée ($361 \pm 61,3$ mg/g), suivie de Bechia ($345 \pm 32,8$ mg/g), Faidh El Guefoul ($330 \pm 48,7$ mg/g), et El Demtha ($325 \pm 36,0$ mg/g). Des LDMC élevés sont généralement le reflet d’une stratégie conservatrice des ressources, avec des feuilles plus résistantes à la dégradation et mieux adaptées aux conditions de stress hydrique.

2. Analyse de la variance des traits morphologiques et fonctionnels selon les stations

Afin d’examiner si les traits morphologiques et fonctionnels de *Ziziphus lotus* présentent des différences significatives entre les stations étudiées, une analyse de la variance (ANOVA bootstrap) a été appliquée à chaque caractère mesuré. La significativité des différences observées a été évaluée en comparant les valeurs de p obtenues au seuil de $\alpha = 0,05$. Une valeur de p inférieure à ce seuil traduit une différence statistiquement significative entre les groupes.

Tableau 3 : Résultat des tests ANOVA des différents traits étudiés au niveau des quatre stations.

| Variable | Statistique de test (F) | p-value | Significativité |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------|------------------------------|
| Hauteur | 340.6403 | < 0.0001 | Très hautement significative |
| Diamètre de la canopée | 66.8417 | < 0.0001 | Très hautement significative |
| Longueur | 158.7955 | < 0.0001 | Très hautement significative |
| Largeur | 126.0507 | < 0.0001 | Très hautement significative |
| Epaisseur | 51.1586 | < 0.0001 | Très hautement significative |
| Surface foliaire | 443.6349 | < 0.0001 | Très hautement significative |
| SLA | 177.4267 | < 0.0001 | Très hautement significative |
| LDMC | 33.7862 | < 0.0001 | Très hautement significative |

L’ensemble des résultats met en évidence des écarts très significatifs entre les stations pour l’ensemble des traits étudiés, ce qui témoigne d’une forte variabilité entre populations. Ces résultats sont détaillés dans le tableau ci-après et illustrés par des boîtes à moustaches permettant de visualiser les distributions et la dispersion des valeurs pour chaque station. Par ailleurs, un test post-

hoc a été réalisé pour préciser les comparaisons multiples entre sites et identifier les contrastes significatifs.

Tableau 4 : *P*-values des comparaisons multiples (test post-hoc).

| Variable | Station | <i>p</i> -value |
|------------------|--------------------------------|-----------------|
| Longueur | Faidh El Guefoul vs. Bechia | 0.6352 |
| Largeur | Faidh El Guefoul vs. Bechia | 0.9472 |
| Epaisseur | Taicha vs. Bechia | 0.7644 |
| | El Demtha vs. Faidh El Guefoul | 0.1746 |
| Surface foliaire | Taicha vs. Bechia | 0.3476 |
| LDMC | Taicha vs. Bechia | 0.3436 |
| | El Demtha vs. Faidh El Guefoul | 0.6056 |

Seules les comparaisons n'ayant pas atteint le seuil de signification statistique ($p \geq 0,05$) sont présentées ci-dessous, toutes les autres étant statistiquement significatives.

2.1. Hauteur

L'analyse de variance appliquée à la hauteur des individus révèle des différences hautement significatives entre les stations (statistique de test = 340,64 ; $p < 0,0001$). Le pourcentage de variance expliquée atteint 112,7 %, avec une taille d'effet très élevée (1,062), ce qui souligne une forte hétérogénéité inter-populations. Ces résultats confirment l'existence d'un fort gradient morphologique entre les sites, potentiellement en lien avec les conditions locales. Les plus grandes hauteurs sont observées à Taïcha, tandis que Bechia affiche des individus plus courts, ce qui pourrait illustrer des stratégies différenciées d'allocation des ressources. Ces résultats rejoignent ceux de Krintza et *al.*, (2024), qui ont mis en évidence une influence du gradient d'aridité sur la hauteur des espèces végétales. Selon Pérez-Harguindeguy et *al.*, (2016), une réduction de la hauteur peut être une réponse adaptative à la sécheresse, tandis qu'une croissance verticale plus importante peut être facilitée dans des milieux plus favorables, notamment en présence d'un enracinement profond comme c'est le cas de *Z. lotus* (López-Rodríguez et *al.*, 2020 ; Torres-García et *al.*, 2021).

Chez *Z. lotus*, la capacité à maintenir une hauteur relativement basse mais dense lui confère une grande résilience aux stress abiotiques comme la sécheresse, et lui permet aussi de créer un microclimat plus humide sous sa canopée, favorisant la germination d'autres espèces végétales (Ouled Belgacem et Louhaichi, 2013 ; Le Houérou, 2006). Ainsi, la hauteur de *Ziziphus lotus* contribue non seulement à sa propre survie, mais aussi au maintien de la biodiversité dans les écosystèmes arides (Figure 10).

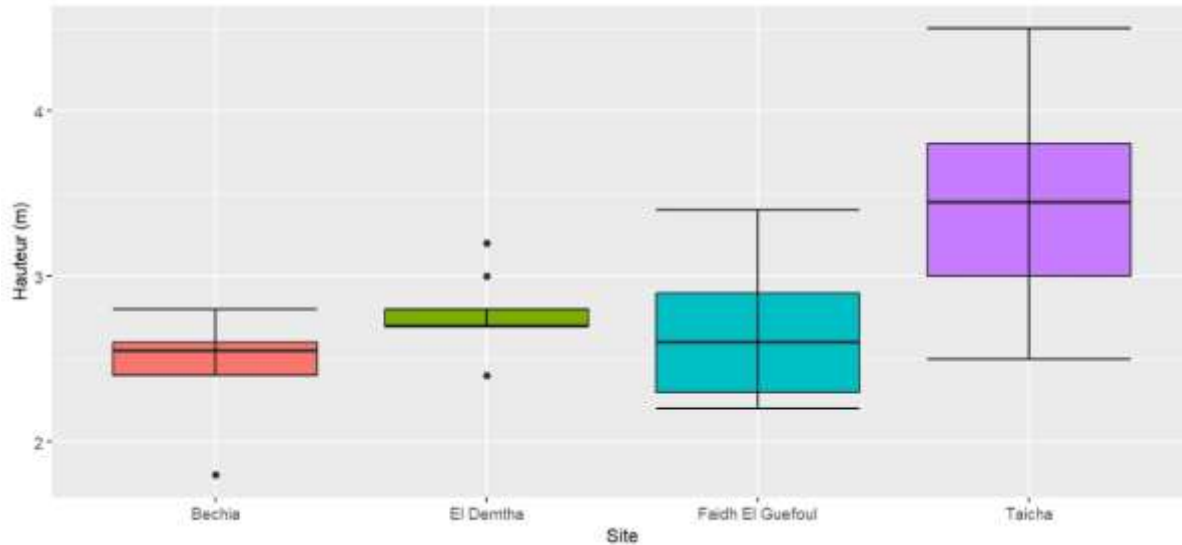


Figure 10 : Comparaison multiple de la hauteur des individus de *Z. lotus* selon les quatre stations échantillonnées.

2.2. Largeur de la canopée

L'analyse de la largeur de la canopée révèle également une différence très marquée entre les sites (statistique = 66,84 ; $p < 0,0001$), avec une variance expliquée de 25,4 % et une taille d'effet de 0,504. Ces résultats soulignent une forte variabilité dans la structure aérienne de la plante entre les stations. Les comparaisons post-hoc indiquent plusieurs contrastes significatifs entre les sites, bien que certaines paires (ex. Taïcha vs El Demtha, $p = 0,0056$) montrent des proximités. Les médianes les plus élevées sont relevées à Taïcha et El Demtha, ce qui pourrait traduire une meilleure croissance latérale dans ces zones. La largeur de la canopée étant un bon indicateur de l'investissement en biomasse aérienne (Pérez-Harguindeguy et al., 2016), sa variation entre les stations pourrait refléter des réponses à la disponibilité en ressources, notamment en eau, comme l'ont montré López-Rodríguez et al., (2020). Dans des environnements arides, une large canopée peut résulter d'un enracinement efficace et profond permettant un accès aux nappes phréatiques.

Dans les environnements arides, la capacité de *Z. lotus* à développer une canopée large et basse contribue non seulement à sa propre survie, mais joue également un rôle d'ingénieur écologique en facilitant la colonisation du milieu par d'autres organismes, végétaux ou animaux, en créant des "îlots de fertilité" (Le Houérou, 2006 ; Ouled Belgacem et Louhaichi, 2013). Par conséquent, l'étude de la canopée de *Z. lotus* est essentielle pour comprendre sa contribution à la stabilité et à la résilience des écosystèmes semi-arides méditerranéens (Figure 11).

2.3. Longueur des feuilles

L'analyse de variance appliquée à la longueur des feuilles indique des différences très significatives entre les stations (statistique de test = 158,7955 ; $p < 0,0001$), traduisant une importante variabilité morphologique intersite. Les médianes varient selon les stations, avec des longueurs plus élevées

à Bechia (19,9 mm), et plus faibles à El Demtha (15,1 mm). Le test post-hoc confirme des différences significatives pour la majorité des comparaisons, à l'exception d'une paire de stations (Faidh El Guefoul vs. Bechia, $p = 0.6352$) qui présente des similarités, suggérant une convergence morphologique liée à des conditions écologiques analogues.

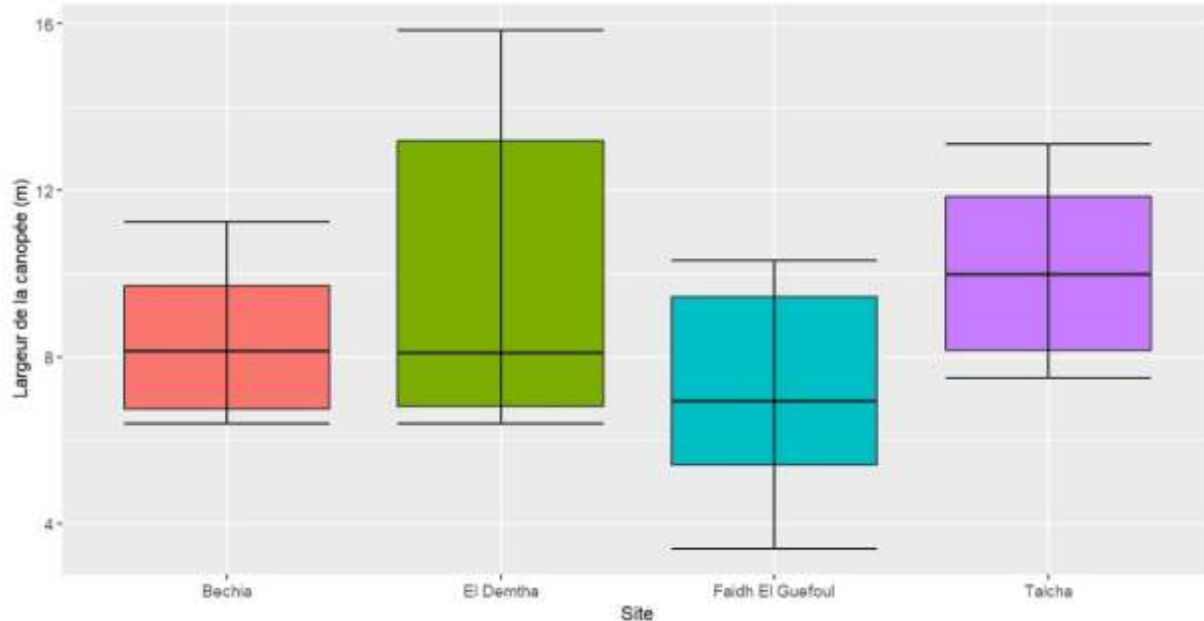


Figure 11 : Comparaison multiple de la largeur de la canopée des individus de *Z. lotus* selon les quatre stations échantillonnées.

L'analyse de variance appliquée à la longueur des feuilles indique des différences très significatives entre les stations (statistique de test = 158,7955 ; $p < 0,0001$), traduisant une importante variabilité morphologique intersite. Les médianes varient selon les stations, avec des longueurs plus élevées à Bechia (19,9 mm), et plus faibles à El Demtha (15,1 mm). Le test post-hoc confirme des différences significatives pour la majorité des comparaisons, à l'exception d'une paire de stations (Faidh El Guefoul vs. Bechia, $p = 0.6352$) qui présente des similarités, suggérant une convergence morphologique liée à des conditions écologiques analogues.

Cette hétérogénéité dans la longueur foliaire reflète des stratégies adaptatives distinctes en réponse aux contraintes locales. Dans les environnements plus arides, des feuilles plus courtes sont souvent observées, permettant de réduire la surface exposée à la transpiration et d'optimiser la régulation thermique (Pérez-Harguindeguy et al., 2016). Laamouri et al., (2008) ont par ailleurs souligné que la réduction de la taille foliaire est une réponse fréquente chez des espèces méditerranéennes dans des contextes de stress hydrique ou d'altitude. Ainsi, les variations de la longueur des feuilles de *Z. lotus* entre les stations pourraient résulter d'une combinaison d'effets climatiques (précipitations, durée de la sécheresse) et édaphiques. Les espèces à feuilles longues mais étroites, comme *Z. lotus*, adoptent des stratégies permettant d'optimiser la photosynthèse tout en minimisant la perte d'eau (Reich et al., 1997 ; Wright et al., 2004). De plus, la longueur de la feuille peut influencer la

dynamique thermique des plantes, une feuille plus longue facilitant un meilleur échange thermique et contribuant à limiter la surchauffe pendant les heures chaudes (Ninemets, 2001). Ainsi, chez *Ziziphus lotus*, la longueur modérée des feuilles témoigne d'une adaptation évolutive fine aux environnements xériques.

Ces observations confirment la plasticité adaptative de l'espèce, déjà mise en évidence par Houma (2013), qui lui permet d'ajuster finement sa morphologie foliaire face aux gradients d'aridité (Figure 12).

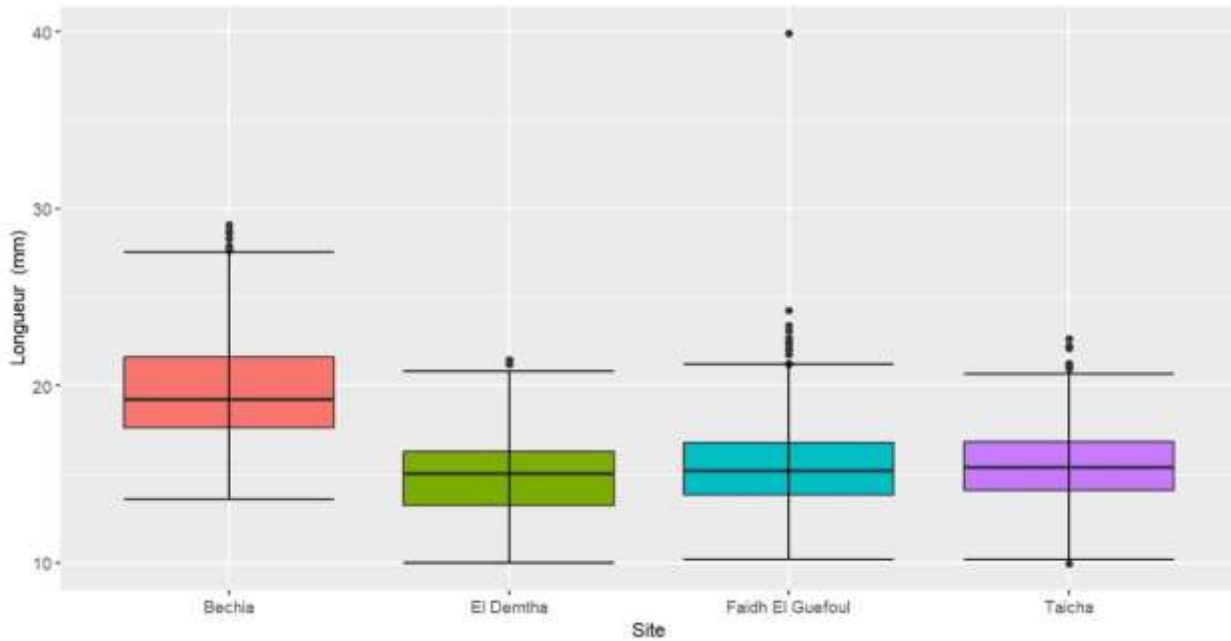


Figure 12 : Comparaison multiple de la longueur foliaire de *Z. lotus* selon les quatre stations échantillonnées.

2.4. Largeur des feuilles

L'ANOVA révèle également une différence très hautement significative pour la largeur des feuilles entre les stations (statistique = 126,05 ; $p < 0,0001$), traduisant une variabilité marquée de ce trait. Toutefois, certaines comparaisons post-hoc ne révèlent pas de différence statistique significative, notamment entre El Demtha et Faïdh El Guefoul ($p = 0,9472$), ce qui pourrait indiquer une similitude dans les conditions locales ou une réponse adaptative convergente à des pressions écologiques semblables.

Les médianes les plus élevées sont observées à Bechia (10,7 mm), tandis que les plus faibles sont enregistrées à El Demtha (7,94 mm). Des dispersions importantes et la présence de valeurs extrêmes, notamment à Faïdh El Guefoul et Taïcha, suggèrent une variabilité intra-stationnelle significative. Cette diversité pourrait être le reflet d'une plasticité phénotypique marquée,

permettant à *Z. lotus* de s'ajuster morphologiquement selon les contraintes microclimatiques locales (Ioazia et al., 2022).

La largeur foliaire influence directement le bilan hydrique et énergétique de la plante (Pérez-Harguindeguy et al., 2016). Dans les milieux secs, des feuilles plus étroites permettent une meilleure dissipation thermique (Yang et al., 2023) et limitent les pertes par transpiration (Doghbage et al., 2023 ; Torres-García et al., 2021). Ainsi, la largeur modérée des feuilles de *Z. lotus* est un élément clé de son succès écologique dans les habitats xériques. Elle illustre une stratégie de compromis entre efficacité photosynthétique et conservation de l'eau, essentielle pour la persistance de cette espèce dans des conditions de sécheresse prolongée (Le Houérou, 2006).

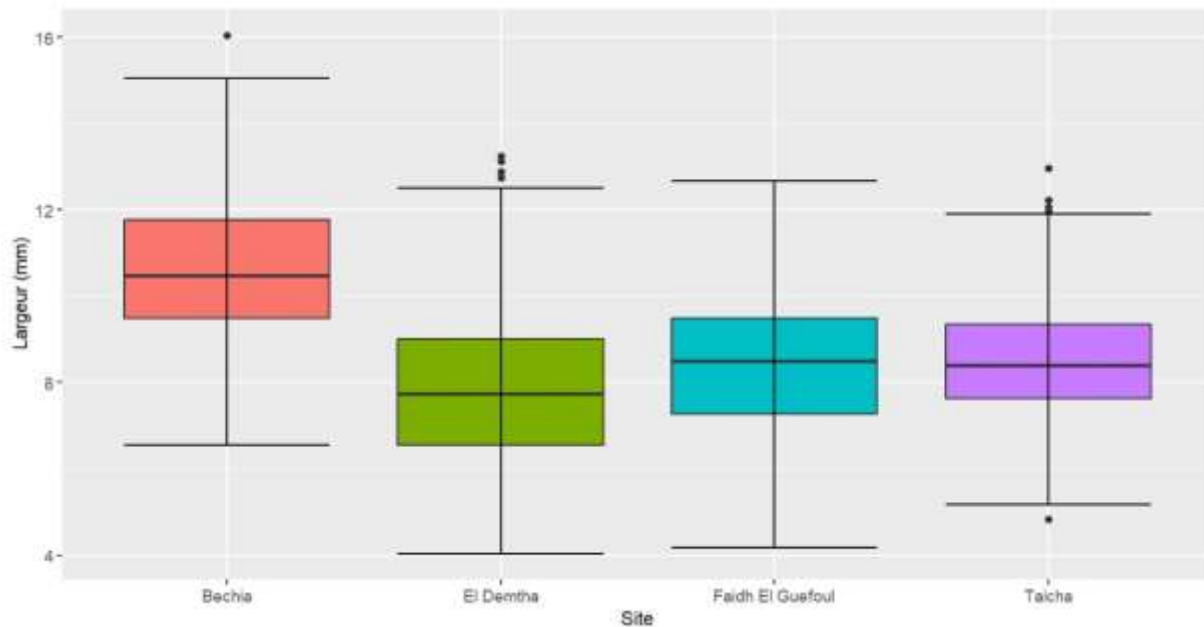


Figure 13 : Comparaison multiple de la largeur foliaire de *Z. lotus* selon les quatre stations échantillonnées.

Les différences relevées entre stations confirment les travaux de Houma (2013), Amara et Benabdeli (2020), et Yahia et al., (2020), qui ont décrit une grande diversité morphologique au sein des populations algériennes de *Z. lotus*, façonnée par l'interaction entre génétique, climat et sol. Ces résultats soulignent l'importance de la plasticité intraspécifique dans la résilience écologique de cette espèce (Krintza et al., 2024 ; Zhong et al., 2023) (Figure 13).

2.5. Épaisseur foliaire

Les résultats de l'ANOVA indiquent une différence hautement significative entre les stations en ce qui concerne l'épaisseur foliaire (statistique = 51,16 ; $p < 0,0001$), avec plusieurs comparaisons post-hoc non significatives (ex. Taïcha vs Bechia, $p = 0,7644$). Ces absences de différence pourraient être le signe d'une stabilité relative de ce trait entre certaines stations, due à des conditions climatiques proches ou à des adaptations convergentes.

La distribution des épaisseurs varie toutefois entre les sites. Faïdh El Guefoul et El Demtha présentent les valeurs moyennes les plus élevées (0,215 et 0,213 mm), tandis que Taïcha et Bechia enregistrent des épaisseurs légèrement plus faibles (0,208 mm). Des dispersions plus importantes sont visibles dans certains sites, ce qui traduit une hétérogénéité intra-populationnelle. Fonctionnellement, une plus grande épaisseur foliaire est souvent associée à une meilleure capacité de rétention d'eau et à une plus grande robustesse face aux stress abiotiques (Poorter et *al.*, 2009 ; Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2016). Dans le cas de *Z. lotus*, cette épaisseur joue un rôle crucial en permettant aux feuilles de maintenir leurs fonctions physiologiques actives même sous des températures élevées et une disponibilité hydrique très faible (Le Houérou, 2006) (Figure 14).

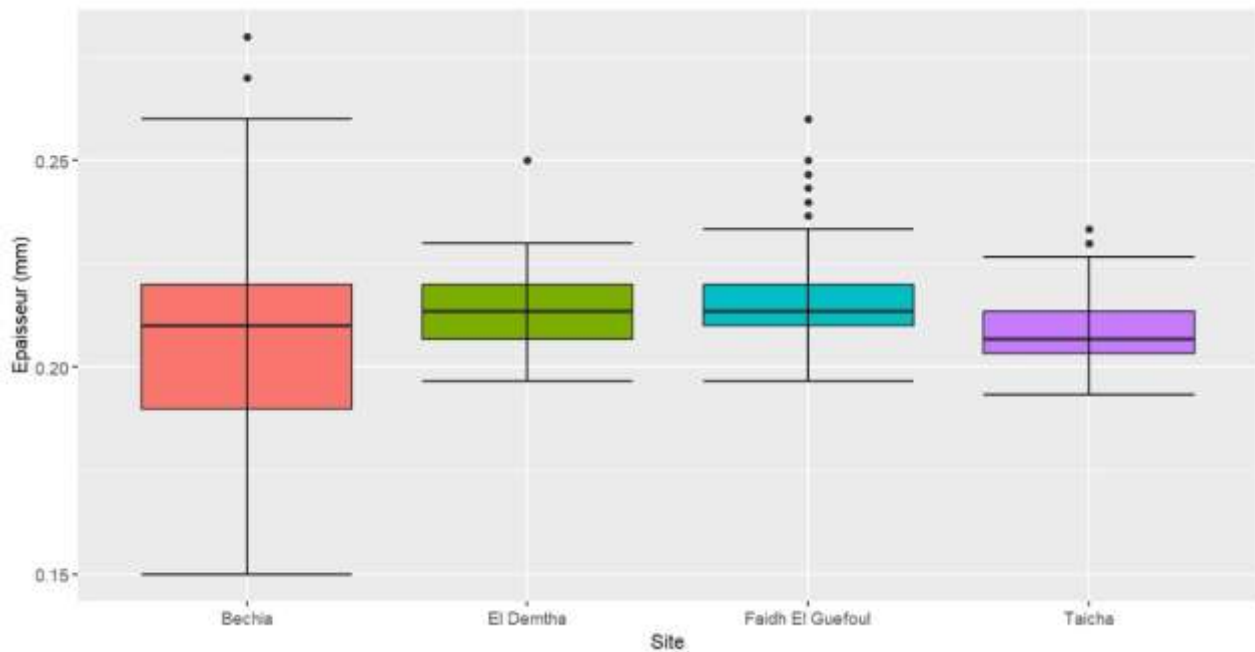


Figure 14 : Comparaison multiple de l'épaisseur foliaire de *Z. lotus* selon les quatre stations échantillonnées.

Ces feuilles plus épaisses tendent à être plus durables et plus résistantes, ce qui confère un avantage sélectif dans les milieux arides (Coneva et *al.*, 2017). Chez *Z. lotus*, des modifications anatomiques comme l'épaississement du mésophylle ou de l'épiderme ont été observées en réponse à la sécheresse (Maraghni et *al.*, 2019 ; Zougar et *al.*, 2024). L'ensemble des résultats montre que ce trait peut refléter à la fois des stratégies conservatrices et une plasticité adaptative marquée, confirmant le potentiel de résilience de cette espèce face aux contraintes abiotiques (Houma, 2013 ; Torres-García et *al.*, 2021 ; Krintza et *al.*, 2024).

2.6. Surface foliaire

La surface foliaire présente également des différences statistiquement significatives selon les stations (statistique = 443,63 ; $p < 0,0001$), avec un pourcentage de variance expliquée de 54,9 % et une taille d'effet de 0,741. Bien que la majorité des comparaisons soient significatives, certaines

paires de stations n'affichent pas de différence marquée, comme c'est le cas entre Taïcha et Bechia ($p = 0,3476$). Ces résultats suggèrent une hétérogénéité intersite, mais aussi une certaine convergence morphologique dans des conditions similaires (Figure 15).

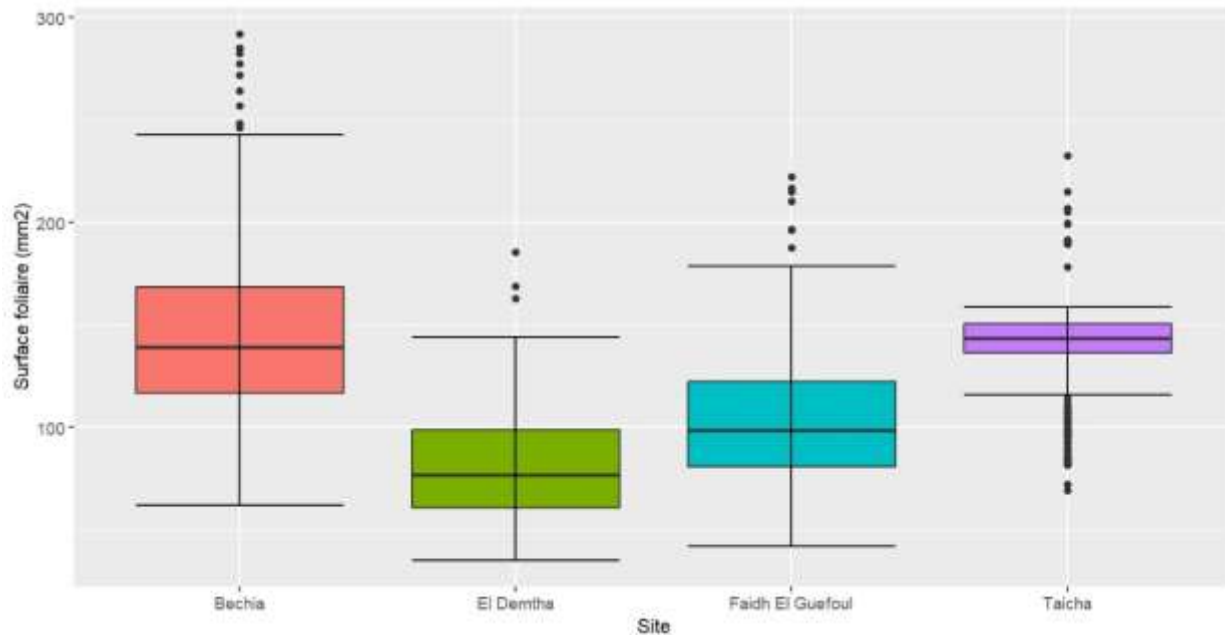


Figure 15 : Comparaison multiple de la surface foliaire de *Z. lotus* selon les quatre stations échantillonnées.

Les boîtes à moustaches révèlent une dispersion importante des valeurs dans certaines stations, traduisant une forte variabilité intra-populationnelle. Des valeurs foliaires faibles sont observées à El Demtha, tandis que Bechia et Taïcha présentent des surfaces plus importantes. Chez *Z. lotus*, la surface foliaire modérée représente un compromis adaptatif, limitant l'évapotranspiration tout en maintenant une activité photosynthétique suffisante pour assurer la croissance et la reproduction dans les conditions sèches méditerranéennes (Le Houérou, 2006). Dans les écosystèmes xériques tels que ceux colonisés par *Z. lotus*, les feuilles de plus petite surface permettent de limiter les pertes hydriques et de réduire la température foliaire (Le Houérou, 2006 ; Niinemets, 2001). Selon Poorter et al., 2009 ; Torres-García et al., 2021, la réduction de la surface foliaire constitue une stratégie connue pour limiter les pertes en eau. Cette variabilité peut également s'expliquer par une plasticité phénotypique permettant à l'espèce de s'adapter à la diversité des micro-environnements (Iozia et al., 2022 ; Krintza et al., 2024). Les convergences observées entre certaines stations, malgré la distance géographique, pourraient être le reflet de pressions sélectives similaires ou de conditions microclimatiques proches (Wang et al., 2024 ; Zhong et al., 2023).

2.7. Surface foliaire spécifique (SLA)

L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative de la surface foliaire spécifique (SLA) entre les stations étudiées (statistique de test = 177,43 ; $p < 0,0001$), traduisant

une forte variabilité morpho-fonctionnelle intersite. Ce trait, essentiel dans l'interprétation des stratégies d'allocation des ressources chez les plantes, s'est avéré particulièrement sensible aux variations écologiques locales.

Les résultats montrent des écarts marqués dans les valeurs médianes entre les stations. Taïcha, par exemple, se distingue par des valeurs nettement plus élevées, tandis qu'El Demtha et Bechia présentent des SLA plus faibles. La figure correspondante met en évidence une dispersion accentuée dans certaines stations, comme Faïdh El Guefoul, où la présence de valeurs extrêmes et une amplitude importante suggèrent une variabilité intra-stationnelle significative. À l'opposé, El Demtha ou Bechia montrent des distributions plus resserrées autour de la médiane, témoignant d'un profil foliaire plus homogène, potentiellement en lien avec des conditions environnementales plus constantes (Figure 16).

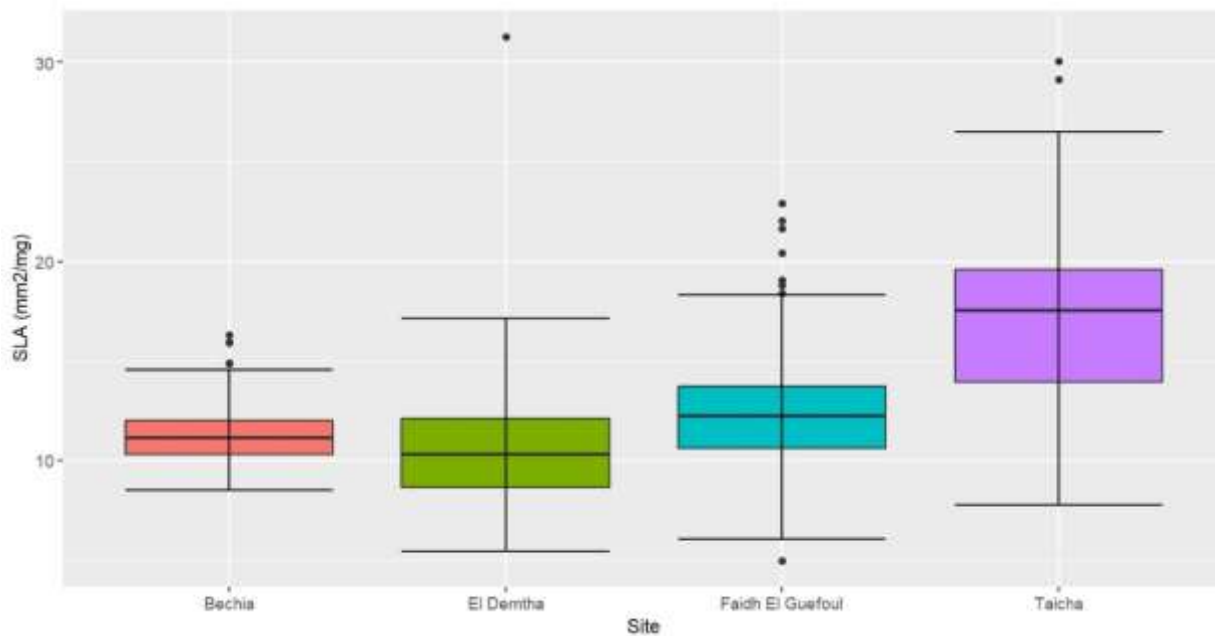


Figure 16 : Comparaison multiple du SLA de *Z. lotus* selon les quatre stations échantillonnées.

Selon Pérez-Harguindeguy et al., (2016) ainsi que Torres-García et al., (2021), le SLA constitue un indicateur clé des stratégies écophysiologicals : des valeurs élevées reflètent une dynamique de croissance rapide et une forte capacité d'acquisition des ressources, fréquente dans les milieux temporaires riches ; tandis que des SLA faibles signalent des feuilles plus robustes, denses et durables, caractéristiques des espèces adaptatives des écosystèmes arides ou pauvres (Poorter et al., 2009 ; Liu et al., 2017). Un faible SLA, comme observé chez *Z. lotus*, implique une limitation des pertes d'eau, une réduction de la surface d'échange gazeux et une plus grande résistance aux perturbations environnementales (Wright et al., 2004 ; Reich et al., 1997). Ce trait est donc crucial pour expliquer la dominance de *Z. lotus* dans les paysages semi-arides méditerranéens (Le Houérou, 2006). Chez *Ziziphus lotus*, cette diversité dans les valeurs de SLA traduit une grande plasticité

fonctionnelle. Les ajustements foliaires observés pourraient être liés à différents facteurs comme l'intensité lumineuse, le déficit hydrique ou les caractéristiques du sol.

Plusieurs études en contexte méditerranéen (Houma, 2013 ; Amara et Benabdeli, 2020) confirment l'influence majeure de ces paramètres dans la modulation des traits foliaires chez cette espèce.

Par ailleurs, cette variation, tant inter qu'intra-stationnelle, illustre la capacité de l'espèce à exprimer des phénotypes contrastés à partir d'un même génotype, comme le rappellent Torres-García *et al.*, (2021) et Krintza *et al.*, (2024). Cette flexibilité phénotypique est un atout adaptatif majeur dans les environnements hétérogènes. Certaines feuilles affichant des valeurs de SLA élevées tout en conservant une petite surface projettent également un compromis fonctionnel visant à maximiser l'efficacité photosynthétique tout en limitant la perte d'eau ; une stratégie typique des espèces résistantes à la sécheresse.

En somme, le SLA constitue un excellent indicateur de l'adaptation de *Z. lotus* aux gradients écologiques locaux. Sa variabilité entre stations reflète une diversité fonctionnelle marquée, tandis que les différences observées au sein d'un même site témoignent d'un potentiel adaptatif remarquable face aux pressions environnementales (Figure 16).

2.8. Teneur en matière sèche des feuilles (LDMC)

L'analyse de variance appliquée à la teneur en matière sèche des feuilles (Leaf Dry Matter Content – LDMC) de *Ziziphus lotus* révèle une différence très hautement significative entre les stations étudiées ($F = 33.7862$; $p = 0.000$), témoignant d'une hétérogénéité fonctionnelle marquée entre les populations (Tableau 4). Toutefois, la variance expliquée demeure modérée (12 %), ce qui indique que d'autres facteurs peuvent également contribuer à la variabilité du LDMC. L'effet de taille observé ($\eta^2 = 0.347$) est cependant substantiel, ce qui suggère une influence environnementale non négligeable.

Le test post-hoc (mcppb20) met en évidence des différences significatives entre plusieurs paires de stations. Les comparaisons Taïcha *vs.* El Demtha ($p = 0.000$), Taïcha *vs.* Faidh El Guefoul ($p = 0.000$) et El Demtha *vs.* Bechia ($p = 0.000$) révèlent des contrastes marqués. À l'inverse, aucune différence significative n'a été détectée entre El Demtha et Faidh El Guefoul ($p = 0.6056$), ni entre Faidh El Guefoul et Bechia ($p = 0.000$), ce qui indique des profils similaires entre ces stations sur ce trait.

L'analyse graphique (Figure 17) confirme cette variabilité inter- et intra-stationnelle. Les médianes les plus élevées sont enregistrées à Taïcha, suggérant une plus grande teneur en matière sèche dans cette station. En revanche, El Demtha présente la valeur centrale la plus basse. Les boxplots révèlent également une dispersion plus importante à Faidh El Guefoul et Bechia, traduisant une hétérogénéité intra-site significative, possiblement en lien avec des facteurs micro-environnementaux.

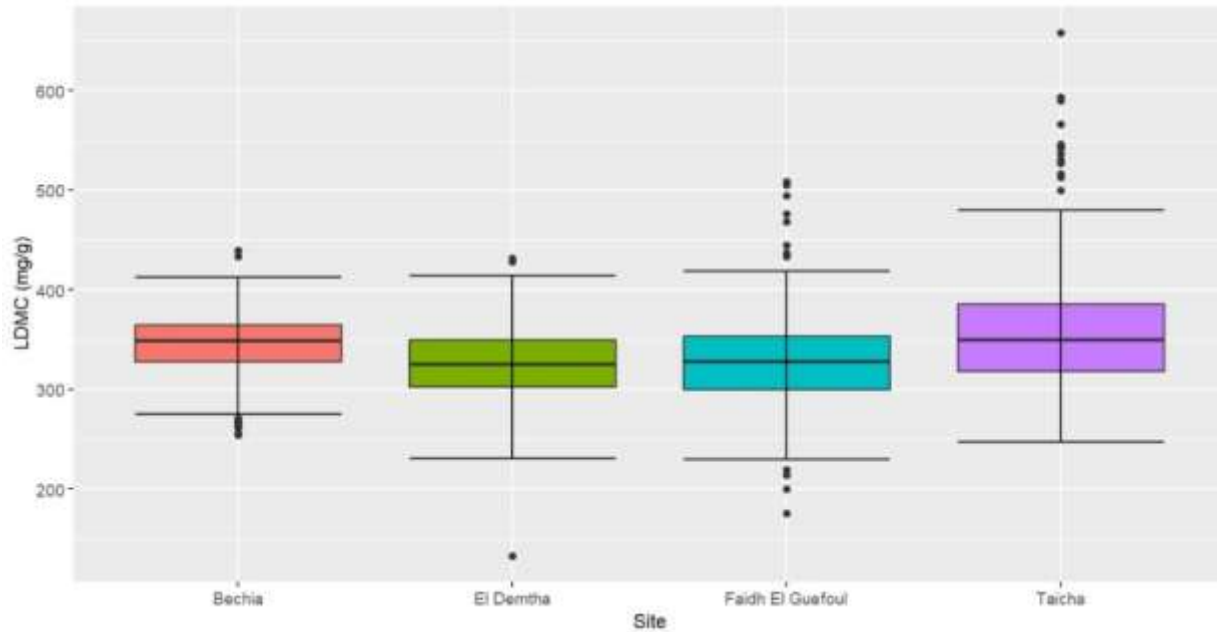


Figure 17 : Comparaison multiple du LDMC de *Z. lotus* selon les quatre stations échantillonnées.

Sur le plan fonctionnel, des valeurs élevées de LDMC sont généralement associées à des feuilles plus denses et plus coriaces, caractéristiques d'une stratégie conservatrice face au stress hydrique (Poorter et al., 2009 ; Pérez-Harguindeguy et al., 2016). Ces feuilles sont souvent moins productives à court terme, mais assurent une meilleure longévité et une résistance accrue à la sécheresse. À l'inverse, des valeurs plus faibles comme observées à El Demtha peuvent refléter une stratégie d'acquisition rapide, adaptée à des milieux plus humides ou moins contraignants.

La valeur élevée du LDMC chez *Z. lotus* traduit une stratégie d'économie de ressources, essentielle pour la survie dans les milieux arides où l'eau et les nutriments sont limités (Niinemets et Valladares, 2006 ; Wright et al., 2004). De plus, un fort LDMC est souvent associé à une résistance accrue au stress thermique, permettant aux feuilles de maintenir leur intégrité structurale malgré des températures extrêmes (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Cette caractéristique confère à *Z. lotus* une forte capacité d'adaptation aux contraintes environnementales et explique son rôle clé dans la stabilisation et la structuration des communautés végétales semi-désertiques (Ouled Belgacem et Louhaichi, 2013). Chez *Z. lotus*, cette caractéristique permet aux feuilles de persister plus longtemps durant les longues périodes de sécheresse et réduit les besoins en renouvellement foliaire, optimisant ainsi l'utilisation de ressources rares (Le Houérou, 2006).

Chez *Z. lotus*, cette variabilité du LDMC illustre une plasticité phénotypique fonctionnelle importante, permettant à l'espèce de s'ajuster finement aux conditions locales, en particulier dans un contexte de gradient aride. Cette capacité d'ajustement structurel a été soulignée dans plusieurs études précédentes (Houma, 2013 ; Maraghni et al., 2019 ; Torres-García et al., 2021). Ainsi, la diversité des réponses observées dans le LDMC contribue à la résilience écologique de l'espèce dans les milieux semi-arides et arides comme ceux de Djelfa.

Conclusion

L'objectif de ce travail était d'étudier la variabilité morphologique et fonctionnelle de *Ziziphus lotus* (L.) Desf. Dans la région de Djelfa, afin de mieux comprendre ses stratégies d'adaptation aux conditions arides et semi-arides de cette zone steppique. Pour cela, différents traits morphologiques (hauteur, largeur de la canopée, dimensions foliaires) et fonctionnels (SLA, LDMC) ont été mesurés et comparés entre quatre stations représentatives de gradients écologiques contrastés.

Les résultats obtenus mettent en évidence une variabilité notable des traits étudiés selon les stations. Les individus de *Z. lotus* présentent des différences significatives en termes de hauteur, de largeur de canopée et de dimensions foliaires, reflétant une plasticité morphologique en réponse aux conditions édaphiques et climatiques locales. Les analyses des traits fonctionnels montrent que le SLA tend à diminuer dans les stations les plus arides, traduisant une stratégie de conservation de l'eau, tandis que le LDMC augmente, confirmant une plus grande densité tissulaire et une meilleure tolérance au stress hydrique. Ces résultats soulignent la capacité adaptative de *Z. lotus* face aux contraintes environnementales, ce qui confirme son rôle d'espèce clé dans la stabilité et la résilience des écosystèmes steppiques.

En outre, les variations observées entre stations suggèrent que la distribution des traits fonctionnels de *Z. lotus* est fortement influencée par l'aridité, la nature du substrat et les pressions anthropiques (surpâturage, dégradation des sols). Cette plasticité écologique explique en partie le succès de cette espèce dans les zones arides et semi-arides, où elle contribue à la fixation des sols, à la lutte contre la désertification et à la préservation de la biodiversité locale.

En résumé, cette étude confirme que *Z. lotus* constitue une espèce ligneuse d'intérêt écologique majeur dans les milieux steppiques, grâce à ses traits adaptatifs lui permettant de persister dans un contexte de changement climatique et de désertification croissante. Toutefois, la conservation durable de ses peuplements nécessite de renforcer les efforts de gestion et de restauration des parcours steppiques, notamment par la limitation du surpâturage et la mise en place de programmes de reboisement adaptés. Ces résultats ouvrent également la voie à des recherches futures visant à approfondir l'étude des mécanismes physiologiques et génétiques sous-jacents à cette plasticité, ainsi qu'à explorer davantage les potentialités écologiques et économiques de *Ziziphus lotus*.

Références bibliographiques

- Abdeddaim, M., Lombarkia, O., Bacha, A., Fahlou, D., Abdeddaim, D., Farhat, R., Saadoudi, M., Noui, Y., Lekbir, A. (2014). Biochemical characterization and nutritional properties of *Ziziphus lotus* l. fruits in Aures region, Northeastern of Algeria. *Ann. Food Sci. Technol.* 15, 75–81.
- Abdel-Zaher A.O., Salim Y.S., Assaf M.H., Abdel-hady R.H., 2005. Antidiabetic activity and toxicity of *Ziziphus spina-christi* leaves. *Journal of Ethnopharmacology*, 101:129-138.
- Abdoul-Azize S., 2016. Potential Benefits of Jujube *Ziziphus lotus* L. Bioactive Compounds for Nutrition and Health. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 1–13.
- Abu-Zarga M., Sabri S., Al-Boudi A., Ajaz S., Sultana N., Rahman A.U., 1995. New cyclopeptide alkaloids from *Ziziphus lotus*. *Journal of Natural Products*, 58: 504-511.
- Adeli M., Samavati V., 2015. Studies on the steady shear flow behavior and chemical properties Of water-soluble polysaccharide from *Ziziphus lotus* fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72 : 580–587.
- Adzu B., Amos S., Amizan MB., Gamaniel K., 2003. Evaluation of the antidiarrhoeal effects of *Ziziphus spina-christi* stem bark in rats. *Acta Tropica*, 7: 245-250.
- Aïdoud, A. (1983–1989). Études écologiques sur les steppes arides de l'Algérie. Université d'Alger.
- Aïdoud, A., Nedjraoui, D., et Touffet, J. (2006). Pastoralism and socio-economic changes in the Algerian steppe: Consequences on use and management of rangelands. *Sécheresse*, 17(1), 225–232.
- Aït Hani, N., Touazi, S., et Meddi, M. (2020). Caractérisation climatique des Hautes Plaines steppiques algériennes. *Revue des Régions Arides*, 48(1), 25-37.
- Allali H., Benmehdi H., Dib M.A., Tabti B., Ghalem S., Benabadji N., 2008. Phytotherapy of diabetes in west Algeria. *Asian Journal of Chemistry*, 2: 2701-2710.
- Amara, M., et Benabdeli, K. (2020). Potentialités écologiques de *Ziziphus lotus* et possibilités de développement durable des espaces arides : cas de la région de Naâma (Algérie). *Geo-Eco-Trop.*, 44(2), 269–277.
- Amara, M., et Benabdeli, K. (2020). Potentialités écologiques de *Ziziphus lotus* et possibilités de développement durable des espaces arides : cas de la région de Naâma (Algérie). *Geo-Eco-Trop.*, 44(2), 269–277.

- Arbonnier, M., 2002. Arbre, arbuste et lianes des zone sèches d’Afrique de l’ouest, seconde édition, CIRAD (France). 439P.
- Ardnt SK., Clifford SC., Popp M., 2001. *Ziziphus*- a multipurpose fruit tree for arid regions. In: sustainable land-use in deserts. Breckle S.W., Veste M. and Wucherer W., Springer. Heidelberg, Stuttgart, New York, 388-399.
- areek, O. P. 2001. Ber. International Centre for
- Armstrong, R. A. (2002). The analysis of variance (ANOVA) and the use of linear models in medical research. *British Journal of Ophthalmology*, 86(4), 327–331.
- Aronson, J., Floret, C., Le Floch, E., Ovalle, C., et Pontanier, R. (1993). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the South. *Restoration Ecology*, 1(1), 8-17.
- Asatryan A., Tel-Zur N., 2014. Intraspecific and interspecific crossability in three *Ziziphus* species (Rhamnaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61:215–233.
- Asner, G. P., Scurlock, J. M. O., et Hicke, J. A. (2003). Global synthesis of leaf area index observations. *Global Ecology and Biogeography*, 12(3), 191–205.
- Aymonin G.G., 1993. Guide des arbres et des arbustes. Sélection du Reader’s Digest (Ed). Paris, 351p.
- 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. Encyclopédie des plantes utilisées. Flore d’Algérie et du Maghreb – Substance végétale, Edition Librairie Moderne, Rouiba, p145.
- Bagnouls, F., et Gausson, H. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. *Bulletin de la Société d’Histoire Naturelle de Toulouse*, 88, 193–239.
- Bamouh A., (2002). La lutte chimique contre le jujubier. Programme National de transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA), ed. DERD Rabat, n° 94, p. 1, 4.
- Barry, M., Le Houérou, H. N., et Ben Salem, M. (1974). Étude géologique et écologique du plateau steppique algérien. C.N.R.A.
- Bayer, E., Butter, K.P., Finkenzeller, X., et Grau, J., 2009. Guide de la flore méditerranéenne : Caractéristiques, habitat, distribution et particularité de 536 espèces. Ed. Delachaux et Suisse. Pp :280.

- Belhadj S., 2007. Etude eco-botanique de *Pistacia atlantica* Desf. (Anacardiaceae) en Algérie, Préalable à la conservation des ressources génétiques de l'espèce et à sa valorisation. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 140 p.
- Benabadji, N., et Bouazza, M. (2000). Étude de la végétation et des facteurs écologiques dans la steppe d'Arzew. *Acta Botanica Malacitana*, 25, 213–228.
- Benammar, C.; Hichami, A.; Yessoufou, A.; Simonin, A.M.; Belarbi, M.; Allali, H., Khan, N.A., 2010. *Ziziphus lotus* (L.) Lam. (Desf.) modulates antioxidant activity and human T-cell proliferation. *BMC Complement. Altern. Med*, 10 : 1–9.
- Benchelah A.C., Bouziane H., Maka M., 2004. Fleurs du Sahara, arbres et arbustes, voyage au Cœur de leurs usages avec les Touaregs du Tassili. *Phytothérapie*, 6 : 191-197.
- Bencherif, S. (2011). Dynamique climatique dans les steppes de l'Algérie. *Revue Geo-Eco-Trop*, 35(2), 183–192.
- Bencherifa, A., et Djebbar, M. (2010). Hydrologie et développement en zones arides. *Revue Sécheresse*, 21(3), 153–161.
- Benchettara, M., Bouaziz, S., et Djemai, A. (2012). Étude géomorphologique de la région de Djelfa. *Revue des Sciences de la Terre*, 5(2), 101–112.
- Benhouhou, S., Touffet, J., et Terrisse, A. (2011). *Ziziphus lotus* dans le nord de l'Algérie : distribution, écologie et valorisation. *Ecologia Mediterranea*, 37(1), 39–48.
- Bensaid, M., Belhoucine, S., et Mekhloufi, H. (2019). Analyse des ressources végétales et de la dynamique de la végétation dans les parcours steppiques de Djelfa. *Revue des Sciences de la Nature et de la Vie*, 6(1), 33–47.
- Bensaid, M., Belhoucine, S., et Mekhloufi, H. (2019). Analyse des ressources végétales et de la dynamique de la végétation dans les parcours steppiques de Djelfa. *Revue des Sciences de la Nature et de la Vie*, 6(1), 33–47.
- 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.
- Borgi W., Chouchane N., 2006. Activité anti-inflammatoire des saponosides des écorces de racines de *Ziziphus lotus* (L.). *Revue des Régions Arides*, 283-286.
- Borgi W., Ghedira K., Chouchane N., 2007a. Anti-inflammatory and analgesic activities of *Ziziphus lotus* root barks. *Fitoterapia*, 78:16-19.

- Borgi W., Recio M-C., Rios J-L., Chouchane N., 2008. Anti-inflammatory and analgesic activities of flavonoid and saponin fractions from *Ziziphus lotus* (L.) Lam. *South African Journal of Botany*, 14:320-324.
- Botineau, M., 2015. Guide des plantes à fruits charnus comestibles et toxiques. P 8.
- Bouazza, M. (1991). Données climatiques des Hauts Plateaux algériens. *Climat et développement rural en Afrique du Nord*, 2, 78–85.
- Boughani, M. (2014). Caractérisation des milieux steppiques de la région de Djelfa. Thèse de doctorat, Université de Ouargla.
- Bross J., 2000. Larousse des arbres et des arbustes. Larousse (Ed). Canada. 576p.
- Catoire C., Zwang H., Bouet C., 1999. Les jujubiers ou le *Ziziphus* fruits oubliés. n° 1.91 p.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., et Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239–264.
- 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.
- Chevalier A. 1947. Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée Année 1947 301-302 pp. 470-483
- Chopra I-C., Abral B-K., Handa K-L., 1960. Les plantes médicinales des régions arides considérées surtout du point de vue botanique. Ed. UNESCO, p 48.
- Chouaibi, M., Mahfoudhi, N., Rezig, L., Donsi, F., Ferrari, G. and Hamdi, S. 2012. Nutritional composition of *Zizyphus lotus* L. seeds. *J. Sci. Food Agric.* 92, 1171–1177.
- Chung K.T. and Wei C.I. (2001), Are tannins a double edged sword in biology and
- Claudine R., 2007. Le nom de l’arbre : le grenadier, le caroubier, le jujubier, le pistachier et l’arbousier. Actes sud le Majan, 1^{er} édition France, p. 45-62.
- Coneva, V., Frank, M. H., Balaguer, M. A. de L., Li, M., Sozzani, R., et Chitwood, D. H. (2017). Genetic architecture and molecular networks underlying leaf thickness in desert-adapted tomato *Solanum pennellii*. *Plant Physiology*, 175(1), 376–391.
- Cornelissen, J. H. C., Cerabolini, B., Castro-Díez, P., Villar-Salvador, P., Montserrat-Martí, G., Puyravaud, J. P., Maestro, M., Werger, M. J. A., et Aerts, R. (2003). Functional traits

- of woody plants : Correspondence of species rankings between field adults and laboratory grown seedlings, *Journal of Vegetation Science*, 14(3), 311-322.
- Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E. et al. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51(4), 335–380.
 - Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Reich, P. B., Ter Steege, H., Morgan, H. D., Van Der Heijden, M. G. A., Pausas, J. G., et Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of botany*, 51(4), 335–380.
 - Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., et al. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51, 335–380.
 - Cornelissen, J.H.C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D.E., et al. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51(4), 335–380.
 - Daget, P., et David, J. (1982). Les pâturages naturels méditerranéens. CIHEAM/FAO.
 - Dahlia, M., Benali, A., et Khelifi, L. (2019). Variabilité morphologique et adaptation des fruits de *Ziziphus lotus* en Algérie. *Revue Algérienne de Botanique*, 45(2), 123–134.
 - Díaz S, Hodgson JG, Thompson K, Cabido M, Cornelissen JHC, Jalili A, Montserrat-Martí G, Grime JP, Zarrinkamar F, et al. (2004) Les systèmes de caractères qui déterminent les preuves de la continence végétale. *Journal des sciences de la végétation*15, 295–304.
 - Djebaili, Z. (1978). La végétation de l'Algérie : classification écologique et physionomique. Thèse d'État, Université de Marseille.
 - Djebaili, Z. (1984). Phytosociologie et phytogéographie des steppes nord-sahariennes. *EcologiaMediterranea*, 10(3), 151–172.
 - Djellouli, M. (1981). Contribution à l'étude climatique des steppes d'Algérie. Thèse, Université d'Alger.
 - Doghbage, A., Belhadj, S., Belhouadjeb, F. A., Boukerker, H., Mevy, J. P., Gauquelin, T., Tonetto, A., Merdas, S., Touati, B., Saimi, F., Rahem, R., Derridj, A., Hassen, F. F., et Soufan, W. (2023). Leaf morphological and epidermal traits variability along

- environmental gradients in ten natural populations of *Pistacia lentiscus*. *Life*, 13(7), Article 7.
- Dubief, J. (1959). Le climat du Sahara. Paris : Maison des Sciences de l'Homme.
 - Ehleringer, J. R., et Dawson, T. E. (1992). Water uptake by plants: perspectives from stable isotope composition. *Plant, Cell et Environment*, 15(9), 1073-1082.
 - El Hachimi F., El Antari A., Boujnah M., Bendrisse A., Alfaiz C., 2014. Comparaison des huiles des graines et de la teneur en acides gras de différentes populations marocaines de jujubier, de grenadier et de figuier de barbarie. *J. Mater. Environ. Sci.*, 6 :1488-1502.
 - Emberger L., 1960. Les Végétaux vasculaires, Paris. P 595.
 - Emberger, L. (1955). Une classification biogéographique des climats. *Recueil des Travaux de la Station de Botanique*, 3(1), 3–43.
 - Espiard E., 2002. Introduction à la transformation industrielle des fruits. Tec et doc(Ed). 360p.
 - F.A.O. (1982). Espèces fruitières forestières, fiches techniques. Rome, Etude FAO Forêt, N°34, iv + 201 p.
 - Garnier, E., et al. (2004). Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology*, 85(9), 2630–2637.
 - Garnier, E., Shipley, B., Roumet, C., et Laurent, G. (2001). A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology*, 15(5), 688–695.
 - Gaudet, C.L., et Keddy, P.A. (1988). A comparative approach to predicting competitive ability from plant traits. *Nature*, 334(6179), 242–243.
 - Ghazanfar S. A. (1994) Handbook of Arabian medicinal plants. Boca Raton: CRC Press.
 - Ghazghazi, H., Aouadhi, C., Riahi, L., Maaroufi, A., et Hasnaoui, B. (2014). Fatty acids composition of Tunisian *Ziziphus lotus* L. (Desf.) fruits and variation in biological activities between leaf and fruit extracts. *Natural product research*, 28(14), 1106–1110.
 - Ghedira K., 2013. *Ziziphus lotus* (L.) Desf. (Rhamnaceae) : jujubier sauvage. *Phytothérapie*, 11 : 149-153.
 - Ghedira K., Chemli R., Caron C., Nuzillard J-M., Zeches M., Le Men-Olivier L., 1995. Four cyclopeptidealkaloids from *Ziziphus lotus*. *Phytochemistry* , 38 :767-772

- Ghost A. et Lysias D.;C. (2007) Jujube Fruit: a magic fruit berry for emotion controlling and more. Pure Herb and extract processing and formation.
- Grime JP, Thompson K, Hunt R, Hodgson JG, Cornelissen JHC, Rorison IH, Hendry GAF, Ashenden TW, Askew AP, Band SR, Booth RE, et al. (1997) Le criblage intégré valide les axes primaires de spécialisation chez les plantes. *Oikos*79, 259–281.
- Grime, J.P. (1977) Evidence For Existence Of 3 Primary Strategies In Plants And Its Relevance To Ecological And Evolutionary Theory. *American Naturalist*, 111, 1169–1194.
- Haderbache L., Bousdira M., Mohammedi A., 2013. *Ziziphus lotus* and *Euphorbia bupleuroides* Algerian honeys. *Journal World Applied sciences*. 24: 1536-1543.
- Halitim, A. (1988). Sols des régions arides d'Algérie. Office des Publications Universitaires, Alger, 384 p.
- Hammi K.M., Jdey A., Abdelly C., Majdoub, H.; Ksouri, R. 2015. Optimization of ultrasound assisted extraction of antioxidant compound from Tunisian *Ziziphus lotus* fruits using response surface methodology. *Food Chem*, 18 : 80–89.
- health? *Trends in Food Science et Technology*, 9 :168-175.
- Hirche, A. (2010). Climat et dynamique de la végétation dans les Hauts Plateaux algériens. Thèse, Université de Batna.
- Hirche, A., Amghar, F., et Abbad, A. (2007). Variabilité climatique et dégradation des parcours à Djelfa. *Sécheresse*, 18(2), 139–147.
- Hirche, A., Salamani, M., Abdellaoui, A., Benhouhou, S., et Valderrama, J. M. (2011). Landscape changes of desertification in arid areas : the case of south- west Algeria. *Environmental monitoring and assessment*, 179, 403–420.
- Houma, I. (2022). *Ziziphus lotus* (L.) morphological description from wild populations in Algeria. *Agrobiologia*, 12(1), 2915–2931.
- Iozia, L. M., Crisafulli, V., et Varone, L. (2022). Climatic variations along an aridity gradient drive significant trait intraspecific variability in Mediterranean species. *bioRxiv*.
- Kadik, A. (2005). Les sols des zones arides d'Algérie. *Revue de Géographie et Développement*, 9, 5–23.
- Keddy, P. A. (1992). A Pragmatic Approach to Functional Ecology. *Functional Ecology*, 6(6), 621. <https://doi.org/10.2307/2389954>

- Khouchlaa A., Talbaoui A., El Yahyaoui El Idrissi A., Bouyahya A., Ait Lahsen S., Koussa M., Bouziane T., 2018. Apport du SIG a la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans la région de Djelfa, Algérie. *Journal Scientifique Libanais*, 19: 31-46.
- 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.
- Laamouri A, Ammari Y, Albouchi A, Sghaier T, Mguis K., 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 .
- Laamouri, A. et Zine El Abidine A., (2000). Multiplication des jujubiers en Tunisie. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*, 33, 37-49.
- Laamouri, A., Ammari, Y., Albouchi, A., Sghaier, T., Mguis, K., et Akrimi, N. (2008). Étude comparative de la croissance et du développement du système racinaire de trois espèces de jujubier en Tunisie. *Geo-Eco-Trop*, 32, 37–46.
- Lahlou M., El Mahi M., Hamamouchi J., 2002. Evaluation des activités antifongiques et molluscide de *Ziziphus lotus* (L.) Desf. du Maroc. *Journal des annales pharmaceutiques française*, 60:410-414.
- Lahsissene H., Kahouadji A., Tijane M., Hseini S., 2009. Catalogue des plantes médicinales utilisées dans la région de Zaër (Maroc occidental). *LEJEUNIA, Revue de Botanique [En ligne]*, N° 186.
- Lavorel S, McIntyre S, Landsberg J, Forbes TDA (1997) Plante classifications fonctionnelles : des groupes généraux aux groupes spécifiques en fonction de la réponse aux perturbations. *Tendances en écologie et évolution* 12, 474–4
- Le Houérou, H. N. (1989). Classification des régions arides. *Options Méditerranéennes, Série A*, 1, 21–37.
- Le Houérou, H. N. (1995). Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. CIHEAM Editions.
- Le Houérou, H. N. (1995). Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. CIHEAM - Options Méditerranéennes, Série B, 31.
- Le Houérou, H. N. (2004). Drought-tolerant and water-efficient fodder shrubs. *Arid Land Research and Management*, 18(1), 27–52.

- Le Houérou, H. N. (2005). La végétation steppique d'Afrique du Nord. *Sécheresse*, 16(3), 209–222.
- Le Houérou, H. N. (2006). The role of shrubs and trees in the rehabilitation of desertified ecosystems. *Arid Land Research and Management*, 20(3), 245–271.
- Le Houérou, H. N. (2006). *Ziziphus lotus* et l'aridification des steppes algériennes. Montpellier : Options Méditerranéennes.
- Le Houérou, H.N. (2006). The role of shrubs and trees in the rehabilitation of desertified ecosystems. *Arid Land Research and Management*, 20(3), 245–271.
- Liu P., Liu M.J., Zhao Z.H., Liu X.Y., Yang L., Wu Y.L., 2009. Agronomic diversity of Sour Jujube *Ziziphus acidojujuba* in China. *Acta Horticultura*, 840 :203-208.
- Liu, B., Fang, Y., et Wang, X. (2022). Trait-based strategies of plants facing drought in arid regions. *Functional Ecology*, 36(3), 587–598.
- Liu, Z., Zhu, Y., Li, F., et Jin, G. (2017). Non-destructively predicting leaf area, leaf mass and specific leaf area based on a linear mixed-effect model for broadleaf species. *Ecological Indicators*, 78, 340–350.
- López-Rodríguez, M. D., Salinas-Bonillo, M. J., Torres, M. T., Pacheco-Romero, M., Guirado, E., Castro Nogueira, H., et Cabello, J. (2020). Impulsando estrategias colectivas ciencia-gestión-sociedad para conservar el hábitat de *Ziziphus lotus* (Hábitat prioritario 5220).
- Mainguet, M. (1991). Désertification : essai d'analyse globale. Presses Universitaires de France.
- Mainguet, M., et Dumay, F. (1995). Processus et formes d'érosion en zone aride. Paris : L'Harmattan.
- Maire R., 1933. Etudes sur la flore et la végétation du Sahara central. La Société d'histoire naturelle de l'Afrique du nord, n°3, Mission du Hoggar II, Alger, 361 p.
- 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 : 63-72.
- Maraghni, M., Gorai, M., Steppe, K., Neffati, M., et Van Labeke, M. C. (2019). Coordinated changes in photosynthetic machinery performance and water relations of the

- xerophytic shrub *Ziziphus lotus* (L.) Lam. (Rhamnaceae) following soil drying. *Photosynthetica*, 57(1), 113–120.
- Meddi, M., Mahé, G., et Assani, A. A. (2010). Temporal variability of rainfall in Algeria. *Hydrological Sciences Journal*, 55(3), 435–446.
 - Melzi, A. (1986). Étude climatologique de la région steppique algérienne. Mém. mag., Université d'Alger.
 - Moles, A.T., Falster, D.S., Leishman, M.R., et Westoby, M. (2005). Small-seeded species produce more seeds per square metre of canopy per year, but not per individual per lifetime. *Journal of Ecology*, 93(3), 643–652.
 - Mouffok, S., Merabet, K., Bensouilah, M., etamp; Khelil, N. K. (2018). (Insecticidal activity of *Ziziphus lotus* extracts against mosquito larvae.) *Journal of Ethnopharmacology*, 222, 158-165. DOI: 10.1016/j.jep.2018.05.041.
 - Musset, A. (1935). Essai sur le climat de l'Afrique du Nord. *Bulletin de la Société de Géographie*.
 - Nahal, I. (1981). Les types bioclimatiques du Maghreb. *Forêt Méditerranéenne*, 3(2), 109–115.
 - Nedjraoui, D. (1990). Le milieu physique et la végétation des steppes algériennes. Thèse, INA Alger.
 - Nedjraoui, D., et al. (2016). Les dynamiques écologiques dans les steppes : vers une gestion durable. *Sécheresse*, 27(2), 137–145.
 - 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., et Valladares, F. (2006). Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate Northern Hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs*, 76(4), 521–547.
 - Niinemets, Ü., et Valladares, F. (2006). Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate Northern Hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs*, 76(4), 521–547.
 - Nouidjem, R., Hichem, K., Sakina, M., et Etayeb, B. (2021). Diversity, ecology and therapeutic properties of the medicinal plants in Ziban region (Algeria). *Journal of bioresource management*, 8(1).
 - Ouled Belgacem, A., et Louhaichi, M. (2013). The vulnerability of native rangeland plant species to global climate change in North Africa. *Climatic Change*, 119(3–4), 785–798.

- Ouled Belgacem, A., et Louhaichi, M. (2013). The role of native woody plants in dryland restoration: Example of *Ziziphus lotus*. *Journal of Arid Environments*, 92, 1–5.
- Ouled Belgacem, A., et Louhaichi, M. (2013). The vulnerability of native rangeland plant species to global climate change in the West Asian and North African regions. *Climatic Change*, 119(2), 451–463.
- Ozenda P., 1991. Flore et végétation du Sahara. Edition du CNRS (3ème édition), Paris, France. 662p.
- Parrek O. P. (2001) Ber. Southampton, UK : International Centre for Under utilised crops pub.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., et al. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61, 167–234. <https://doi.org/10.1071/BT12225>
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., et al. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of botany*, 61, 167–234.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., et al. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61, 167–234. <https://doi.org/10.1071/BT12225>
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, É., 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., ... Al, E. (2016). Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 64(7–8), 715–716. https://doi.org/10.1071/BT12225_CO
- Pérez-Harguindeguy, N., et al. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61(3), 167–234.
- Poorter, H., Niinemets, Ü., Poorter, L., Wright, I. J., et Villar, R. (2009). Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): A meta-analysis. *The New Phytologist*, 182(3), 565–588.
- Pouget, M. (1973). Les relations entre les caractéristiques écologiques et les potentialités pastorales des parcours steppiques algériens. Thèse, Université de Paris VI.

- Pouget, M. (1980). Le milieu physique des steppes d'Algérie. ORSTOM, Paris.
- Quezel P., Santa S., 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et régions désertiques méridionales. Tome 2. CNRS, Paris ,565p
- Quézel, P. (1965). La végétation du Sahara nord-oriental. CNRS Editions.
- R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 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.
- Reich, P. B., Walters, M. B., et Ellsworth, D. S. (1997). From tropics to tundra: Global convergence in plant functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(25), 13730–13734.
- Reich, P.B., Walters, M.B., et Ellsworth, D.S. (1997). From tropics to tundra: Global convergence in plant functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(25), 13730–13734.
- Rsaissi N., Bouhache M., 2002. La lutte chimique contre le jujubier .Programme National de transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA), DERD (Ed).n0 94.Rabat ,4p.
- Ruxton, G. D. (2006). The unequal variance t-test is an underused alternative to Student's t-test and the Mann–Whitney U test. *Behavioral Ecology*, 17(4), 688–690.
- Salhi S., Fadli M., Zidane L., Douira A., 2010. Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroa*.31: 133-146.
- Seltzer, P. (1946). Le climat de l'Algérie. SNED, Alger.
- Stachowicz J. J., (2001). Mutualism, facilitation, and the structure of ecological communities. *BioScience*51:235246.
- Su P., LiuScientia X., 2005. Photosynthetic characteristics of linze jujube in conditions of high Temperature and irradiation. *Horticultrae*, 104 :339–350.
- Suksamrarn S., Suwannapoch N ., Aunchai N ., Kuno M ., Ratananukul P ., Haritakum R ., Jansakul C ., Ruchirawat S., 2005. Ziziphine N, O, P, new antiplasmodialcyclopeptidealkaloidsfrom *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., 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., Gázquez-Sánchez, F., Fernández-Cortés, Á., Querejeta, J. I., et Cabello, J. (2021). Squandering water in drylands: The water-use strategy of the phreatophyte *Ziziphus lotus* in a groundwater-dependent ecosystem. *American Journal of Botany*, 108(2), 236–248.
 - UNEP. (1992). World Atlas of Desertification. United Nations Environment Programme.
 - Violle, C., Navas, M.-L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., et Garnier, E. (2007)b . Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892.
 - VON MAYDELLE H.-J. (1990). Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations. Deutsche Gesellschaft Technische Zusammenarbeit, GTZ, Eschborn (Deutschland), 531 p.
 - Weiher, E., Werf, A. van der, Thompson, K., Roderick, M., Garnier, E., et Eriksson, O. (1999). Challenging Theophrastus : A common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of Vegetation Science*, 10(5), 609-620. <https://doi.org/doi.org/10.2307/3237076>
 - Westoby M, Falster D, Moles A, Vesk P, Wright I (2002) Écologie végétale stratégies : quelques dimensions principales de la variation entre les espèces. *Revue annuelle d'écologie et de systématique*33, 125–159.
 - Witkowski, E.T.F., et Lamont, B.B. (1991). Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia*, 88(4), 486–493.
 - Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornelissen, J. H. C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P. K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B. B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., ... Villar, R. (2004). The worldwide leaf economic spectrum. *Nature*, 428(6985), 821-827.
 - Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornelissen, J. H. C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P.

- K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B. B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., ... Villar, R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985), 821–827.
- Wright, I.J., Reich, P.B., et Westoby, M. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985), 821–827.
 - Yahia, Y., Benabderrahim, M. A., Tlili, N., Bagues, M., et Nagaz, K. (2020). Bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of extracts from different plant parts of two *Ziziphus* Mill. species. *PLOS ONE*, 15(5), e0232599.
 - Yang, Y., Wang, Z., Bao, W., Wu, N., Hu, H., Yang, T., Li, X., Nkrumah, D. T., et Li, F.(2023). 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.
 - Zar, J. H. (1999). *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
 - Zerrouk S., SeijoMC., Escuredo O., Rodríguez M.S., 2017. Characterization of *Ziziphus lotus* (jujube) honey produced in Algeria. *Journal of ApiculturalResearch*, 57 :166-174.
 - Zhong, G., Tian, Y., Liu, P., Jia, X., et Zha, T. (2023). Leaf traits and resource use efficiencies of 19 woody plant species in a plantation in Fangshan, Beijing, China. *Forests*, 14(1), Article 1.
 - Zouggar, H., Haj Jilani, I. B., Mekious, S., Belhadj, S., Moustafa Mahdad, Y., Masseaux, C., et Boulahbel, H. (2024). Miel de jujubier d'Algérie : analyse méliissopalynologique et caractères morphologiques du pollen. *BASE*.

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans un contexte de changement climatique marqué par l'accentuation de l'aridité dans les zones steppiques algériennes. L'étude a porté sur *Ziziphus lotus* (L.) Desf., un arbuste caractéristique des milieux arides, afin d'analyser ses traits morphologiques et fonctionnels et d'évaluer sa capacité d'adaptation aux contraintes environnementales. L'échantillonnage a été réalisé dans différentes stations de la région de Djelfa, et plusieurs traits ont été mesurés, notamment la surface foliaire, l'épaisseur, la surface foliaire spécifique (SLA), la teneur en matière sèche des feuilles (LDMC) ainsi que les dimensions de la canopée. Les résultats mettent en évidence une variabilité significative entre stations, révélant une forte plasticité fonctionnelle. Dans les milieux les plus arides, *Z. lotus* adopte une stratégie conservatrice : feuilles plus petites et plus épaisses, densité tissulaire accrue et réduction de la SLA. Ces ajustements traduisent une adaptation efficace au déficit hydrique et confirment l'intérêt des traits fonctionnels comme indicateurs écologiques. Malgré certaines limites méthodologiques (échantillonnage ponctuel, nombre restreint de stations), ce travail contribue à la compréhension des mécanismes adaptatifs des ligneux méditerranéens et suggère l'utilisation de *Z. lotus* dans les programmes de restauration écologique et de lutte contre la désertification.

Mots-clés : *Ziziphus lotus*, traits fonctionnels, SLA, LDMC, adaptation, aridité, steppe.

Abstract

This dissertation was conducted in the context of increasing aridity driven by climate change, particularly affecting the steppe ecosystems of Algeria. The study focused on *Ziziphus lotus* (L.) Desf., a characteristic shrub of arid habitats, with the aim of assessing its morphological and functional leaf traits and evaluating its adaptive capacity under environmental stress. Sampling was carried out across different sites in the Djelfa region, where several traits were measured, including leaf area, thickness, specific leaf area (SLA), leaf dry matter content (LDMC), and canopy dimensions. The results revealed significant inter-site variability, highlighting a high degree of functional plasticity. In the driest environments, *Z. lotus* exhibited conservative strategies: smaller and thicker leaves, higher tissue density, and reduced SLA. These adjustments reflect an efficient adaptation to water deficit and confirm the relevance of functional traits as reliable ecological indicators. Despite certain methodological limitations (single sampling period, limited number of sites), this work provides valuable insights into the adaptive mechanisms of Mediterranean woody species and supports the potential use of *Z. lotus* in ecological restoration programs and desertification control.

Keywords : *Ziziphus lotus*, functional traits, SLA, LDMC, adaptation, aridity, steppe.