

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE MOULOU D MAMMARI DE TIZI-OUZOU**

**DEPARTEMENT D'ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT MEMOIRE DE MASTER**



**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Ecologie et Environnement**

**Spécialité : Biodiversité et Ecologie Végétale**

**Présenté par :**

**TITOUCHE Cherifa et KABYL Lydia**

**Thème**

**Étude de l'adaptation de *Ziziphus lotus* le long d'un gradient d'aridité par le biais des traits fonctionnels.**

**Soutenu publiquement le : 01 /07 /2024**

**Devant le jury :**

**Présidente : M<sup>me</sup> SAADOUN N.**

**Pr, UMMTO**

**Examineur : Mr. OUDJIANE A.**

**MCB, UMMTO**

**Promotrice : M<sup>me</sup> BERRACHED R.**

**MCB, UMMTO**

**Année universitaire : 2023-2024**

## Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre sincère reconnaissance envers Madame **SAADOUN Noria**, pour son soutien remarquable tout au long de cette tâche. Les conseils précieux qu'il nous a prodigués, son accueil dans son laboratoire et son acceptation de présider notre soutenance ont joué un rôle essentiel dans le succès de ce mémoire. Nous sommes extrêmement reconnaissantes de son expertise et de sa disponibilité constante, qui ont été une véritable source d'inspiration et de motivation.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude envers notre promotrice, Madame **BERRACHED Rachda**. Son accompagnement méticuleux, ses conseils avisés et son soutien constant ont joué un rôle crucial dans la réalisation de ce projet. Avec bienveillance, elle a su nous orienter et nous inciter à donner le meilleur de nous-mêmes. Nous lui exprimons notre gratitude sincère pour sa patience et son dévouement envers notre succès.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers Monsieur **OUDJIANE Ahmed** d'avoir accepté d'étudier notre travail. Il nous honore par sa disponibilité et son engagement. Nous sommes persuadées que son point de vue constructif et ses observations pertinentes apporteront une grande valeur ajoutée à ce mémoire. Son esprit critique et sa rigueur académique seront des atouts précieux pour améliorer la qualité de ce travail et le perfectionner.

Nous souhaitons aussi remercier l'ensemble de l'équipe du Haut-Commissariat de Conservation de la Steppe Algérienne (HCDS) pour leur soutien et leur collaboration tout au long de notre étude. En particulier, nous exprimons notre gratitude envers Monsieur le Haut Commissaire **BOUABDELLI Moukhtar** et messieurs **MOUHAMMEDI Meftah**, **CHOUHA Hakim** et **CHETTOUH Brahim** pour leur précieux soutien et leur précieux conseils, qui ont été d'une grande aide dans la réalisation de cette tâche.

Finalement, Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers tous les enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre cursus universitaire. Chaque enseignant a apporté une contribution précieuse à notre formation et nous a offert l'opportunité de développer les compétences nécessaires pour mener à bien ce projet.

À tous, Nous tenons à vous exprimer notre gratitude et nos plus sincères remerciements.

## **Dédicace**

**À mon cher père**, tu es bien plus qu'une figure paternelle pour moi. Tu es la boussole qui a toujours orienté mes pas dans la vie, avec tes conseils sages et ton soutien inconditionnel. Chaque jour, tu as été un exemple de détermination et de résilience, surmontant les défis avec grâce et courage. Tu m'as enseigné l'importance du travail acharné, de l'intégrité et du respect envers les autres. Ce mémoire est dédié à toi, pour ton amour, ton soutien et tes encouragements tout au long de ma vie.

**À ma chère mère**, Tu es la source infinie d'amour et de dévouement dans ma vie. Ton soutien et ton sacrifice désintéressé, ta force silencieuse et ta capacité à tout sacrifier pour le bien de ta famille sont des qualités qui m'ont permis de réaliser ce travail. À travers ce mémoire, je veux que tu saches que chaque succès que j'ai atteint est un témoignage de ton amour et de ta persévérance.

**À mes sœurs Zahia et Mouna**, vous avez été mes épaules sur lesquelles j'ai pu m'appuyer durant les moments difficiles. Votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible et vos conseils avisés ont été une source de réconfort et de motivation. Ce travail est également dédié à vous, en reconnaissance de votre soutien précieux et de votre influence positive dans ma vie.

**À mon frère Toufik**, tu as été mon roc, mon compagnon de route. Ta présence, tes encouragements et ton soutien constant ont été des piliers essentiels qui m'ont permis d'atteindre ce moment. Ce mémoire est aussi le fruit de notre complicité et de notre soutien mutuel.

**À la femme de mon frère Tinhinan**, dont la gentillesse et le soutien ont également été précieux tout au long de ce parcours.

**À mes beaux-frères**, Djamel et Yacine, pour leur aide inébranlable et leurs encouragements continus

**À la femme de mon père**, Fatima pour ton soutien et ta bienveillance.

**À adel**, mon confident dont le soutien et les conseils avisés ont été une source d'inspiration tout au long de ce parcours. Merci pour ton encouragement.

**Aux petits**, Lokman, Rahma, Djawad, Manel, Douaa, Massil, Yasser et Anfel.

**À mon binôme**, Lydia pour ta coopération et ton soutien tout au long de ce travail.

**À mes copine**, Cylia, Chaima, Ouissem et Zahra pour leur amitié et leur présence constante.

**À toute la promo BEV**, pour votre camaraderie et l'esprit de groupe qui m'a aidé à avancer.

**Cherifa**

## **Dédicace**

Tout d'abord, je remercie Allah qui m'a donné la force et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

**A Ma très chère Maman**, mon pilier et mon ange gardien, qui ma accompagnée à chaque étape de ma vie avec son amour inconditionnel et son soutien. Merci pour tes sacrifices, tes encouragements et la confiance aveugle en moi.

**A Mon cher papa**, Tu es la force qui guide mes pas et la lumière qui éclaire mon chemin. Tes enseignements, ton soutien inconditionnel et ton amour infini sont les plus grands cadeaux que la vie m'ait donnés. Merci pour tous les sacrifices que tu as faits pour moi et pour ta présence constante à mes côtés.

**A Ma sœur Adorée, Nawal**, ma confidente et ma complice de toujours et ma grande supportrice, merci pour ta présence.

**A Mes Frères, Anis, Ghiles**, vous êtes des rayons de soleil dans ma vie. Merci pour vos rires, votre énergie et vos sourires contagieux. Vous me rappelez chaque jour l'importance de la joie et de l'amour familial.

**A Mes Grands Parents Paternels et Maternels**, votre amour, votre sagesse et votre bienveillance ont illuminé ma vie de manière incommensurable. Merci pour vos précieux conseils et votre soutien constant. Vous êtes des modèles et des sources d'inspiration infinies.

**A Mon Oncle Madjid et Ma Tante Kahina**, merci pour votre amour, votre soutien et les précieux moments partagés. Votre complicité et votre générosité sont une source d'inspiration. Je suis profondément reconnaissante de vous avoir dans ma vie.

**A ma Tante Hamida et son mari Mahdi**, merci pour votre amour et votre soutien indéfectibles. Vous avez toujours été là pour moi avec des sourires, des conseils et une présence réconfortante. Votre générosité et votre chaleur rendent chaque moment passé ensemble précieux

**A Mes Cousins et Cousines, Aksel, Samy, Anaïs et Mariem**

**A Mes Copines, Souad, Fatima, Sonia, Katia, Sabrina, Fatiha, Nassima, Nora**, votre amitié est un trésor inestimable dans ma vie. Merci pour votre soutien, votre écoute, et les moments de joie partagés. Vous êtes des piliers de force et de bonheur, et je suis profondément reconnaissante de vous avoir à mes côtés.

**A mon Binôme Cherifa**, ce mémoire est le fruit de notre collaboration et de notre complicité. Merci pour ton amitié sincère et pour avoir rendu chaque étape de ce parcours aussi mémorable.

**Lydia**

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Arbuste de <i>Ziziphus lotus</i> à la région de Djelfa (Original, 2024). <b>(a)</b> : Arbre de pistachier au milieu d'un arbuste de <i>Z. lotus</i> , <b>(b)</b> : arbuste de <i>Z. lotus</i> , <b>(c)</b> : rameaux de <i>Z. lotus</i> , <b>(d)</b> : feuilles de <i>Z. lotus</i> , <b>(e)</b> : fleurs de <i>Z. lotus</i> , <b>(f)</b> : épines de <i>Z. lotus</i> .....	3
<b>Figure 2</b> : Fruit de <i>Z. lotus</i> (Houma., 2023).....	6
<b>Figure 3</b> : Aire de répartition du jujubier en Afrique du Nord (Quézel et Santa, 1962-1963)..	7
<b>Figure 4</b> : Localisation des stations étudiées (29 mai 2024).....	20
<b>Figure 5</b> : Mesure des traits foliaires de <i>Z. lotus</i> . <b>a</b> : Epaisseur de la feuille ; <b>b</b> : longueur de la feuille ; <b>c</b> : largeur de la feuille ; <b>d</b> : poids de la feuille ; <b>e</b> : une copie d'un fichier PDF scanné à l'aide d'un scanner avec différents de feuilles ; <b>f</b> : une feuille accompagnée d'une échelle d'un centimètre.....	22
<b>Figure 6</b> : Les comparaisons multiples de la $H_{max}$ de <i>Z. lotus</i> entre les stations étudiées....	26
<b>Figure 7</b> : Localisation des oueds (flèches rouges) au niveau de la station de El Rayan (Google Earth Pro, juin 2024).....	27
<b>Figure 8</b> : Les comparaisons multiples de la largeur de <i>Z. lotus</i> entre les stations étudiées..	28
<b>Figure 9</b> : Les comparaisons multiples de la surface foliaire entre les stations étudiées.....	29
<b>Figure 10</b> : Les comparaisons multiples de la longueur des feuilles de <i>Z. lotus</i> entre les stations étudiées.....	31
<b>Figure 11</b> : Les comparaisons multiples de la largeur des feuilles de <i>Z. lotus</i> entre les stations étudiées.....	32
<b>Figure 12</b> : Les comparaisons multiples de l'épaisseur des feuilles de <i>Z. lotus</i> entre les stations étudiées.....	34
<b>Figure 13</b> : Les différences de l'indice SLA de <i>Z. lotus</i> entre les stations étudiées.....	35
<b>Figure 14</b> : Les comparaisons multiples de l'indice LDMC de <i>Z. lotus</i> entre les stations.....	36
<b>Figure 15</b> : Matrice de corrélation entre les variables étudiées.....	39
<b>Figure 16</b> : Représentation des cinq corrélations les plus fortes enregistrées entre les variables étudiées.....	40
<b>Figure 17</b> : Représentation de la relation entre la longueur (mm) et la largeur (mm) foliaires de <i>Z. lotus</i> au niveau de chaque station.....	41
<b>Figure 18</b> : Représentation de la relation entre la surface (mm <sup>2</sup> ) et la largeur (mm) foliaires de	

*Z. lotus* au niveau de chaque station.....42

**Figure 19** : Représentation de la relation entre la surface ( $\text{mm}^2$ ) et la longueur (mm) foliaires de *Z. lotus* au niveau de chaque station.....43

**Figure 20** : Représentation de la relation entre  $H_{max}$  (m) et la largeur de la canopée (m) de *Z. lotus* entre les stations.....44

**Figure 21** : Représentation de la relation entre la SLA ( $\text{mm}^2/\text{mg}$ ) et la LDMC (mg/g) de *Z. lotus* entre les stations. ....44

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Distribution et contenu des principaux composés bioactifs dans les différentes parties de <i>Ziziphus lotus</i> .....	11
<b>Tableau 2</b> : Caractéristiques des stations étudiées.....	20
<b>Tableau 3</b> : Le test ANOVA de Welch des différents traits étudiés au niveau des cinq stations..	25
<b>Tableau 4</b> : La comparaison des différents paramètres entre stations étudiées.....	25
<b>Tableau 5</b> : Les comparaisons multiples de la surface foliaire entre les stations étudiées.....	29
<b>Tableau 6</b> : Les comparaisons multiples de l'indice SLA des feuilles de <i>Z. Lotus</i> entre les stations....	35
<b>Tableau 7</b> : Les comparaisons multiples de l'indice LDMC des feuilles de <i>Z. Lotus</i> entre les stations.....	37

## Table de matière

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

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

I. Généralités sur l'espèce <i>Ziziphus lotus</i> .....	3
1- Historique et Origine .....	3
2- Nomenclature .....	3
3- Systématique .....	3
4- Description botanique de <i>Ziziphus lotus</i> .....	3
4-1- Système racinaire .....	4
4-2- Rameaux .....	4
4-3- Ecorce .....	5
4-4- Feuille .....	5
4-6- Fleurs.....	5
4-7- Fruits .....	5
5- Répartition géographique de <i>Ziziphus lotus</i> .....	5
5-1- Répartition dans le monde .....	6
5-2- Répartition en Algérie.....	6
6- Ecologie de la plante .....	7
7- Quelques genres de <i>Ziziphus</i> qui existent en Algérie.....	8
7-1- <i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.....	8
7-2- <i>Ziziphus spina-christi</i> L.....	9
7-3- <i>Z. Saharae</i> Batt .....	9
8- Composition biochimique .....	9
9- Utilisation traditionnelle de <i>Ziziphus lotus</i> .....	12
10- Utilisation traditionnelle de <i>Ziziphus lotus</i> .....	12
10-1- Feuilles.....	12
10-2- Fruits .....	12
10-3- Bois .....	12

11- Activités biologiques de <i>Ziziphus lotus</i> .....	12
11-1- Activité antidiabétique .....	12
11-2- Activité anti-inflammatoire et analgésique .....	13
11-3- Activité anti-ulcérogène et gastro-protectrice .....	13
11-4- Activité antifongique et antimollusque .....	13
11-5- Activité antimicrobienne .....	13
11-6- Activité antioxydante .....	13
11-7- Effets antiallergiques.....	13
11-8- Activité de cicatrisation des plaies.....	14
11-9- Autres activités.....	14
12- Utilisation de <i>Ziziphus lotus</i> comme Insecticides .....	14
13- Interactions de <i>Z. lotus</i> avec les champignons .....	14
13-1- Interaction avec les champignons épiphytes.....	14
13-2- Interaction avec des champignons endophytes .....	14
II. Généralités sur les traits fonctionnels .....	15
1- Hauteur.....	15
II- Traits foliaires.....	15
1- Epaisseur des feuilles .....	16
2- Longueur et largeur des feuilles .....	16
3- Surface foliaire .....	16
4- Surface foliaire spécifique (Indice SLA, Specific Leaf Area) .....	17
5- Importance de la surface foliaire spécifique.....	17
6- Indice LDMC (Leaf Dry Matter Content).....	17

## **Chapitre 2 : Matériels et méthodes**

1- Présentation de la zone d'étude .....	18
1-1- Djelfa.....	18
1-1-1- Présentation de la wilaya de Djelfa .....	18
1-1-2- Géographie et climat.....	18
1-1-3- Végétation.....	18
1-2- Tizi-Ouzou.....	18

1-2-1- Présentation de la wilaya de Tizi-Ouzou .....	18
1-2-2- Géographie et climat.....	19
1-2-3- Végétation.....	19
2- Description des stations étudiées.....	19
3- Méthodologie.....	19
3-1- Echantillonnage de <i>Ziziphus lotus</i> .....	19
3-1-1- Hauteur ( <i>H<sub>max</sub></i> ) .....	21
3-1-2- Largeur de la canopée .....	21
3-1-3- Mesures des traits foliaires .....	21
3-1-3-1- Epaisseur, longueur et largeur des feuilles .....	21
3-1-3-2- Surface foliaire spécifique .....	21
3-1-3-3- Indice SLA (Specific Leaf Area).....	23
3-1-3-4- Indice LDMC (Leaf Dry Matter Content) .....	23
3-2- Analyses statistiques .....	23
3-2-1- Analyses de variance (ANOVA de Welch).....	23
3-2-2- Analyses de corrélation.....	24

### **Chapitre 3 : Résultats et discussions**

1- Analyses de variances des traits étudiés en fonction des stations .....	25
1-1- Hauteur ( <i>H<sub>max</sub></i> ) .....	26
1-2- Largeur de la canopée.....	27
1-3- Surface foliaire .....	28
1-4- Longueur des feuilles .....	30
1-5- Largeur des feuilles .....	32
1-6- Epaisseur des feuilles .....	33
1-7- Indice SLA (Specific Leaf Area).....	34
1-8- Indice LDMC (Leaf Dry Matter Content).....	36
2- Relation des traits fonctionnels étudiés avec l'aridité .....	37

3- Corrélations entre les huit variables étudiées .....	38
3-1- Représentation des fortes corrélations .....	40
3-1-1- Corrélation positive de la longueur (mm) et la largeur (mm) foliaires de <i>Z. lotus</i> .....	40
3-1-2- Corrélation positive de la surface (mm <sup>2</sup> ) et la largeur (mm) foliaires de <i>Z. lotus</i> .....	41
3-1-3- Corrélation positive entre la surface (mm <sup>2</sup> ) et la longueur (mm) foliaires de <i>Z. lotus</i> .....	43
3-1-4- Corrélation positive entre <i>Hmax</i> (m) et La largeur (m) de <i>Z. lotus</i> .....	43
3-1-5- Corrélation négative entre la SLA (mm <sup>2</sup> /mg) et la LDMC (mg/g) de <i>Z. lotus</i> .....	44
3-2- Quelques exemples de faibles corrélations enregistrées entre les variables étudiées .....	44
3-2-1- Corrélation entre l'épaisseur et l'indice LDMC .....	45
3-2-2- Corrélation entre l'indice LDMC et la longueur foliaire.....	44
3-2-3- Corrélation entre la surface foliaire et la hauteur .....	45
3-3- Absence de corrélation significative entre la SLA et l'épaisseur .....	45
<b>Conclusion</b> .....	46
<b>Références bibliographique</b> .....	47



# **Introduction**

Les plantes des zones arides ont connu une évolution pour développer différentes stratégies adaptatives visant à réduire les pertes d'eau et à optimiser l'utilisation de l'eau. Ces approches comprennent des ajustements morphologiques tels que la diminution de la surface des feuilles, l'épaississement des cuticules, ainsi que des ajustements physiologiques tels que l'amélioration de l'efficacité de la photosynthèse et la régulation de la respiration et de la transpiration, ce qui permet aux plantes de maintenir leur métabolisme malgré le déficit d'eau (Chaves *et al.*, 2003).

Ces différentes stratégies sont l'interprétation de ce qu'on appelle (les traits fonctionnels des plantes) qui sont des caractéristiques morphologiques, physiologiques et phénologiques ayant un impact direct sur leur croissance, leur reproduction et leur survie. La détermination des réponses des plantes aux facteurs environnementaux est influencée par leur rôle essentiel. Par exemple, les caractéristiques de la feuille, de la densité des stomates, de la profondeur et de l'extension latérale des racines et de la capacité de stockage de l'eau sont des caractéristiques essentielles permettant de s'adapter à la sécheresse. Ces caractéristiques offrent la possibilité d'évaluer les stratégies d'adaptation des plantes, mais également de prédire leur réaction face aux évolutions environnementales à venir (Violle *et al.*, 2007).

D'autres traits fonctionnels restent également essentiels pour l'adaptation des espèces végétale à l'environnement et leur fonctionnement écologique. La hauteur des plantes peut influencer leur accès à la lumière et leur compétitivité pour les ressources, tandis que l'épaisseur et la taille des feuilles (surface, longueur et largeur) jouent un rôle important dans la photosynthèse, la respiration, et la gestion de la transpiration. Des feuilles plus épaisses et plus petites devraient se retrouver dans des environnements secs pour minimiser la perte d'eau, alors que des feuilles plus larges maximisent l'absorption de lumière dans des environnements humides. La surface foliaire spécifique (SLA) et l'indice de teneur en matière sèche des feuilles (LDMC) fournissent des indications sur l'efficacité d'absorption de la lumière et la durabilité des feuilles, respectivement. Ces traits sont fondamentaux pour comprendre comment les plantes s'adaptent, évoluent, et répondent aux changements environnementaux (Cornelissen *et al.*, 2003 ; Poorter *et al.*, 2009 ; Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013-2016 ; White *et al.*, 2014).

L'utilisation des traits fonctionnels dans le déterminisme de l'adaptation des espèces aux contraintes abiotiques peut se faire à l'échelle de la communauté végétale (Ait Mouheb *et al.*, 2017 ; Berrached *et al.*, 2017) et/ou à l'échelle d'une seule espèce (Albert *et al.*, 2010), par exemple, l'étude de l'adaptation du jujubier sauvage (*Ziziphus lotus*), un arbuste épineux qui se rencontre au niveau des régions méditerranéennes, à l'aridité en utilisant les traits fonctionnels constitue un élément crucial dans la conservation et le maintien de cette espèce.

Le choix de *Ziziphus lotus* comme un exemple d'étude dans ce mémoire est justifié par la large répartition de cette espèce et ses caractéristiques écologique importantes.

De plus, le *Z. lotus* joue un rôle important dans l'écosystème, en fournissant un refuge et une nourriture à une diversité de faune et en contribuant à la stabilisation des sols (Baumel et *al.*, 2016), le rôle du jujubier en tant que (plante-nurse) permettant ou facilitant l'installation et la régénération du pistachier de l'Atlas au Sud et le pistachier lentisque au Nord de l'Algérie fait de lui une espèce à intérêt écologique considérable. La seconde raison trouverait son origine dans ses propriétés phytochimiques qui font de lui une espèce avec un haut potentiel médicinal et pharmaceutique.

L'objectif principal de ce mémoire est de comprendre comment le *Z. lotus* s'ajuste à des variations d'aridité en utilisant ses traits fonctionnelles. Plus particulièrement, nous nous questionnons sur les caractéristiques morphologiques et fonctionnelles qui permettent à cette espèce de survivre et de se développer dans des milieux très différents en termes de disponibilité d'eau (aridité climatique). Pour répondre à cet objectif, nous avons adopté une méthode comparative en étudiant des populations de *Z. lotus* dans des milieux à divers niveaux d'aridité (aride, semi-aride et subhumide). Les caractéristiques fonctionnelles sont évaluées et étudiées afin d'évaluer leur diversité et leur contribution à l'adaptation à l'aridité climatique.

Afin de mener à bien cette tâche, nous avons organisé le mémoire en différents chapitres essentiels. Dans le premier chapitre, nous examinons la littérature sur le *Z. lotus* et les traits fonctionnels, en s'appuyant sur les recherches antérieures afin de développer un cadre théorique solide. Dans le chapitre suivant, nous exposons la méthodologie employée pour notre étude, y compris la sélection des sites, la collecte des données et les méthodes d'échantillonnage et de mesures. Les résultats obtenus et leurs discussions respectives sont présentés au niveau du dernier chapitre mettant en relation nos observations avec les hypothèses initiales. Nous terminons ce mémoire avec une conclusion et des perspectives.

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

## I. Généralités sur L'espèce *Ziziphus lotus*

### 1-Historique et Origine

Découvert en 1767, le nom de *Ziziphus* dérive de l'appellation Berbère (Zizoufou, Zuzaifo). Cette appellation est reliée à l'ancien nom Persique (Zizfum ou Zizafun), alors que les grecs utilisent le mot (Ziziphon).

La classification des espèces est basée principalement sur des caractéristiques morphologiques et leur mode d'utilisation. Ce genre regroupe plusieurs espèces environ 170, telles que *Z. spina-christ* (L.), *Z. vulgaris* (Mill.), *Z. lotus* (L.) et *Z. mauritiana* (Lam). *Z. mauritiana* et *Z. lotus* sont les deux espèces qui donnent des fruits comestibles, Dans les pays arabes, on appelle l'arbre de jujube Sidr, Nabk, Anneb, tandis qu'en Chine, on le nomme (la datte chinoise) (Tamaguelt et Amzal, 2016).

### 2-La nomenclature

L'espèce *Ziziphus lotus* prend plusieurs appellations :

- Lotus désigne des plantes de la famille des (Rhamnaceae).
- Nom arabe : Zizouf, زيزفون / sedra, سدر /sidr, سدر /sidr barri لسدر البري
- NomAnglais : African jujube, Lotus tree, lotus jujube.
- Nom français : Jujubier sauvage, jujubier de Berbérie, Jujubier des Lotophages
- Nom berbère : Azzougar

### 3- La systématique

Selon l'Angiosperm Phylogeny Group (APG) IV (2016), la classification du jujubier sauvage est la 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.

#### 4-Description botanique de *Ziziphus lotus*

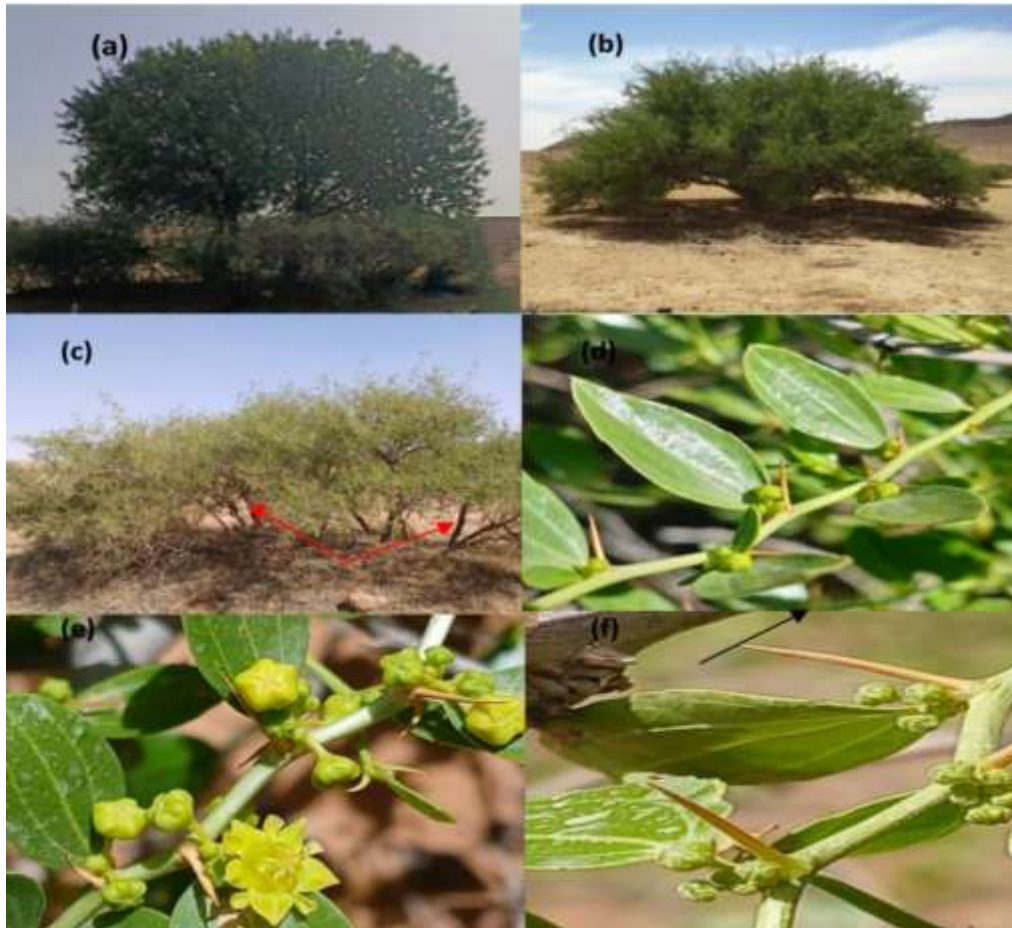


Figure 1 : Arbuste de *Ziziphus lotus* à la région de Djelfa (Original, 2024)

(a) : Arbre de pistachier au milieu d'un arbuste de *Z. lotus*, (b) : arbuste de *Z. lotus*, (c) : rameaux de *Z. lotus*, (d) : feuilles de *Z. lotus*, (e) : fleurs de *Z. lotus*, (f) : épines de *Z. lotus*.

Le *Ziziphus lotus* se présente comme des touffes de quelques mètres de diamètres qui pouvant atteindre 2m de hauteur (Borgietal, 2007) (Figure 1).

##### 4-1- Le système racinaire

Le *Z. lotus* possède un système racinaire très développé et adapté aux conditions arides. Cette plante possède des racines qui peuvent pénétrer dans le sol jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. Dans des environnements où les précipitations sont rares et irrégulières, *Z. lotus* a la capacité de capter l'eau des nappes phréatiques ou des poches d'humidité situées loin sous la surface, ce qui est crucial pour sa survie (Ehleringer et Dawson, 1992), en plus de ses racines profondes, *Z. lotus* développe un vaste réseau de racines latérales qui s'étendent largement. Ces racines latérales maximisent l'absorption des nutriments et de l'eau disponibles dans la couche superficielle du sol, optimisant ainsi l'utilisation des ressources même lors de courtes périodes de pluie intense (Arndt et *al.*, 2001).

##### 4-2- Les rameaux

Les rameaux de *Z. lotus* se distinguent notamment par leur solidité et leur aptitude à supporter les conditions arides. Souvent tortueux et avec de nombreuses épines, ces rameaux offrent une excellente protection contre les herbivores. La longueur et la densité des épines, simples ou bifurquées, sont variables en fonction des conditions environnementales et jouent un rôle essentiel dans la protection physique de l'arbuste (Gharnit et *al.*, 2010).

#### **4-3- L'écorce**

L'écorce de *Z. lotus* possède diverses caractéristiques remarquables, qui conviennent aux zones arides où cet arbuste se développe couramment. Elle présente une épaisseur et une fissure, d'un brun foncé à un gris, et offre une protection contre les conditions climatiques extrêmes, telles que les températures élevées et la sécheresse (Quézel et Santa, 1963).

#### **4-4- Les feuille**

Les feuilles de *Z. lotus* sont petites, caduques, alternées et ovales plus ou moins elliptiques de 1 à 2cm de longueur et de 7mm de largeur (Bayer et Butter, 2000 ; Azam-Ali et *al.*, 2006), elles sont courtement pétiolées (de 0.1-0.2 cm de long), à marge dentée, chaque dent présente une minuscule glande sombre (Baba Aissa, 1999), elles sont glabres sur les deux faces, et présentent trois nervures longitudinales saillantes partant du pétiole, entre lesquelles se développe une nervation réticulée beaucoup plus fine (Baba Aissa, 1999).

La feuille porte à sa base deux stipules transformées en épines inégales qui sont de plus ou moins droites et effilées (Rsaissi et Bouchache, 2002), l'une orientée vers le haut, atteint 1.8cm de long, l'autre orientée vers le bas, est un peu plus courts.

#### **4-5- Les fleurs**

Les fleurs de *Z. lotus* se situent aux aisselles des feuilles. Elles sont petites, de 3mm de diamètre (Maraghni et *al.*, 2011), de couleur jaune (Rsaissi et Bouchache, 2002), elles se trouvent seules (de 2-3 fleurs) disposées à l'aisselle des feuilles ou groupées en inflorescence cymeuses, avec un seul pédicelle court et uniflore, à calice en forme d'entonnoir à cinq divisions peu profondes, pentamère, à petite corolle à cinq pétales, à cinq étamines épipétales, à deux styles courts et rapprochés et un ovaire supère (Baba Aissa, 1999 ; Azam-Ali et *al.*, 2006 ; Claudine, 2007 ; Rabaa, 2007 ; Ghedira, 2013).

#### **4-6- Les fruits**

Les fruits sont des drupes à noyaux soudés, appelés ( Nbeg )(Rsaissi et Bouchache, 2002). Ils sont de forme sphérique (Espiard, 2002), ovoïde-allongé, ayant la forme et la grosseur d'une olive (Bayer et Butter, 2000 ; Azam-Ali et *al.*, 2006) et ils mesurent de 1 à 2 cm de diamètre (Ozenda, 1991). Au début, le fruit est vert et ferme, à maturité, il devient orange à brun (Espiard, 2002). Sa pulpe est jaunâtre, épaisse et d'une saveur sucrée (Bayer et Butter, 2000). Son goût évoque la pomme confite et leur texture rappelle celle des dattes (Chevalier, 1947). Elle enveloppe un petit noyau très dur de 4 à 5mm de diamètre, osseux, arrondi, et à deux loges (Burrow, 2005 ; Ghedira, 2013 ; Hammiche, 2014).



**Figure 2 :** Fruit de *Z. lotus* (Houma,2023)

## **5- Répartition géographique de *Ziziphus lotus***

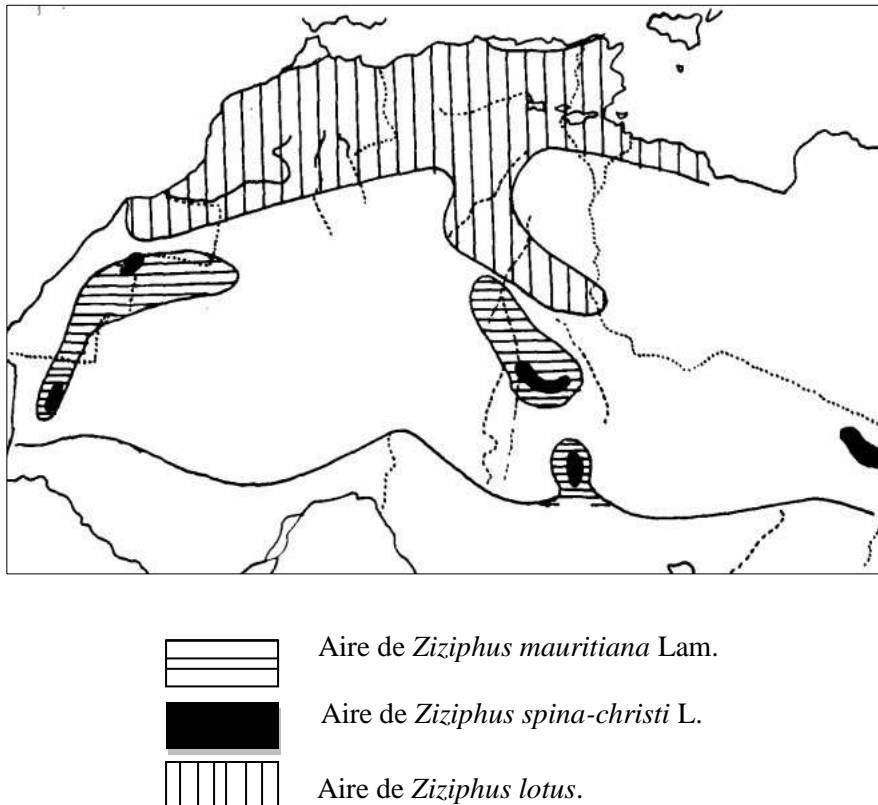
### **5-1- Répartition dans le monde**

Le genre *Ziziphus* comprend environ 50 espèces de régions tropicales et subtropicales, parmi ces espèces, le *Ziziphus lotus* qui pousse dans le sud de l'Espagne et au Portugal (Bross,2000), cette espèce est également répandue dans le Maghreb (Quezel et Santa, 1962), dans les steppes du désert, Afrique du Nord et Asie Mineure (Dillemann et Paris, 1960), l'habitat natal de cette espèce se situe dans les régions du sud de l'Europe, et Amérique du Sud, de l'Himalaya, du nord de la Chine Arabie, Irak et Soudan.

### **5-2- Répartition en Algérie**

En Algérie, *Z. lotus* est répandu dans toute l'Algérie sauf le Tell Algéro-constantinois. Il est très commun sur les hautes plaines steppiques, dans la région des dayas, l'Atlas saharien et jusqu'au Sahara septentrional (Figure 3).

En Oranie, il existe jusqu'au voisinage de la mer (Mouni, 2008), au Sahara septentrional, il prospère dans les lits d'oueds et berges sableux graveleux, et pousse également dans les ravins pierreux et les pentes rocheuses, il se rencontre très rarement sous forme de peuplements. Le *Z. lotus* peut atteindre 2000 m d'altitude, il constitue parfois des buissons denses et des buttes en retenant le sable transporté par le vent. Le *Z. lotus* et le *Pistachia atlantica* constituent des steppes buissonnantes où le recouvrement global de la végétation ne dépasse pas les 30% à l'exception des Dayas et de certains oueds, à l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Belhadj, 2007).



**Figure 3 :** Aire de répartition du jujubier en Afrique du Nord (Quézel et Santa, 1962-1963)

### 6- Ecologie de la plante

Le *Ziziphus lotus* est une espèce dotée d'une plasticité écologique lui permettant de pousser dans des zones à différences climatiques marquées (Emberger, 1960 ; Laamouri *et al.*, 2008), c'est une plante qui favorise la chaleur et elle présente une sensibilité accrue à la basse température. Cependant, elle exige un climat chaud et sec pour fructifier (Paquereau, 2013), en effet, le jujubier est adapté à la sécheresse et aux faibles précipitations (Asatryan et Telzur, 2014), mais il s'est acclimaté dans la région méditerranéenne.

En revanche, il craint les terrains compacts et humides (Aymonin, 1993), il résiste à la sécheresse et à l'irradiation (Su et LiuScientia, 2005), *Z. lotus* nécessite peu d'eau et peut pousser sur tous les sols, y compris les sols salins, les terres non défrichées et les terres pauvres, Il pousse même dans les couches à moitié dures de carbone ou de calcium grâce à ses racines pivotantes solides. En général, on le trouve dans les zones rocheuses au niveau des falaises, aux pieds des collines et dans les lits d'oueds à fond rocailleux (Maire, 1933 ; Chopra *et al.*, 1960 ; Ozenda, 1991 ; Liu *et al.*, 2009).

Le *Ziziphus lotus* est capable de se développer sur tout type de sols et peut supporter une inondation temporaire. Il joue un rôle très important dans la conservation des sols grâce à son système racinaire profond et vigoureux formant ainsi une ceinture verte qui permet une stabilisation des substrats et protège ceux-ci contre les courants d'eau et l'érosion (Bamouh, 2002 ; Laamouri *et al.*, 2008).

Toutefois, il privilégie les sols sableux profonds bien drainés qui ont un pH neutre ou légèrement alcalin (Laamouri et al., 2008 ; Amara et Benabdeli, 2020).

La croissance de cet arbuste est très lente, porte des fruits vers 4 ans et peut continuer à produire jusqu'à 20 à 25 ans. *Z. lotus* est dormant entre Octobre et Mars (Maraghni et al., 2010), les bourgeons apparaissent à partir du mois de Mars et croissent activement au printemps et en été, formant ainsi des rameaux ligneux. La floraison a lieu en Juin mais la période de floraison dépend de la répartition pluviométrique et des températures, la floraison est irrégulière dans un même arbuste. Des fleurs avec des fruits mûrs peuvent être observées sur le même pied de Jujubier. Les fruits sont mûrs trois mois et demi plus tard, suivant les régions, mais généralement, ils sont cueillis parfaitement mûrs en septembre-octobre, la période au cours de laquelle ils se détachent facilement (Bonnet, 2001), en automne, les pousses se dessèchent et les feuilles chutent (Rsaissi et Bouchache, 2002).

Le rôle du jujubier en tant que (plante-nurse) permettant ou facilitant l'installation et la régénération du pistachier de l'Atlas mérite d'être évoqué. Le pistachier de l'Atlas (*P. atlantica*) se développe à l'abri des touffes de *Z. lotus* (Monjauze, 1968 ; Quézel et Médail, 2003), le Jujubier a l'avantage de former avec le pistachier, en bioclimats arides et semi-arides, des un micro-écosystème pour plusieurs espèces faunistiques et floristiques (Belhadj, 2007 ; Nebih Hadj-Sadok et al., 2014).

## **8-Quelques genres de *Ziziphus* qui existent en Algérie**

A L'échelle mondiale, on dénombre 122 espèces de *Ziziphus*, mais en Algérie on en trouve quatre : *Z. lotus*, sujet de notre étude ainsi que *Z. mauritiana*, *Z. spina christi* et *Z. Saharæ* Batt.

### **8-1-*Ziziphus mauritiana* Lam**

Le *Ziziphus mauritiana* est un arbuste de 4 à 5m de hauteur ou arbre qui atteint 12m. L'écorce est grise à tranche brune rouge pâle (Von Maydell, 1990), les feuilles elliptiques ou ovales à bords plus ou moins crénelés, pubescents à la face inférieure et grise. Elles sont deux à trois fois plus grandes que celles du *Ziziphus lotus* (Gastet Chaker, 2004), les fleurs ne sont pas autofécondées, la fécondation peut être effectuée par le vent ou les mouches. L'espèce est largement répartie en Afrique, dans les zones soudanaises et sahéliennes du Burkina Faso, du 8 Cameroun, de la Gambie, de la Guinée, du Mali, du Niger et du Sénégal et en Asie du Sud tropicale : l'Inde, le Pakistan, le Bangladesh et le Sri Lanka (Koné et al., 2009), le système racinaire de l'espèce est très développé, il occupe des sols lourds et bien drainés, parfois grégaires le long des cours d'eau ou des bas-fonds (Gueda Ba, 2005). *Z. mauritiana* est très riche en azote, ce qui explique sa mycorhization avec un actinomycète fixateur d'azote (Gnahoua et Louppe, 2003).

Le *Ziziphus mauritiana* se trouve dans plusieurs régions d'Algérie

Biskra Cette région pré-saharienne est favorable à la culture de *Ziziphus mauritiana* en raison de ses conditions climatiques et édaphiques spécifiques (Dahmani et Guettou, (2020).

El Oued région saharienne caractérisée par des sols sableux et un climat aride, propice à cette espèce (Benabdeli et Khanchoul, 2018).

Ouargla située dans le sud algérien, cette région aride est connue pour la culture de *Ziziphus mauritiana*, qui est adapté aux conditions de sécheresse (Baali et Bouazza, 2019).

### **8-2-*Ziziphus spina-christi* L.**

Le *Ziziphus spina-christi* est un arbuste ou arbre très épineux, atteignant 10m de hauteur, ses rameaux sont flexibles, disposés en zigzag (Lemoine, 2005), très facile à identifier par ses épines robustes, bicolores blanches et noires. Les feuilles sont aussi grandes que celles de *Ziziphus mauritiana*, ovales, glauques, vertes et persistantes (Gueda, 2005), les fruits sont différents de ceux du *Ziziphus lotus*, ils sont plus au moins ovoïdes d'environ 15mm, à pulpe 9 charnue comestible (Gast et Chaker, 2004) de la grosseur d'une noix (Gueda Ba, 2005), très commun dans les zones semi-arides entre 0 et 1300m d'altitude, en Mauritanie, Sénégal et au Cameroun (Kalinganire et Koné, 2011), il est cultivé en Inde, Pakistan, Syrie, Egypte, Tunisie et dans les oasis sahariennes (Gueda, 2005), les portes-greffes des espèces de *Ziziphus* sont les suivantes : *Z. abyssinica* (Hochst), *Z. amphibia* (A. Chev), *Z. mauritiana* (Lam.), *Z. mucronata* (Willd) et *Z. rotundifolia* (Roth) (L.) Lam.

Le *Ziziphus spina-christi* L se trouve dans plusieurs régions d'Algérie

Région de Ghardaïa est connue pour avoir des populations significatives de *Ziziphus spina-christi*. Cette région présente un climat désertique qui favorise la croissance de cet arbuste résistant à la sécheresse (Nedjraoui 2004).

Région d'Adrar ; Dans le sud-ouest de l'Algérie, autour de la région d'Adrar, *Ziziphus spina-christi* pousse également. Les conditions arides et les sols sablonneux de cette région sont propices à cette espèce (INRF, 2015).

Les oasis de Touggourt, situées dans le Sahara algérien, abritent également des populations de *Ziziphus spina-christi*, profitant de la présence d'eau dans ces zones spécifiques Benhouhou, 2005).

### **8-3- *Z. Saharæ* Batt**

Il est également connu sous le nom de jujubier de Sahara, endémique d'Afrique du nord (Fennane et Ibn Tatou, 2005), ces Feuilles pubescentes sur les 2 faces, ovoïdes arrondis, moins de 2 fois plus longues que larges, à marge fortement dentée. Jeunes rameaux pubescents (Quézel et Santa, 1962-1963).

## **9- Composition biochimique**

Les études phytochimiques menés sur le *Ziziphus lotus* montrent la présence des métabolites primaires et secondaires (Catoir et al., 1999), la pulpe de *Z. lotus* est très riche en substances nutritives, composée de 12,8 à 13,6% de carbohydrates dont 5,6% de saccharose, 1,5% de glucose, 2,1% de fructose et 1% d'amidon (Jawanda et al., 1981), la pectine extraite de la pulpe contient du D-Galactose, 2,3, 6 Tri-o-acétyl, ce qui lui confère des propriétés anti-

diarrhéiques et permet d'abaisser le taux de cholestérol dans le plasma (Tomoda et *al.*, 1985), on retrouve dans la pulpe les acides aminés suivants : asparagine, arginine, acide glutamique, acide aspartique, glycine, sérine et thréonine. Elle constitue une source importante de la vitamine C et de la vitamine A. Les fruits secs contiennent plusieurs substances volatiles responsables de la saveur spécifique du fruit. En effet, soixante-dix-huit composés sont identifiés, parmi eux l'acide caprique (19,98%), l'acide succinique et l'acide malique (15,64%) (Nikhatet *al.*, 2009), les fruits contiennent également des polyphénols (Kriventsov et Karakhanova, 1970), le péricarpe et les graines sont caractérisés par la présence des phospholipides, et une prédominance de l'acide palmitoléique dans l'huile extraite (Goncharova et *al.*, 1990), les fruits du *Z. lotus* sont très riches en protéines soufrées (Nour et *al.*, 1987), elles contiennent également des saponines qui ont des valeurs médicinales, et des alcaloïdes cyclopéptidiques qui sont utilisés en médecine chinoise en tant que substances

La composition phytochimique des différentes parties de *Z. lotus* est résumée au niveau du tableau 1.

**Tableau 1 :** Distribution et contenu des principaux composés bioactifs dans les différentes parties de *Ziziphus lotus*

La partie de <i>Z. lotus</i> utilisée	Composants majeurs	Teneur mg/100 g	Références
<b>Fruits</b>	Acide phénolique total	297 - 4078.2	Ghazghazi et al., (2014) Hammi et al., (2015)
	Flavonoïdes	122	
	Tanins	33	
<b>Feuilles</b>	Acide phénolique total	664	Ghazghazi et al., (2014) Borgi et al., (2008) Maciuk et al., (2004)
	Flavonoïdes	130-199	
	Tanins	39	
	Saponines	340	
	Jujuboside B	3	
	3 glycosides de jujubogénine	9.33	
	Monosaccharides (glucose, galactose, rhamnose, arabinose et xylose)	8720	
	Glycoside de Flavonol	3	
	Rutoside	3.66	
	3',5'-Diglucosylphlorétine	3	
<b>Graines</b>	Glucides totaux	4087	Chouaibi et al., (2012) Abdeddaim et al., (2014)
	Polyphénol	14.68	
	Matières grasses cru	29730	
	Sucres solubles	4100	
	Fibres Total	16570	
	Pectines	1250	
	Protéine Cru	14220	
<b>L'écorce de racine</b>	Flavonoïdes totaux 120	120	Renault et al., (1997) Ghedira et al., (1995) Borgi et al., (2008) Ghalem et al., (2014) Bakhtaoui et al. (2014) Benammer et al., (2014)
	Saponines	219	
	Jujuboside A	9.73	
	Jujuboside C	3.96	
	Lotoside I	12.774	
	Lotoside II	1.58	
	Lotusine A	11.56	
	Lotusine B	23.95	
	Lotusine C	23.95	
	Lotusine D	4.2-10	
	Lotusine E	2.9-10	
	Lotusine F	1.4-11.56	
	Lotusine G	1.5	
	Polyphénol 2009	2009	
	Proanthocyanidines	156	
	Flavonoïdes	173	
	Tanins	922	
	Matières grasses cru	790	
	Sucres solubles	10550	
	Fibres Total	4840	
Pectines	2070		
Protéine Cru	1180		
Matière minérale	3200		

## 10-Utilisation traditionnelle de *Ziziphus lotus*

Les utilisations traditionnelles de *Z. lotus* ont démontrées plusieurs avantages de cette plante et de ses composés bioactifs. Cette plante est riche en polyphénols, flavonoïdes, tanins, alcaloïdes, et les saponines qui ont plusieurs propriétés, comme les actions antidiabétiques, hypoglycémiques et gastroprotectrices (Tableau1). La lotusine B, la lotusine C, le jujuboside A et le jujuboside C sont les principaux constituants actifs d'écorce de racine de *Z. lotus* et pourraient exercer une activité antibactérienne et antifongique (Van Beek et *al.*, 1984 ; Pandy et Devi, 1990).

### 10-1- Feuilles

Les feuilles sont utilisées dans les maladies de la peau écrémée, le traitement des maladies de la poitrine, de la papillote et des anthelminthiques cuits et contre la diarrhée. Elles étaient utilisées en Egypte pour le traitement de l'inflammation oculaire.

### 10-2-Fruits

Les fruits de *Ziziphus lotus* sont utilisés dans la médecine traditionnelle pour soigner différentes affections. Grâce à leur concentration en composés bioactifs tels que les flavonoïdes et les saponines, ils sont connus pour leurs propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes et antimicrobiennes. On les utilise fréquemment pour apaiser les problèmes digestifs, renforcer le système immunitaire et améliorer la santé globale. En Algérie. Il est possible de les consommer frais ou séchés. Leur goût sucré et leurs nombreux avantages pour la santé leur confèrent une grande popularité dans la région (Bellakhdar, 1997).

### 10-3-Bois

Le bois est utilisé dans de nombreuses applications industrielles telles que le travail d'outils agricoles, de meubles de maison et dans la médecine traditionnelle. Il est utilisé comme un charbon de bois, mélangé avec du vinaigre, pour traiter la morsure du serpent (Aiche et Ait Aissa, 2017).

## 11-Activités biologiques de *Ziziphus lotus*

Cette plante est riche en polyphénols, alcaloïdes cyclopeptides, saponines de dammarane, vitamines, minéraux, acides aminés et acides gras polyinsaturés (Abdoul-Azize, 2013), par conséquent, les propriétés médicinales de cette plante dépendent de la teneur et la répartition de ces composés dans les différents organes de la plante (Benammar et *al.*, 2010).

### 11-1-Activité antidiabétique

Les extraits aqueux des racines du *Z. lotus* indiquent la présence des effets hypoglycémiant plus efficaces par rapport aux feuilles. Il a été rapporté également que la sensibilité à l'insuline était améliorée par la vitamine A grâce à l'activation du récepteur de l'insuline et de la protéine tyrosine phosphatase 1B (Jeyakumar et *al.*, 2011).

### 11-2-. Activité anti-inflammatoire et analgésique

Les flavonoïdes et les saponines de l'écorce des racines du *Ziziphus lotus* ont montré une activité anti-inflammatoire significative. Ils inhibent la production de monoxyde d'azote. Cette activité apparaît potentiellement avec l'extrait méthanolique de l'écorce des racines qui est la source possible de l'agent anti-inflammatoire dans la réaction de l'hypersensibilité retardée induite par l'oxazolone (Borgi et al., 2007).

Les feuilles du *Z. lotus* possèdent des effets analgésiques attribués à leur contenu en principes actifs ; les flavonoïdes et les saponines. Toutes ces activités confirment l'usage traditionnel de cette plante dans certaines maladies inflammatoires et douloureuses (Borgi et al., 2007).

### 11-3- Activité anti-ulcérogène et gastro-protectrice

Dans de nombreuses études *in vivo*, les effets protecteurs des extraits aqueux du *Z. lotus* (écorces des racines, feuilles et fruits) administrés par voie orale ont été observés dans les lésions de plusieurs modèles ulcérogènes chez le rat Wistar (Borgi et al., 2007 ; Bakhtaoui et al., 2014), les feuilles et l'écorce des racines, quant à eux, possède une importante activité anti-ulcérogénique attribuée à la présence des tanins et des flavonoïdes connus par leur effets gastro-protecteur (Borgi et al., 2007).

### 11-4-Activité antifongique et antimollusque

Les différents extraits (éthéré, chloroformique, extrait d'acétate d'éthyle et méthanolique) de *Ziziphus lotus* se sont avérés très actifs *in vitro* vis-à-vis de neuves souches des champignons pathogènes et des mollusques *Balinus truncatus* (hôtes intermédiaires et vecteurs de 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 *Trichaderma viride* sont inhibés par les tanins (Chung et Wei, 2001).

### 11-5- Activité antimicrobienne

Des études faites par Ghédira et al. (1995) ont montré qu'un alcaloïde de cette plante présente une activité antibactérienne significative. De nombreuses études ont montré l'activité antibactérienne des tanins. Ces molécules ont été rapportées comme bactériostatique ou bactéricide sur plusieurs souches bactériennes. Ils ont démontré que l'acide tannique a inhibé la croissance des bactéries des aliments et des bactéries intestinales humaines comme : *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Pseudo fluorescens*, *Salmonella enteritidis*, et *Salmonella typhimurium* (Chung et Wei, 2001 ; Jürgen et al., 2009).

### 11-6- Activité antioxydante

Les concentrations des différentes vitamines (vitamine A, C et E) et les acides gras des racines, tige, feuilles, pulpe de fruits et de graines de *Ziziphus lotus* ont montré l'effet antioxydant de leurs extraits aqueux (Benammar, 2010).

### 11-7-Effets antiallergiques

L'activité antiallergique des extraits aqueux de feuilles de jujube a été étudiée en mesurant son effet inhibiteur sur la hyaluronidase de testicules bovins. En effet, l'activation, *in vitro*, de ses extraits a montré qu'ils ont une forte activité antiallergique (Su et *al.*, 2002).

### 11-8- Activité de cicatrisation des plaies

Récemment, Ansari et *al.* (2006), dans leur livre intitulé (les médicaments à base de plantes », ont affirmé que la racine du jujubier permet la cicatrisation des plaies. En effet, Chopda et Mahajan (2009) ont confirmé l'activité de cicatrisation de la racine de *Z. lotus* chez le rat, utilisée sous forme d'onguent à une dose de 0.5% et 1% en application topique.

### 11-9- Autres activités

Cette plante est aussi employée dans le domaine de la nutrition, la santé et la cosmétologie sous plusieurs formes. Certains extraits du jujubier exercent des propriétés immunes modulatrices sur l'activation des cellules T humaines IL-2, et aussi l'expression de l'ARNm (Benammar et *al.*, 2010 ; Abdoul-Azize, 2013), ils ont aussi des effets anticancéreux (cancer du sein et cancer du côlon) et modulent la rétention intestinale de plusieurs substances toxiques pour l'alimentation vue sa richesse en acides gras polyinsaturés (l'acide oléique et l'acide linoléique) (Aspenström-Fagerlund et *al.*, 2015), les fruits sont décrits comme adoucissant, et entrent dans le traitement de la gorge et les irritations broncho-pulmonaires. De même, la poudre des feuilles sèches et des fruits est appliquée dans le traitement des furoncles (Borgi et *al.*, 2007).

## 12-Utilisation de *Ziziphus lotus* comme Insecticides

Les extraits de *Ziziphus lotus* renferment différentes substances bioactives comme les alcaloïdes, les flavonoïdes et les saponines, qui ont des propriétés insecticides. Ces substances peuvent jouer le rôle d'agents répulsifs ou toxiques pour différents insectes nuisibles, ce qui permet de réduire naturellement leur population.

Dans une étude scientifique menée par Mouffok et ses collègues (2018), il a été démontré que les extraits de feuilles de *Ziziphus lotus* ont un impact significatif sur la mortalité des larves de moustiques. En effet, les composés actifs isolés de ces extraits ont perturbé le développement des larves, ce qui a entraîné une augmentation de la mortalité et une diminution de la population de moustiques.

## 13-Interactions de *Z. lotus* avec les champignons

### 13-1-Interaction avec des champignons endophytes

La présence des champignons endophytes de *Z. lotus* est essentielle pour préserver la santé et la survie de cet arbuste dans des zones arides. Ces champignons vivent dans les tissus végétaux sans provoquer de dommages visibles à leur hôte. Les champignons endophytes ont la capacité de prévenir les organismes pathogènes et les herbivores en produisant des substances antifongiques et antibactériennes. Cette cohabitation présente des avantages

notables dans les sols pauvres et les conditions climatiques extrêmes, qui sont typiques des habitats où *Z. lotus* est fréquemment observé (Arnold, 2007), selon Clay et Holah (1999), il est également démontré que ces endophytes peuvent avoir un impact sur la croissance et la reproduction de l'arbuste, ce qui contribue à sa résistance écologique. Plusieurs champignons ont été notés tels que *Fusarium* sp. (Brown et al., 2018), *Aspergillus* sp. (Green et al., 2017), *Epicoccum* sp., *Mollisia* sp., *Ulocladium* sp., *Xylaria* sp. Et de nombreuses espèces de genre *Penicillium* sp., telles que (*Penicillium brevicompactum*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium cyclopium*, *Penicillium desertorum*, *Penicillium flavigenum*, *Penicillium momoi* *Penicillium rubens*, (Ghazi et al., 2022).

### 13-2-Interaction avec les champignons épiphytes

L'écosystème de *Z. lotus* est largement influencé par les champignons épiphytes qui s'installent sur les rameaux et les feuilles de cet arbuste. Ces champignons, présents à la surface des végétaux, peuvent interagir de différentes manières avec leur hôte. Les divers travaux sur les épiphytes de *Z. lotus* ont révélé la présence de plusieurs champignons qui appartiennent au phylum Ascomycota tels que *Cladosporium* sp. (Smith et al., 2020), *Alternaria* sp. (Jones et al., 2019), *Barnettella* sp., *Bipolaris* sp. Et plusieurs espèces de genre *Aspergillus* dont (*Aspergillus costaricaensis*, *Aspergillus fumigatus* et *Aspergillus tubingensis*) (Ghazi et al., 2022).

## II. Généralités sur les traits fonctionnels

Les traits fonctionnels des plantes, des caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénologiques, jouent un rôle essentiel dans leur adaptation à leur environnement et leur fonctionnement écologique (Violle et al., 2007 ; Pérez-Harguindeguy et al., 2013-2016), ces traits peuvent inclure la hauteur de la plante, la profondeur des racines, la période de floraison, etc. Les études sur les traits fonctionnels permettent de mieux comprendre l'écologie, l'évolution et les réponses des plantes aux changements environnementaux (Reich et al., 2003).

### 1- La hauteur

La hauteur des plantes, souvent représentée par la  $H_{max}$ , la distance entre le sommet des tissus photosynthétiques et le niveau du sol, est liée à l'aptitude compétitive, le degré d'exposition au stress environnemental (sécheresse atmosphérique), et contribue à la dispersion des graines. En général, les plantes les plus élevées ont une meilleure accessibilité à la lumière, ce qui améliore leur capacité à consommer d'énergie globale (Poorter et al., 2012). La capacité d'une plante à rivaliser pour des ressources est également influencée par ce trait, ce qui a un impact sur la structure des communautés végétales et la diversité des espèces (Falster et al., 2018). De plus, la taille des plantes peut influencer le succès reproducteur des plantes. Elle présente un impact sur la répartition des graines et du pollen tout en facilitant la reproduction et le flux génétique au sein des populations (Cornelissen et al., 2003 ; Cornwell et al., 2014 ; Pérez-Harguindeguy et al., 2016).

### 2- Les traits foliaires

Les caractères foliaires désignent les propriétés morphologiques et anatomiques des feuilles des végétaux. La taille et la forme des feuilles, leur texture, la présence de poils ou de glandes, ainsi que des caractéristiques plus spécifiques telles que la densité des stomates, la structure des nervures et la composition chimique des cuticules, peuvent être parmi ces caractéristiques (Wright et *al.*, 2004).

### **2-1- Epaisseur des feuilles**

L'épaisseur des feuilles joue un rôle primordial dans la détermination de la dureté physique de la feuille qui influe sur sa photosynthèse, sa respiration et sa transpiration (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2016), il dépend des conditions environnementales. Les feuilles, dans les zones humides, elles peuvent être plus minces afin de favoriser les échanges gazeux, tandis que dans les zones arides, sont plus épaisses afin de limiter la perte d'eau par transpiration (Aasamaa et Söber, 2011), en effet, l'épaisseur des feuilles est plus élevée au niveau des habitats ensoleillées, secs et moins fertiles, mais aussi chez les feuilles avec une longue durée de vie (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2016).

L'épaisseur de la feuille est considérée ainsi comme un trait morphologique qui influe sur la performance des plantes dans leur environnement (Reich et *al.*, 1992), des études ont montré que l'épaisseur des feuilles est étroitement liée à la capacité des plantes à réaliser la photosynthèse et à réguler leur bilan hydrique (Poorter et *al.*, 2009), Par exemple, celle de Niinemets et Fleck (2002) ont démontré que les variations de l'épaisseur des feuilles peuvent affecter la capture de lumière et la distribution des ressources dans différentes strates de la canopée. En outre, l'épaisseur des feuilles offre une protection accrue contre les dommages mécaniques et les stress environnementaux, ce qui contribue à la durabilité des plantes dans des conditions variables (Smith et *al.*, 1997).

### **2-3- Longueur et largeur des feuilles**

Les feuilles présentent des dimensions essentielles qui diffèrent grandement entre les espèces, ce qui a un impact sur la capacité de la plante à absorber la lumière et à gérer la perte d'eau (Ravan et *al.*, 2005), la longueur et la largeur des feuilles augmentent la surface d'exposition à la lumière, tandis que les feuilles plus petites et étroites diminuent la transpiration (Taiz et Zeiger, 2010), la taille des feuilles constitue ainsi un élément morphologique essentiel qui a un impact sur divers aspects de la physiologie et de l'écologie des plantes. La capacité de la feuille à échanger des gaz, à la photosynthèse, à la résistance à la dessiccation et à la résistance aux herbivores est étroitement liée à cela (Niinemets et *al.*, 2007).

### **2-4-La surface foliaire**

La surface foliaire est considérée comme est un paramètre essentiel en écologie et en biologie végétale, déterminant plusieurs aspects de la physiologie et du comportement des plantes (Smith et *al.*, 2005), la photosynthèse, l'absorption de la lumière et l'échange de gaz avec l'atmosphère environnante sont directement liés à cette capacité. La surface foliaire est ainsi un indicateur clé de la surface disponible pour la photosynthèse, processus vital pour la croissance et le développement des plantes (Johnson et *al.*, 2010), une surface foliaire plus grande permet une captation plus efficace de la lumière solaire, favorisant ainsi une production de biomasse accrue (Brown et *al.*, 2018), en outre, la surface des feuilles a un

impact sur la capacité de la plante à contrôler sa température, à perdre de l'eau par transpiration et à interagir avec son environnement biotique (Chitwood et *al.*, 2016 ; Wright et *al.*, 2017).

Les plantes peuvent avoir une surface foliaire plus faible dans des environnements les plus secs afin de réduire la perte d'eau par transpiration, tandis que dans des environnements plus humides, elles peuvent avoir une surface foliaire plus élevée afin de maximiser la photosynthèse et l'absorption de la lumière (Chitwood et *al.*, 2016 ; Wright et *al.*, 2017), dans ce dernier cas, la surface foliaire étendue facilite également l'échange de chaleur, influençant ainsi la régulation thermique de la plante (White et *al.*, 2016).

### **2-5-La surface foliaire spécifique (Indice SLA, Specific Leaf Area)**

L'indice SLA c'est le rapport entre la surface foliaire ( $\text{mm}^{-2}$ ) et la masse sèche des feuilles (mg) (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2013-2016), permet d'évaluer l'adaptation des plantes à leurs environnement, en particulier leur aptitude à absorber la lumière pour la photosynthèse et à contrôler leur température. La SLA est fréquemment étudiée en écologie afin de saisir les stratégies de croissance et les réactions des plantes face aux changements environnementaux (Reich et *al.*, 1992).

### **2-6-Importance de la surface foliaire spécifique**

Grâce à une SLA élevée, les feuilles peuvent être exposées à la lumière solaire de manière optimale, ce qui favorise une photosynthèse plus efficace. Ceci peut être essentiel dans des situations où la lumière est restreinte (Reich et *al.*, 1992), en outre, sa variation permet aux plantes de s'adapter aux conditions environnementales locales telles que la disponibilité de la lumière, l'humidité du sol et les températures extrêmes (Cornelissen et *al.*, 2003), par exemple, les plantes dans les environnements arides peuvent avoir une SLA plus faible pour minimiser la perte d'eau par transpiration.

### **2-7- L'indice LDMC (Leaf Dry Matter Content)**

La LDMC est une mesure utilisée pour caractériser la densité et la durabilité des tissus foliaires des plantes. La LDMC reflète la capacité d'une plante à investir dans des feuilles plus denses et plus durables, ce qui peut influencer ses stratégies de croissance et d'adaptation aux environnements variés (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2013).

# **Chapitre2**

## **Matériel et méthodes**

## 1- Présentation de la zone d'étude

Deux wilayas ont été choisies pour réaliser notre travail, à savoir Djelfa et Tizi-Ouzou qui appartiennent à deux zones bioclimatiques différentes, ce qui constitue un environnement propice à l'étude des adaptations morphologiques et fonctionnelles de l'espèce *Ziziphus lotus* au gradient d'aridité climatique.

### 1-1- Djelfa

#### 1-1-1- Présentation de la wilaya de Djelfa

Située au cœur de l'Algérie, la région de Djelfa possède une grande variété géographique et climatique, ce qui a un impact considérable sur la végétation et les écosystèmes locaux (Bensaid et al., 2019), la ville de Djelfa est située dans les Hauts Plateaux, une région semi-aride d'Algérie, dont l'altitude moyenne est d'environ 1200 mètres. Selon Bensaid et al., (2019), la diversité de la topographie de la région, qui inclut des montagnes, des plaines et des vallées, explique la diversité des microclimats présents dans cette région.

#### 1-1-2- Géographie et climat

La wilaya de Djelfa s'étend sur une superficie de 66 415 km<sup>2</sup> (ONS, 2022), Le climat de Djelfa varie du semi-aride vers le saharien, avec des hivers froids et des étés chauds et secs. Les précipitations annuelles sont d'environ 100 à 400 mm, principalement concentrées pendant les mois d'hiver. Les températures peuvent atteindre des niveaux de plus de 40 °C pendant l'été et baisser en dessous de 0 °C en hiver, ce qui entraîne un stress pour la végétation (Bensaid et al., 2019), ces dernières années, le climat a subi des changements en raison des variations climatiques, ce qui a entraîné une augmentation de la diversité des précipitations et de la fréquence des événements extrêmes (Benhouhou, 2020).

#### 1-1-3-Végétation

La flore de Djelfa témoigne de ces conditions météorologiques très diversifiées. Les espèces résistantes à la sécheresse, comme *Ziziphus lotus*, sont prédominantes dans les zones les plus arides, ce qui a suscité de nombreuses recherches en raison de ses adaptations particulières aux conditions environnementales locales (Hammou et al., 2013), l'alfa (*Stipa tenacissima*), l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*), les formations de psamophytes et d'halophytes sont d'autres espèces fréquentes dans la région, ce qui contribue à la diversité écologique de la région (Hammou et al., 2013), les forêts de Djelfa ont un rôle essentiel dans la prévention de l'érosion et la préservation de la biodiversité. Ces forêts sont principalement constituées de pins d'Alep (*Pinus halepensis*), qui sont adaptés aux conditions arides et semi-arides (Kadik, 2005 ; Bensaid et al., 2019).

### 1-2-Tizi-Ouzou

#### 1-2-1- Présentation de la wilaya de Tizi-Ouzou

Tizi-Ouzou est une wilaya algérienne se trouvant au Nord-Est de la capitale, dans la région montagneuse de la Kabylie. Son patrimoine culturel et naturel est très riche, sa diversité écologique et son importance économique sont reconnus.

### 1-2-2- Géographie et climat

La superficie de Tizi-Ouzou est de 2 956 km<sup>2</sup> et son altitude varie considérablement en raison de la présence de la chaîne de montagnes du Djurdjura, avec un sommet à 2 308 mètres au-dessus du niveau de la mer (ONS, 2022), les conditions climatiques locales sont fortement influencées par cette topographie montagneuse, ce qui la rend méditerranéenne, avec des étés chauds et secs et des hivers humides et modérés (Benchetrit et *al.*, 2018), dans la région de Tizi-Ouzou, les précipitations annuelles sont assez importantes, s'étendant de 600 à 1 200 mm, principalement pendant les mois d'hiver. Pendant l'été, les températures peuvent atteindre 35 °C, tandis que les hivers sont doux avec des températures rarement inférieures à 5 °C (Hadjou et *al.*, 2017).

### 1-2-3- Végétation

Tizi-Ouzou possède une grande diversité écologique, avec une flore diversifiée comprenant des espèces endémiques et des forêts denses. La forêt de la région est constituée de diverses espèces de chênes de cèdres (*Cedrus atlantica*) et de pins (*Pinus halepensis*) essentiellement. Selon Benhouhou et *al.*, (2014), ces forêts ont un rôle essentiel dans la préservation de la biodiversité et la gestion des ressources en eau.

## 2- Description des stations étudiées

Afin de réaliser ce travail, nous avons échantillonné 5 stations, 4 se trouvent au niveau de la wilaya de Djelfa et une seule station à la wilaya de Tizi-Ouzou. Nous avons effectué une campagne d'échantillonnage à Djelfa du 19 au 30 avril 2024 et à Tizi-Ouzou le 11 mai 2024 (Figure 4 et Tableau 2).

L'étage bioclimatique des quatre stations échantillonnées à Djelfa a été établi en utilisant une carte bioclimatique de la steppe algérienne (Le Houérou et *al.*, 1977), d'autre part, pour la station échantillonnée à Tizi Ouzou, nous avons utilisé le travail de Ait-Kaci (2013) de déterminer son étage bioclimatique qui est subhumide.

## 3- Méthodologie

### 3-1- Echantillonnage de *Ziziphus lotus*

Au niveau de chaque station, nous avons sélectionnées 10 arbustes de *Z. lotus*, à une distance de 10 à 1000 mètres les uns des autres. Pour chaque pied, nous avons mesuré les paramètres suivants :



Figure 4 : Localisation des stations étudiées (29 mai 2024).

Tableau 2 : Caractéristiques des stations étudiées.

Wilaya	Djara	Commune	Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Bioclimat
Djelfa	Had shari	Bouiret Lahdab	El Chabka	35° 8'57.03"N	2°58'29.29"E	1001	Arde moyen à hiver frais
	Dar Chioukh	Sidi Baizid	El Rayan	35° 3'46.34"N	3°23'14.79"E	/	Arde supérieur à hiver froid
	Messaad	Messad	El Glaiaa	33°59'5.07"	3°35'6.75"E	/	Arde inferieur à hiver frais
	Messaad	Selmana	Dayat El Zerga	N33°52'9.13"N	3°51'47.31"E	/	Arde inferieur à hiver frais
Tizi-Ouzou	Draa Ben khedda	Tadmait	Sid Ali Bounab	36°43'28.02"N	3°54'59.16"E	494	Subhumide à hiver froid

### 3-1-1- La hauteur ( $H_{max}$ )

La hauteur ( $H_{max}$ ), la distance entre le sommet des tissus photosynthétiques et le niveau du sol, a été mesurée à l'aide d'un décimètre et enregistrée en m.

### 3-1-2- La largeur de la canopée

La largeur de la canopée de chaque individu a été mesurée à l'aide d'un décimètre la largeur a été exprimée en m.

### 3-1-3- Mesures des traits foliaires

Les traits foliaires représentent les caractéristiques morphologiques, physiologiques et anatomiques des feuilles. Parmi ces caractéristiques, nous avons la dimension, la forme, l'épaisseur, la texture, la couleur et d'autres éléments qui influent sur les performances et les fonctions des espèces et de la communauté végétale toute entière (Cornelissen *et al.*, 2003 ; Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013-2016).

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons mesuré six traits foliaires qui peuvent être directement liés à l'adaptation de *Z. lotus* à l'aridité, à savoir l'épaisseur, la largeur, la longueur, la surface foliaire et les indices SLA et LDMC. Pour cela, au moment de la mesure de la hauteur et de largeur de chaque individu, nous avons récolté des feuilles que nous avons mises dans des sacs hermétiques, étiquetés et remplis de l'eau déionisée. Chaque sac est mis, par la suite, dans une boîte froide et obscure jusqu'à son utilisation. Pour notre travail, nous avons utilisé une glacière et nous avons mesuré les traits foliaires ci-dessous le jour même de l'échantillonnage (le soir) ou, au plus tard, 48 h après la période d'échantillonnage.

Avant de commencer les différentes mesures, nous avons sélectionné minutieusement 30 feuilles de chaque sac, à l'ordre de 300 feuilles par station et un total de 1500 feuilles mesurées. Chaque feuille est, par la suite, doucement essuyée par du papier absorbant avant les mesures et le limbe de la feuille est séparé du pétiole. Les mesures sont faites uniquement pour le limbe.

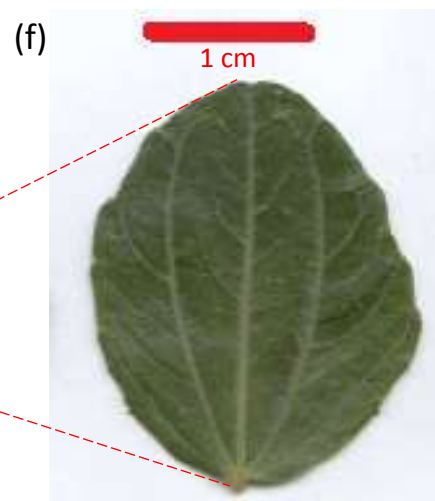
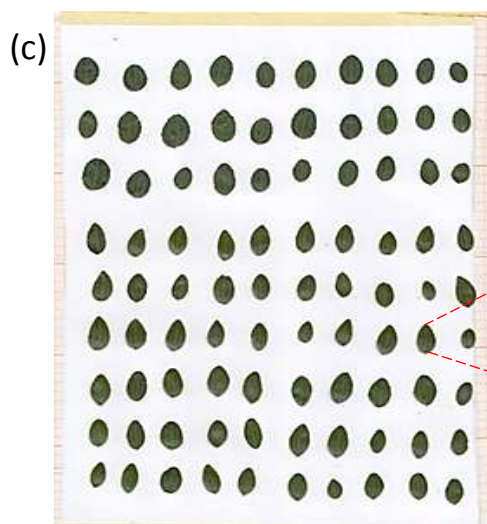
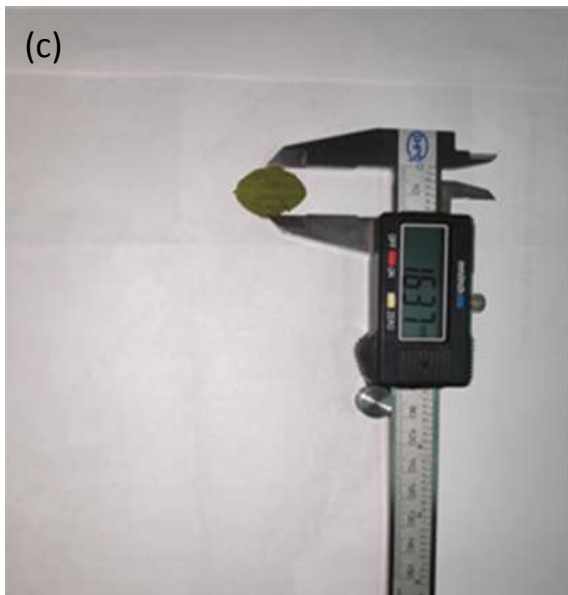
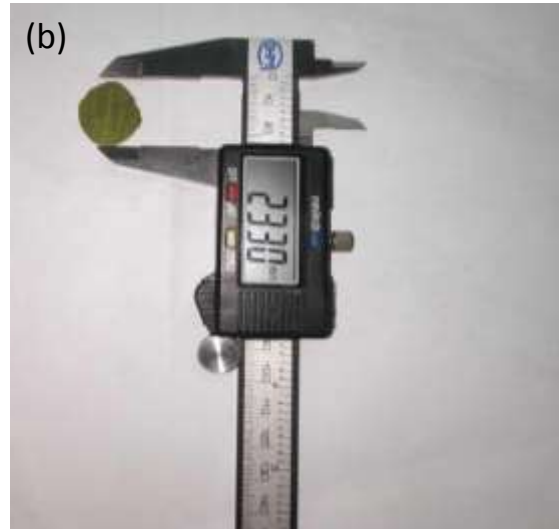
#### 3-1-3-1- Epaisseur, longueur et largeur de limbe

Pour effectuer ces mesures, nous avons utilisé le pied à coulisse, un instrument précis ( $\text{mm}^{-2}$ ), qui permet de mesurer avec une grande précision l'épaisseur, la longueur et la largeur des feuilles (Figure 5).

#### 3-1-3-2- La surface foliaire spécifique

La détermination de la surface foliaire passe par deux étapes essentielles. En premier lieu, les feuilles sont scannées à une résolution élevée afin d'obtenir des images numériques claires et précises (Figure 5). Le scanner utilisé est de marque Cannon LIDE 110. La seconde étape consiste à mesurer la surface foliaire à l'aide du logiciel Mesurim Pro version 3.4 (2013). Ce logiciel offre la possibilité d'analyser de manière précise et rapide les images de feuilles scannées. Il est primordial de calibrer le logiciel Mesurim avant de mesurer la superficie en utilisant une échelle de référence dans l'image, grâce au papier millimétré placé à côté des feuilles lors de la numérisation (Figure 5). Après avoir calibré l'image, nous avons mis des

points sur différentes parties de chaque feuille à l'aide des outils de dessin disponibles au niveau du logiciel. La superficie en pixels est ensuite calculée automatiquement par le logiciel, qui peut être convertie en unités de mesure réelles (cm<sup>2</sup>). Nous avons également converti les surfaces en mm<sup>2</sup> afin de faciliter le calcul de l'indice SLA.



**Figure 5 :** Mesure des traits foliaires de *Z. lotus*. **a :** Epaisseur de la feuille ; **b :** longueur de limbe; **c :** largeur de limbe; **d :** poids de limbe ; **e :** une copie d'un fichier PDF scanné à l'aide d'un scanner avec différents de feuilles; **f :** une feuille accompagnée d'une échelle d'un centimètre.

### 3-1-3-3- Indice SLA (Specific Leaf Area)

La surface spécifique des feuilles (SLA) est le rapport entre la surface foliaire ( $\text{mm}^{-2}$ ) et la masse sèche des feuilles (mg) (Pérez-Harguindeguy et al., 2013-2016), néanmoins, avant de calculer cet indice, nous avons pesé le poids frais de chaque feuille en g (permettant de calculer le LDMC). Par la suite, chaque feuille est gardée à l'abri de l'humidité et à sec au niveau des sacs en papier durant 20 jours et elles ont été pesées à nouveau en mg à l'aide d'une balance avec une précision de  $\text{g}^{-4}$ .

### 3-1-3-4- Indice LDMC (Leaf Dry Matter Content)

L'indice LDMC, correspondant au contenu en matière sèche des feuilles, est un paramètre clé en écologie végétale qui mesure la proportion de matière sèche dans les feuilles par rapport à leur masse fraîche. Il se calcule en divisant le poids sec des feuilles (mg) par leur poids frais (g) (Pérez-Harguindeguy et al., 2013-2016).

## 3-2- Analyses statistiques

### 3-2-1- Les analyses de variance (ANOVA de Welch)

L'analyse de variance (ANOVA ou ANalysis Of Variance) vise à tester les différences significatives entre les moyennes en comparant les variances (Armstrong et al., 2002), le test ANOVA est considéré comme étant significatif lorsque la *valeur-p* est le rapport  $F$  sont significatifs. La *valeur-p* représente le seuil de signification du test statistique. Une *valeur-p* de 0.05 indique qu'il existe une probabilité de 5% que la relation entre les variables de l'échantillon soit due au hasard, et d'ailleurs, c'est ce que nous avons pris en considération dans ce mémoire. Le rapport  $F$  permet la comparaison des variances entre les groupes (inter-groupes) et à l'intérieur des groupes (intra-groupes ». La valeur de  $F$  est considérée comme étant la variance entre les groupes rapportés à la variance à l'intérieur des groupes. En effet, plus le  $F$  est élevé, plus il y a de chance que le facteur testé ait un effet statistiquement significatif.

Avant d'effectuer l'analyse de variance, nous avons testé de la normalité des huit variables étudiées ( $H_{max}$ , largeur de la conopée, surface foliaire, épaisseur des feuilles, longueur des feuilles, largeur des feuille, indice SLA et indice LDMC) à l'aide du test de Shapiro-wilk et à une visualisation graphique des QQ plots de chaque variable. Les résultats ont montré que la normalité n'est pas confirmée.

Nous avons utilisé, par conséquent, une analyse alternative à l'ANOVA standard, à 1 facteur, dans les situations où l'homogénéité de la variance n'est pas significative, appelée (**test ANOVA de Welch à 1 facteur** ». Le test Anova de Welch à un facteur permet d'évaluer si les traits morphologiques et fonctionnels de *Ziziphus lotus* étaient différents pour les 5 stations étudiées.

Par ailleurs, et suite à une différence significative entre les stations, la comparaison multiple des moyennes de paramètres retenus a été réalisée par l'utilisation de test Post-hoc de Bonferroni à un risque d'erreur retenu de  $p \leq 0.05$ .

### 3-2-2- Les analyses de corrélation

L'analyse de corrélation est une méthode statistique destinée à quantifier et tester la liaison (la relation) entre deux variables quantitatives (X et Z) et à tester si cette relation est statistiquement significative à travers la *valeur-p*. Le coefficient de corrélation sert à caractériser si la relation linéaire est positive ou négative. Sa valeur varie entre -1 et +1. Plus il est proche de 1 (en valeur absolue), plus la relation entre X et Y est forte. Lorsque  $r = 0$ , ceci indique l'absence d'une corrélation.

Toutes les analyses statistiques et les représentations graphiques de ce mémoire ont été effectuées sous l'interface RStudio du logiciel R version 4.3.2.

# **Chapitre 3**

## **Résultats et discussions**

## Résultats et discussion

### 1- Analyses de variances des traits étudiés en fonction des stations

Pour évaluer si les traits morphologiques et fonctionnels de *Ziziphus lotus* étaient différents pour les 5 stations étudiées, nous avons appliqué un test ANOVA de Welch, à un facteur, dans les situations où l'homogénéité de la variance ne peut être supposée (c'est-à-dire le test de Bonferroni est significatif). La *valeur-p* obtenue est comparée à un seuil de signification fixé à  $\alpha = 0.05$ . Lorsque la *valeur-p* est inférieure à  $\alpha = 0.05$ , cela indique une différence significative entre les stations.

Les traits étudiés étaient statistiquement très hautement significatifs entre les différentes stations et représentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 3 :** Le test ANOVA de Welch des différents traits étudiés au niveau des cinq stations.

Variable	Welch Anova (F)	<i>p-value</i>	Significativité
Hmax (m)	738	$p < 0.0001$	Très hautement significative
Largeur (m)	735	$p < 0.0001$	Très hautement significative
Surface foliaire (mm <sup>2</sup> )	740	$p < 0.0001$	Très hautement significative
Longueur (mm)	741	$p < 0.0001$	Très hautement significative
Largeur (mm)	739	$p < 0.0001$	Très hautement significative
Epaisseur (mm)	737	$p < 0.0001$	Très hautement significative
SLA (mm/mg)	738	$p < 0.0001$	Très hautement significative
LDMC (mg <sup>2</sup> /g)	708	$p < 0.0001$	Très hautement significative

**Tableau 4 :** La comparaison des différents paramètres entre stations étudiées.

Variables	Dayat zarga	El Chabka	El Glaiaa	El Rayan	Sid Ali Bounab
Hmax (m)	2.91±0.631	2.15 ± 0.457	2.48±0.503	4.25 ± 0.979	2.68 ± 0.664
Largeur (m)	6.06± 1.82	6.30 ± 1.79	5.22±1.35	8.01 ± 5.07	5.12 ± 1.64
Surface foliaire (mm <sup>2</sup> )	81.2 ± 28.0	79.3 ± 25.0	77.4±19.0	102 ± 33.4	143 ± 28.2
Longueur (mm)	13.9 ± 3.87	15.5 ± 2.53	14.4±2.12	15.6 ± 3.10	19.6 ± 2.45
Largeur (mm)	7.40 ± 1.66	7.44 ± 1.18	7.95±1.47	9.50 ± 1.94	12.0 ± 2.00
Epaisseur (mm)	0.214±0.01	0.215±0.017	0.199±0.02	0.216±0.012	0.203 ± 0.012
SLA (mm <sup>2</sup> /mg)	10.8 ± 2.57	11.2 ± 5.04	10.8±2.46	10.9 ± 3.51	9.08 ± 2.32
LDMC (mg/g)	385 ± 70.1	392 ± 175	358±84.0	335 ± 39.3	358 ± 91.8

Les données sont présentées sous forme de moyenne ± écart type

1-1-La hauteur ( $H_{max}$ )

L'analyse ANOVA de Welch montre une différence très hautement significative de la valeur de la hauteur ( $H_{max}$ ) de *Ziziphus lotus* entre les cinq stations étudiées avec une valeur de  $p < 0.0001$  (Tableau 3).

Les comparaisons multiples de la valeur des moyennes de la  $H_{max}$ , à l'aide du test de Bonferroni, confirme cette différence entre les stations échantillonnées (Dayat El Zerga, Ech Chabka, El Glaiaa, El Rayan et Sid Ali Bounab) et démontre clairement (i) le degré de significativité de chaque différence et (ii) quelles sont les stations les plus différentes par rapport à la valeur de  $H_{max}$ . (La figure 6) montre une différence très hautement significative ( $p < 0.0001$ ) entre Dayat El Zerga et les stations de Ech Chabka, El Glaiaa et El Rayan. Néanmoins, avec Sid Ali Bounab, la différence est hautement significative ( $p < 0.001$ ). La comparaison de la  $H_{max}$  de *Z. lotus* de la station de Ech Chabka avec El Glaiaa, El Rayan et Sid Ali Bounab révèle également des différences très hautement significatives ( $p < 0.0001$ ). La hauteur maximale de *Z. lotus* à El Glaiaa présente des différences très hautement significatives par rapport à toutes les autres stations, à l'exception de la station de El Rayan où la différence est hautement significatif ( $p < 0.001$ ). Au niveau de la station de El Rayan, les comparaisons révèlent une différence très hautement significative ( $p < 0.0001$ ) avec toutes les stations. Concernant la station de Sid Ali Bounab, les résultats montrent une différence hautement significative avec El Rayan ( $p < 0.001$ ) et très hautement significative avec toutes les autres stations.

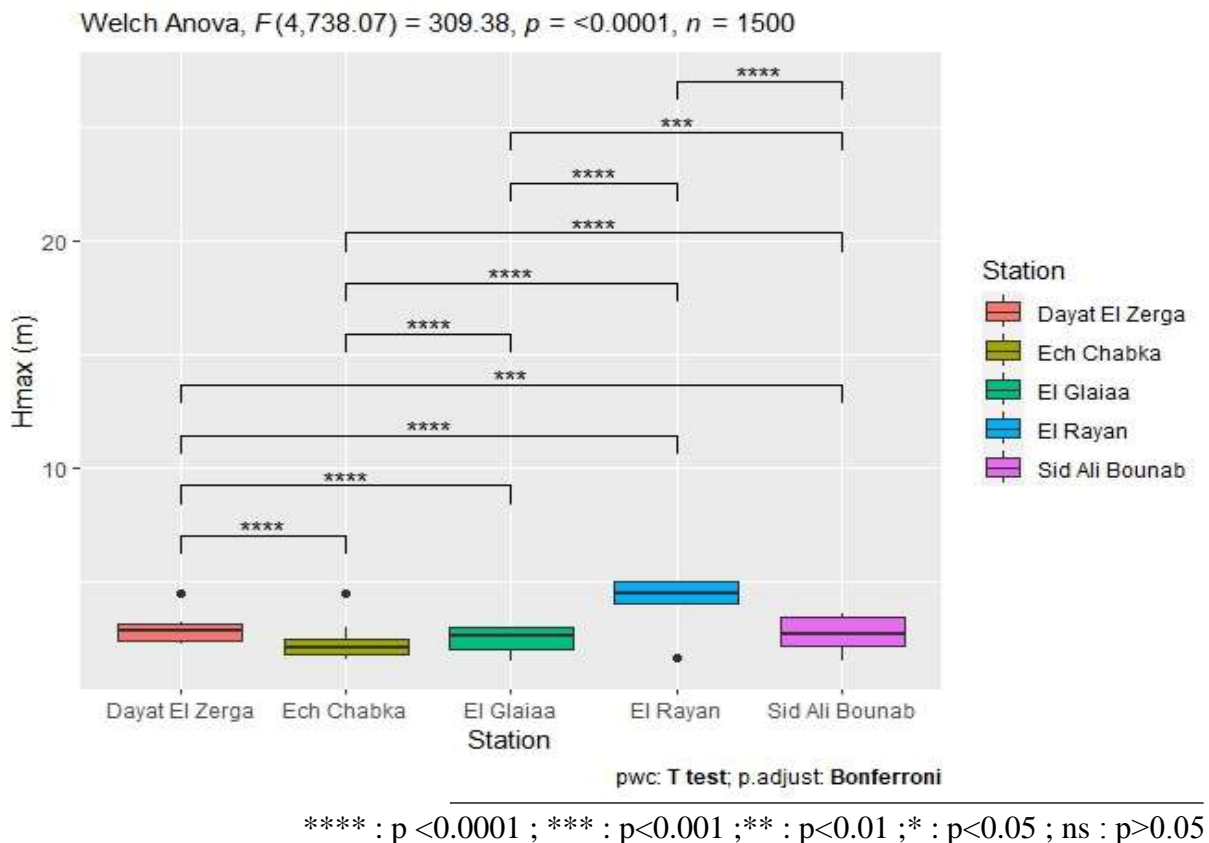
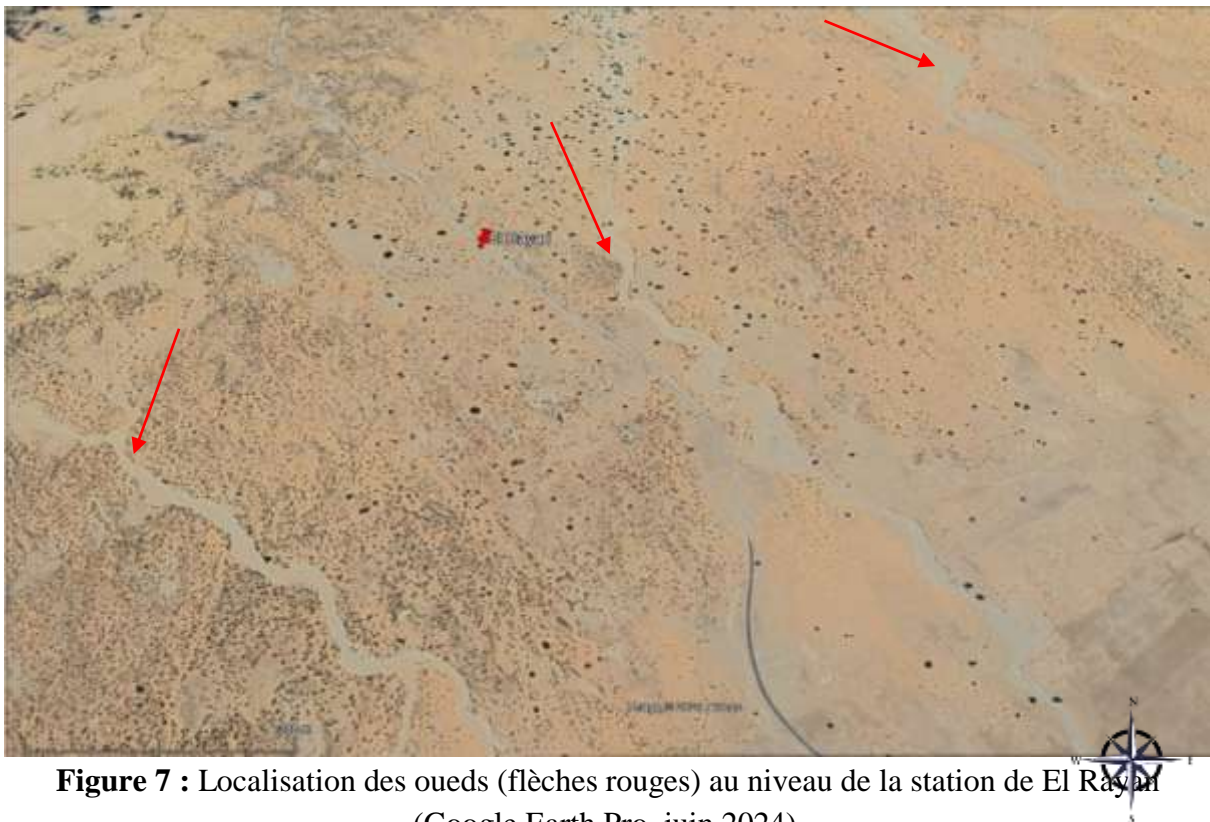


Figure 6: Les comparaisons multiples de la  $H_{max}$  de *Z. lotus* entre les stations étudiées.

Les résultats présentés au niveau du tableau 4, indiquent que les plus hauts sujets de *Z. lotus* se retrouvent à la station de El Rayan ( $4.25 \pm 0.979$  m), tandis que les plus bas sont au niveau de Ech Chabka ( $2.15 \pm 0.15$  m). La hauteur moyenne du *Z. lotus* dans les stations de Dayat El Zerga, El Glaiaa et Sid Ali Bounab était respectivement,  $2.91 \pm 0.631$ ,  $2.48 \pm 0.503$  et  $2.68 \pm 0.664$  m. Ces valeurs montrent que la station de Sid Ali Bounab, bien qu'elle soit caractérisée par l'étage bioclimatique le plus humide parmi les autres stations (subhumide), ne renferme pas les sujets les plus hauts de *Z. lotus*. C'est plutôt la station de El Rayan, dont l'étage bioclimatique est de type aride supérieur, qui présente les sujets les plus hauts.

La hauteur la plus élevée enregistrée à la station d'El Rayan pourrait avoir deux origines. La première est liée au fait que les pieds du jujubier sont très proches de divers Oueds alimentant la station (Figure 7). La seconde est due à l'effet de l'ensablement puisque la station se situe en plein cordon dunaire. Il a été démontré que les plantes, dans les sols sableux, ont tendance à développer des systèmes racinaires plus profonds et une croissance aérienne accrue afin de s'adapter aux conditions de substrat instable. Cette étude confirme l'idée que l'ensablement peut favoriser des changements morphologiques visant à augmenter la taille des plantes (Smith et al. 2017).

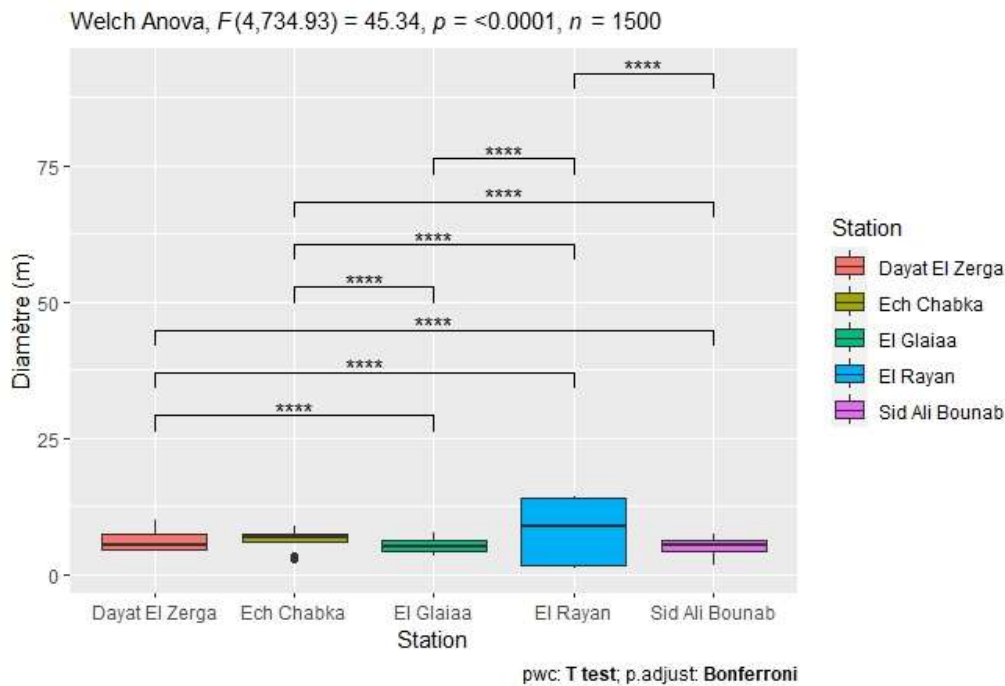


**Figure 7** : Localisation des oueds (flèches rouges) au niveau de la station de El Rayan (Google Earth Pro, juin 2024).

### 1-2-La largeur de la canopée

Selon le tableau 4, la largeur de *Z. lotus* présente une différence hautement significative entre les cinq stations étudiées. De plus, la représentation graphique ci-dessous qui illustre les

résultats du test post-hoc de Bonferroni, appliqué aux données de largeur de *Z. lotus* montre plusieurs différences significatives entre les cinq stations.



\*\*\*\* :  $p < 0.0001$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \* :  $p < 0.05$  ; ns :  $p > 0.05$

**Figure 8 :** Les comparaisons multiples de la largeur de *Z. lotus* entre les stations étudiées.

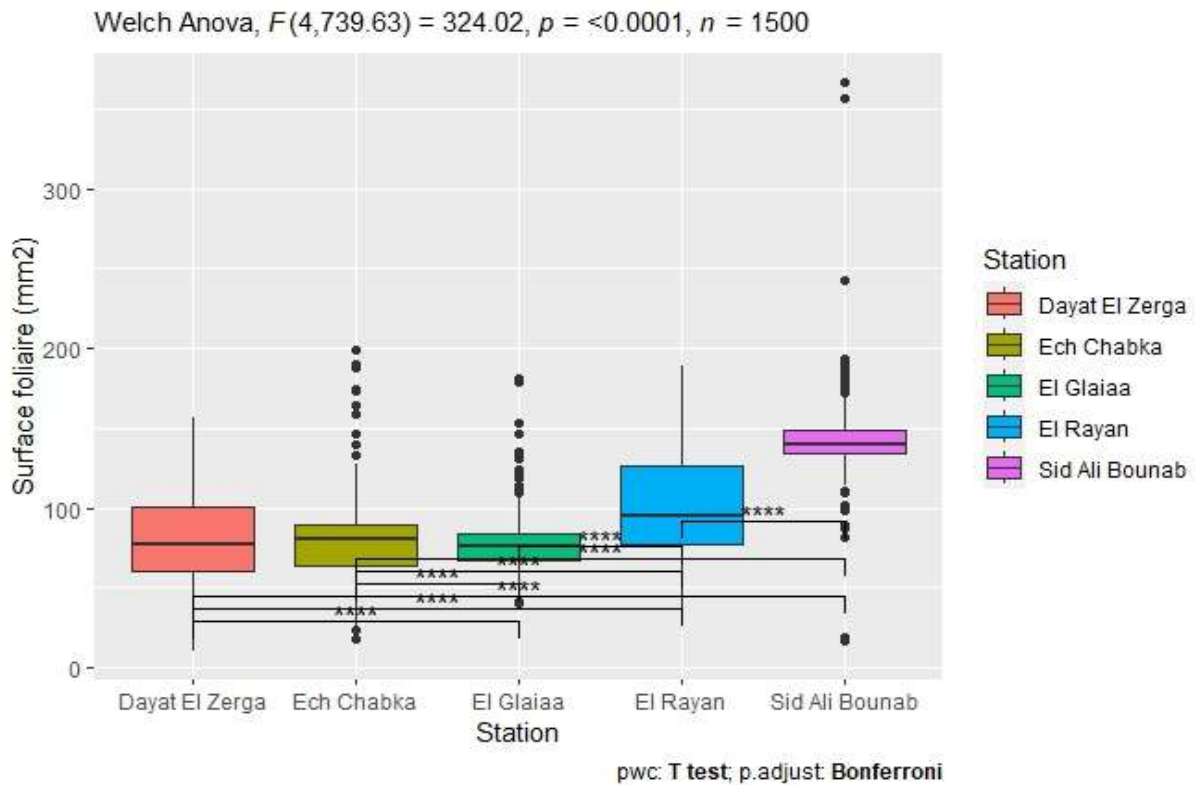
Selon le degré de significativité, nous avons enregistré des différences très hautement significatives ( $p < 0.0001$ ) entre Dayat El Zerga et les autres stations (El Glaiaa , El Rayan et Sid Ali Bounab ), mais aucune différence significative avec la station de Ech Chabka. Au fait, les valeurs moyennes de la largeur à Dayat El Zerga et Ech Chabka étaient respectivement,  $6.06 \pm 1.82$  et  $6.30 \pm 1.79$  m (Tableau 4). Les différences entre Ech Chabka et les autres stations (El Glaiaa, El Rayan et Sidi Ali Bounab) sont très hautement significatives. La comparaison de la largeur entre El Glaiaa et les autres stations est également très hautement significatives ( $p < 0.0001$ ). En revanche, elle ne présente pas de différence significative avec la station de Sidi Ali Bounab. Elles présentent ainsi des valeurs moyennes presque identiques (Tableau 4). Les résultats ont montré également la présence des différences très hautement significatives de la largeur de *Z. lotus* entre El Rayan et toutes les autres stations (Figure 8).

Il faut noter également que sous les pieds de *Z. lotus*, nous avons noté des accumulations sableuses appelées les ( nebkhas ) qui peuvent également favoriser son développement en largeur.

### 1-3-La surface foliaire

Selon l'analyse ANOVA de Welch, la surface foliaire de *Z. lotus* est statistiquement très hautement significative entre les stations échantillonnées (Tableau 3). De plus, les

comparaisons multiples réalisées à l'aide du test post-hoc du Bonferroni ont montré des différences entre les groupes -stations- et qui sont représentées au niveau de la figure et du tableau ci-dessous.



\*\*\*\* :  $p < 0.0001$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \* :  $p < 0.05$  ; ns :  $p > 0.05$

**Figure 9:** Les comparaisons multiples de la surface foliaire entre les stations étudiées.

Nous avons noté l'absence de différence significative entre les données de la surface foliaire enregistrée à Dayat El Zerga et à Ech Chabka ( $p=1.00$ ) et entre Dayat EL Zerga et El Glaiaa ( $p=0.83$ ). Ce qui laisse supposer une certaine similarité dans cette caractéristique foliaire entre trois stations. Elles présentent, en effet, les valeurs moyennes suivantes :  $81.2 \pm 28.0 \text{ mm}^2$  à Dayat El Zerga,  $79.3 \pm 25.0 \text{ mm}^2$  à Ech Chabka et  $77.4 \pm 19.0 \text{ mm}^2$  à El Glaiaa. En revanche, la différence entre les données de la surface foliaire est très hautement significative avec les stations de El Rayan et de Sid Ali Bounab ( $p < 0.0001$ ).

**Tableau 5 :** Les comparaisons multiples de la surface foliaire entre les stations étudiées.

Station	Dayat EL zarga	El Chabka	El Glaiaa	El Rayan	Sid Ali Bounab
Dayat EL zarga	-	1.00 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	<2e-16 <sup>****</sup>	<2e-16 <sup>****</sup>

<b>El Chabka</b>	1.00 <sup>ns</sup>	-	1.00 <sup>ns</sup>	<2e-16 <sup>****</sup>	<2e-16 <sup>****</sup>
<b>El Glaiaa</b>	0.83	<2e-16 <sup>****</sup>	-	<2e-16 <sup>****</sup>	<2e-16 <sup>****</sup>
<b>El Rayan</b>	<2e-16 <sup>****</sup>	<2e-16 <sup>****</sup>	<2e-16 <sup>****</sup>	-	<2e-16 <sup>****</sup>
<b>Sid Ali Bounab</b>	<2e-16 <sup>****</sup>	<2e-16 <sup>****</sup>	<2e-16 <sup>****</sup>	<2e-16 <sup>****</sup>	-

\*\*\*\* :  $p < 0.0001$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \* :  $p < 0.05$  ; ns :  $p > 0.05$

Par ailleurs, nous avons constaté une différence très hautement significative entre El Chabka et El Rayan et entre El Chabka et Sid Ali Bounab ( $p < 0.0001$ ). De la même manière lorsque les valeurs obtenues à El Glaiaa sont comparées aux stations de El Rayan et Sid Ali Bounab.

La station de El Rayan présente des différences très hautement significatives ( $p < 0.0001$ ) avec toutes les autres stations étudiées. Les résultats des analyses indiquent que les feuilles d'El Rayan présentent des caractéristiques foliaires très différentes de celles des autres stations. Sa valeur moyenne  $102 \pm 33.4 \text{ mm}^2$ . Cependant, la surface foliaire la plus élevée a été enregistrée au niveau de la station de Sid Ali Bounab avec une valeur moyenne de  $143 \pm 28.2 \text{ mm}^2$ .

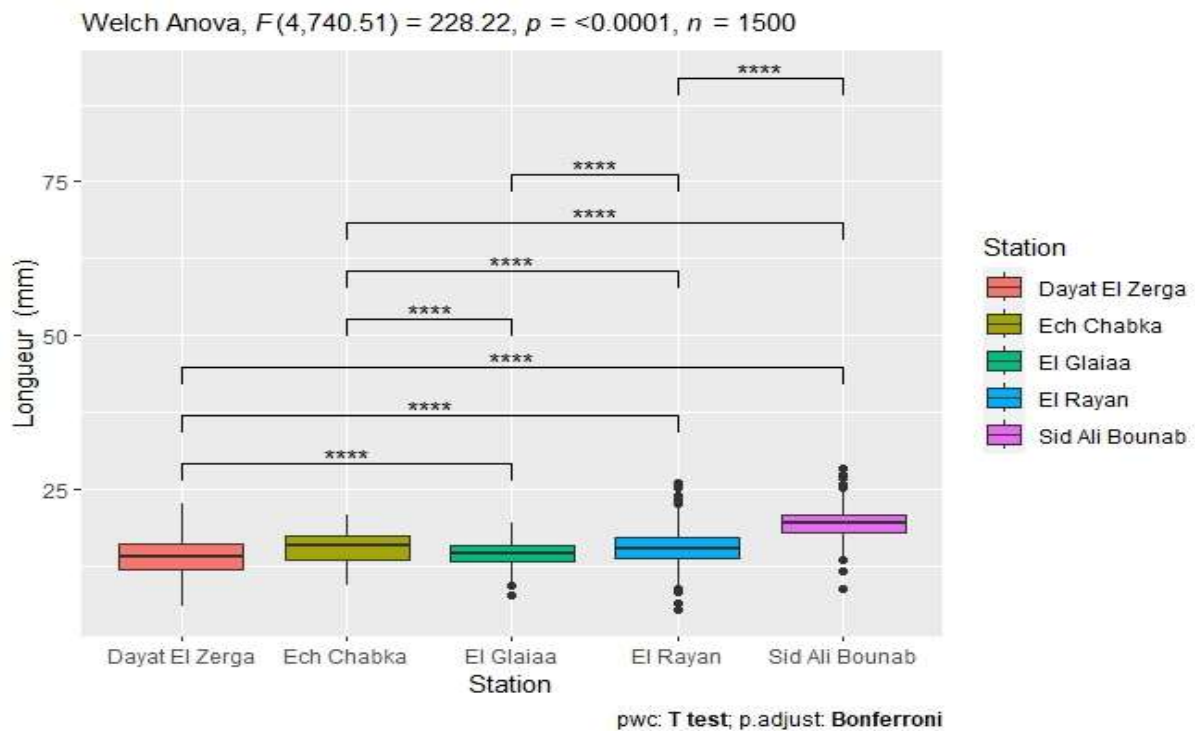
D'après tous ces résultats relatifs à la surface foliaire de *Z. lotus*, nous pouvons déduire que les valeurs importantes se retrouvent au niveau de la station la plus humide (Sid Ali Bounab ayant un bioclimat subhumide). En effet, le climat humide de cette station pourrait être le processus qui favorise les conditions optimales pour la croissance des feuilles. Les conditions climatiques subhumides sont généralement liées à des précipitations adéquates qui favorisent la croissance des plantes. D'après Lambers et *al.*, (2008), dans les milieux subhumides, une augmentation du taux de précipitation entraîne une meilleure disponibilité d'eau, ce qui entraîne une augmentation importante de la surface foliaire des plantes.

En ce qui concerne la valeur importante de la surface foliaire enregistrée à la station de El Rayan, celle-ci pourrait être expliquée par la localisation de cette station, qui se trouve à côté de plusieurs Oueds (Figure 7). En effet, le *Z. lotus* peut profiter d'un approvisionnement constant en eau tout au long de l'année dans les régions où une source d'eau est accessible. Cela diminue le manque d'eau et favorise une croissance constante des feuilles. Selon une étude faite par Rafiee et *al.*, (2020) sur le *Pistacia vera*, en zone aride, la surface foliaire des arbres irrigués était supérieure de 45 % à celle des arbres non irrigués. En outre, la présence du sable sous les pieds de *Z. lotus* pourrait être à l'origine du développement d'une biomasse racinaire importante permettant à la plante de puiser l'eau profonde et investir dans le développement de sa biomasse aérienne qui, à son tour, favoriserait la croissance de la plante et ainsi, la surface des feuilles.

Quant aux stations d'Ech Chabka, El Glaiaa et Dayet El Zarga, qui ont des feuilles de taille presque similaires et plus petites, le manque de ressources en particulier, l'eau et les nutriments, pourrait être à l'origine de la réduction de la surface des feuilles des plantes (Nobel, 2009).

### 1-4-La longueur des feuilles

Le tableau 3 relatif aux résultats de l'ANOVA de Welch montre que la longueur des feuilles de *Z. lotus* diffère significativement entre les cinq stations. Les résultats du test post-hoc, quant à eux, montre que la longueur des feuilles ne diffère pas entre la station de Dayet El Zerga et la station de Ech Chabka ( $p > 0.05$ ). Cela indique que la longueur des feuilles au niveau de ces deux stations est relativement homogène. Cependant, la différence avec les stations de El Rayan, El Glaiaa et Sid Ali Bounab est très hautement significative ( $p < 0.0001$ ) (Figure 10).



\*\*\*\* :  $p < 0.0001$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \* :  $p < 0.05$  ; ns :  $p > 0.05$

**Figure 10:** Les comparaisons multiples de la longueur des feuilles de *Z. lotus* entre les stations étudiées.

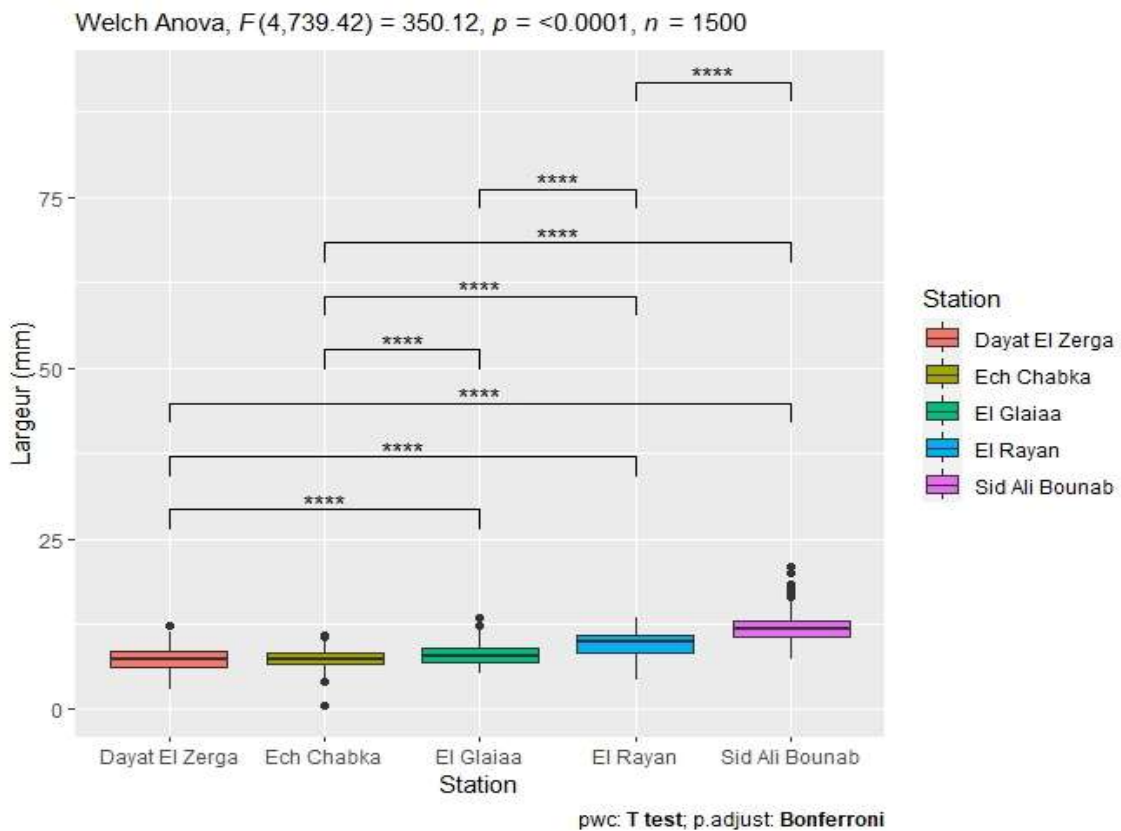
Nous avons également observé une différence très hautement significative de la longueur des feuilles entre la station de Ech Chabka et les stations de El Rayan, El Glaiaa et Sid Ali Bounab ( $p < 0.0001$ ). De même pour la station de El Glaiaa avec les stations de El Rayan, Ech Chabka et Dayet El Zerga. La longueur des feuilles entre la station El Rayan et toutes les autres stations présente une différence très hautement significative ( $p < 0.0001$ ). La différence de la longueur des feuilles est également très hautement significative entre la station Sid Ali Bounab et toutes les autres stations ( $p < 0.0001$ ), Dayet El Zerga, El Rayan et El Chebka. Par contre, la longueur des feuilles entre Sid Ali Bounab et El Glaiaa n'est pas statistiquement différente ( $p > 0.05$ ).

Les feuilles de *Z. lotus* la station de Sid Ali Bounab sont plus longues ( $19.6 \pm 2.45$  mm) que celles des autres stations étudiées (El Rayan avec  $15.6 \pm 3.10$  mm<sup>2</sup>, Ech Chabka avec  $15.5 \pm$

2.53 mm, El Glaiaa avec 14.4±2.12 mm et Dayet El Zarga avec 13.9 ± 3.87 mm) (Tableau 3). Cela peut être attribué au climat subhumide de Sid Ali Bounab, qui favorise une croissance plus efficace des feuilles grâce à une disponibilité d'eau plus constante et des conditions environnementales plus favorables. D'après une étude menée par Smith et *al.*, (2020), il a été démontré que les stations situées au climat subhumide présentent des feuilles de *Z. lotus* nettement plus longs que celles des stations au climat plus aride ou semi-aride. Ceci a été également confirmé par Houma et *al.*, (2022) qui ont démontré que la station de Belkhir, caeractérisée par un étage bioclimtique subhumide, présentent les feuilles les plus longues et les plus larges de *Z. lotus*.

**1-5-La largeur des feuilles**

La représentation graphique ci-dessous illustre les résultats du test post-hoc de bonferroni appliqué aux données de la largeur foliaire des sujets de *Z. lotus* échantillonnés au niveau des stations étudiées. Ces résultats montrent que le degré de significativité et l'emplacement des différences de la largeur des feuilles entre les stations sont identiques à ceux de la longueur des feuilles.



**Figure 11:** Les comparaisons multiples de la largeur des feuilles de *Z. lotus* entre les stations étudiées.

Selon les résultats des valeurs moyennes de la largeur, nous constatons une différence très hautement significative entre Sidi Ali Bounab et les autres stations. En outre, les feuilles sont plus larges au niveau de la même station ( $12.0 \pm 2.00$  mm) comparativement à celle de El

Rayan ( $9.50 \pm 1.94$  mm). La largeur foliaire des stations de Dayat El Zerga, Ech Chabka et El Rayan présentent, respectivement, des valeurs moyennes de  $7.40 \pm 1.66$  mm,  $7.44 \pm 1.18$  mm et  $7.95 \pm 1.47$  mm.

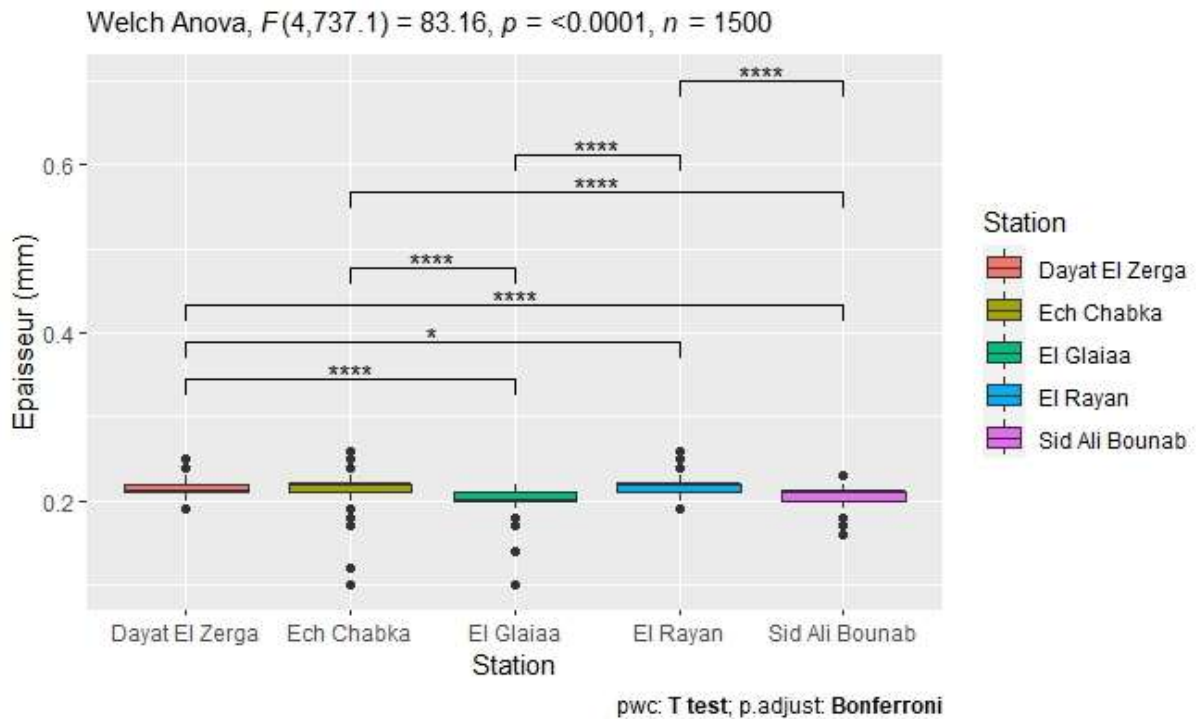
Les plus grandes feuilles de Sidi Ali Bounab peuvent témoigner d'une capacité d'adaptation accrue afin de maximiser la capture de la lumière. En effet, Nelson et *al.*, (2016) ont démontré que les feuilles les plus larges sont souvent liées à une meilleure adaptation à des environnements riches en ressources. Par ailleurs, les plantes des zones humides ont tendance à conserver une turgescence cellulaire élevée grâce à l'accès à une quantité adéquate d'eau. Cela favorise une augmentation de l'expansion cellulaire, ce qui permet aux feuilles de grandir (Tyree et *al.*, 2003), de plus, les conditions humides contribuent à diminuer le stress hydrique et la transpiration des feuilles. Ce qui favorise le développement des feuilles sans risque de déshydratation excessive entraînant ainsi, une taille accrue des feuilles (Bazzaz et *al.*, 1987).

### 1-6-L'épaisseur des feuilles

L'analyse ANOVA de Welch a montré une différence très hautement significative entre les stations étudiées. Lors des comparaisons multiples des résultats, nous avons constaté qu'il existe une différence très hautement significative ( $p < 0.0001$ ) entre Dayat El Zerga et les deux stations de El Glaiaaa et de Sid Ali Bounab. Neanmoins avec El Rayan, la différence est significative ( $p < 0.05$ ) (Figure 12). L'absence de différence significative avec la station d'Ech Chabka montre que ces deux stations présentent des feuilles avec des épaisseurs relativement semblables.

Nous constatons que la différence est très hautement significative entre Ech Chabka et les deux stations El Glaiaaa et Sidi Ali Bounab ( $p < 0.0001$ ). En revanche, Ech Chabka et les deux stations (El Rayan et Dayat El Zerga), la différence est non significative. Ceci dit que ces trois stations présentent des valeurs relativement homogènes et ce sont les plus élevées :  $0.214 \pm 0.01$  mm à Dayat El Zerga,  $0.215 \pm 0.017$  mm à Ech Chabka et  $0.216 \pm 0.012$  mm à El Rayan.

Les valeurs élevées de l'épaisseur des feuilles de *Z. lotus* expriment l'adaptation de la plante à des conditions environnementales particulières. En effet, les feuilles les plus épaisses sont fréquemment liées à des environnements arides qui requièrent une meilleure préservation de l'eau (Ortiz et *al.*, 2015), les feuilles épaisses ont souvent une cuticule plus épaisse et une densité stomatique réduite. Ce qui réduit la perte d'eau par transpiration. Les feuilles épaisses peuvent également être caractérisées par un mésophylle ayant un nombre assez élevé de couches qui sont-elles mêmes épaisses. Cela peut entraver, par conséquent, la photosynthèse puisqu'un mésophylle épais réduit considérablement la diffusion du  $\text{CO}_2$  au niveau de ses couches inférieures et provoque ainsi, un auto-ombrage des chloroplastes (Pérez-Harguindeguy et *al.*, 2016).



\*\*\*\* :  $p < 0.0001$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \* :  $p < 0.05$  ; ns :  $p > 0.05$

**Figure 12:** Les comparaisons multiples de l'épaisseur des feuilles de *Z. lotus* entre les stations étudiées.

### 1-7-L'indice SLA (Specific Leaf Area)

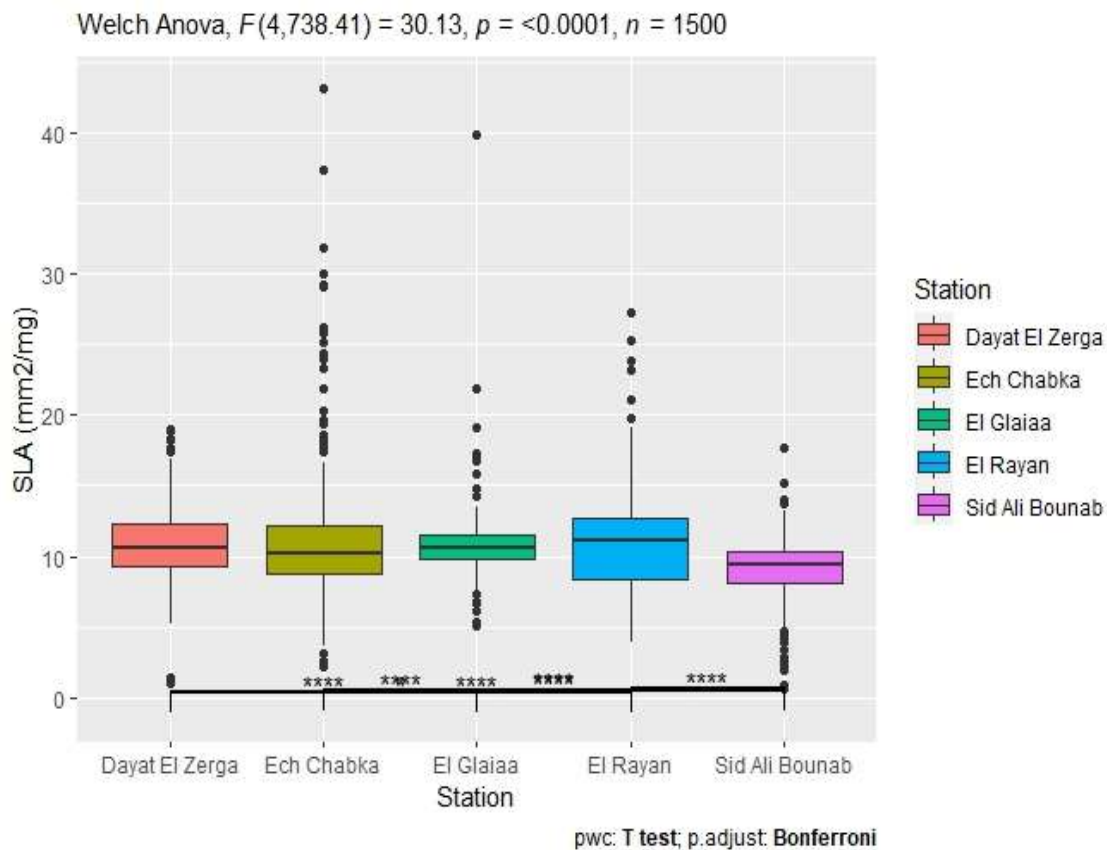
Le tableau 3 des résultats du test ANOVA de Welch a permis de noter une différence très hautement significative de la valeur de la SLA de l'espèce *Ziziphus lotus* dans les différentes stations échantillonnées.

Les résultats montrent que les données de la SLA des stations appartenant aux étages bioclimatiques aride et semi-aride (Dayat El Zerga, El Chebka, El Glaiaa et El Rayan) ne présentent pas une différence significative entre elles ( $p > 0.05$ ). Cependant, la station qui se trouve dans l'étage bioclimatique subhumide (Sid Ali Bounab) présente une différence très hautement significative avec toutes les autres stations ( $p < 0.0001$ ) (Tableau 6, Figure 13) et présente la valeur la plus basse avec  $9.08 \pm 2.32 \text{ mm}^2/\text{mg}$ .

**Tableau 6:** Les comparaisons multiples de l'indice SLA des feuilles de *Z. Lotus* entre les stations

Station	Dayet El Zarga	El Chebka	El Glaiaa	El Rayan	Sid Ali Bounab
Dayet El Zarga	-	1 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	5.8e <sup>-9****</sup>
El Chebka	1 <sup>ns</sup>	-	1 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	4.7e <sup>-13****</sup>
El Glaiaa	1 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	-	1 <sup>ns</sup>	6.7e <sup>-09***</sup>
El Rayan	1 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	-	1.0e <sup>-09***</sup>
Sid Ali Bounab	5.8e <sup>-9****</sup>	4.7e <sup>-13****</sup>	6.7e <sup>-09****</sup>	1.0e <sup>-09****</sup>	-

\*\*\*\* : p < 0.0001 ; \*\*\* : p < 0.001 ; \*\* : p < 0.01 ; \* : p < 0.05 ; ns : p > 0.05



**Figure 13:** Les différences de l'indice SLA de *Z. lotus* entre les stations étudiées.

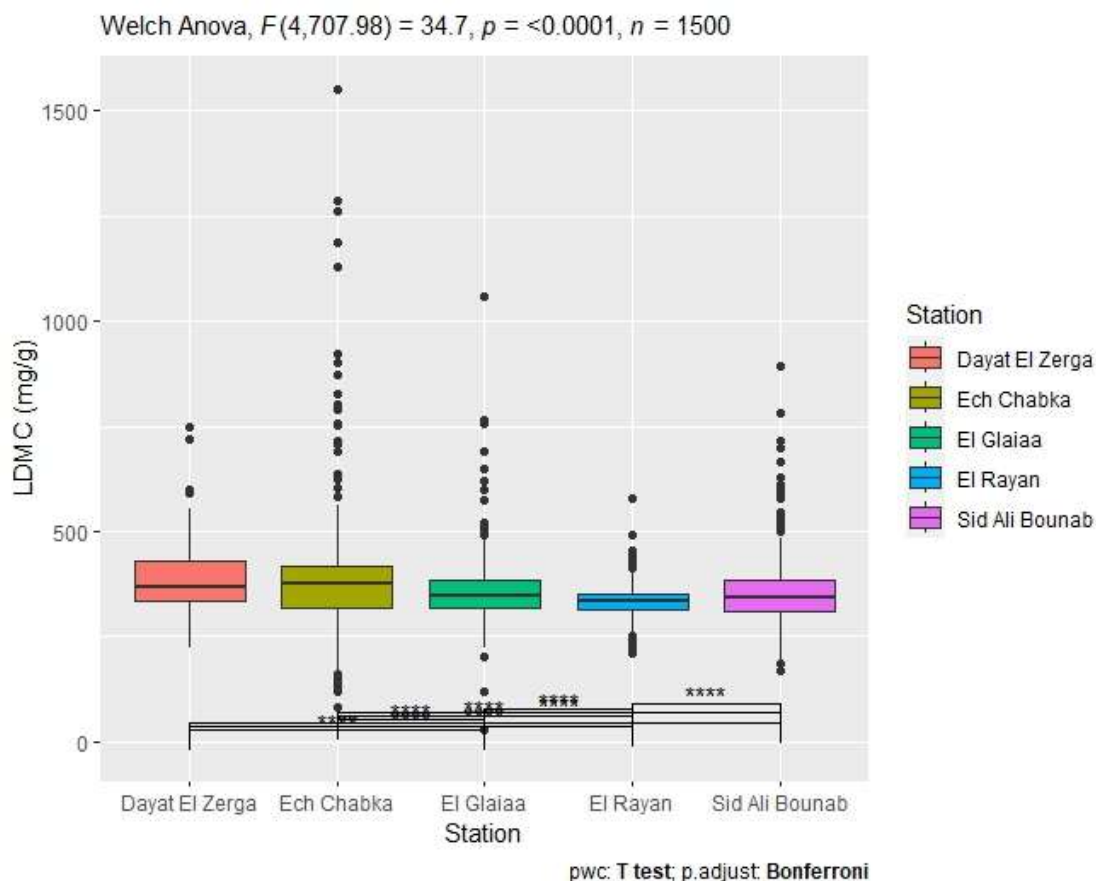
L'absence de la différence significative de la SLA ont montré que ces résultats pourraient être expliqués par la similarité des conditions environnementales telles que la température, la disponibilité en eau, la lumière et aussi les conditions édaphiques (Wright et al., 2004).

La faible valeur de l'indice SLA, rapport entre la surface foliaire et la masse sèche des feuilles, au niveau de la station de Sid Ali Bounab pourrait être expliquée par le fait que le poids initial (frais) des feuilles de *Z. lotus* est constitué majoritairement d'eau. En effet, les feuilles qui contiennent une grande quantité d'eau ont tendance à présenter une valeur de SLA plus faible, car une grande partie de leur poids est liée à l'eau (White *et al.*, 2016).

### 1-8-L'indice LDMC (Leaf Dry Matter Content)

Les résultats de l'ANOVA de Welch montrent une différence très hautement significative des valeurs moyennes de l'indice LDMC entre les stations ( $p < 0.0001$ ).

Selon la comparaison multiple de Bonferroni, nous constatons qu'il existe une différence significative entre Dayat El Zerga et les stations de Sid Ali Bounab et El Glaiaa ( $p < 0.05$ ) et une différence très hautement significative avec la station de El Rayan ( $p < 0.0001$ ), mais aucune différence significative avec la station de Ech Chabka (Figure 14, Tableau 7).



**Figure 14:** Les comparaisons multiples de l'indice LDMC de *Z. lotus* entre les stations.

Par ailleurs, nous avons noté une différence très significative ( $p < 0.01$ ) entre El Glaiaa et Ech Chabka et cette dernière avec Sid Ali Bounab. Les résultats mentionnés au niveau du tableau 7 et illustrés par la figure 14 indiquent également qu'il n'y a pas de différence significative

entre El Rayan et El Glaiaa. Les feuilles de la station Sid Ali Bounab présentent une différence de LDMC significative avec Dayet El Zarga ( $p < 0.05$ ) et très significative avec El Chbeka ( $p < 0.001$ ), tandis qu'aucune différence significative avec El Rayan et El Glaiaa ( $p > 0.05$ )

**Tableau 7:** Les comparaisons multiples de l'indice LDMC des feuilles de *Z. Lotus* entre les

Station	Dayat El Zarga	El Chebka	El Glaiaa	El Rayan	Sidi Ali Bounab
Dayat El Zarga	-	1.00000 <sup>ns</sup>	0.01687 <sup>*</sup>	3.7 <sup>e</sup> -08 <sup>****</sup>	0.01223 <sup>*</sup>
El Chebka	1.00000 <sup>ns</sup>	-	0.00048 <sup>***</sup>	9.8 <sup>e</sup> -11 <sup>****</sup>	0.00032 <sup>***</sup>
El Glaiaa	0.01687 <sup>*</sup>	0.00048 <sup>***</sup>	-	0.05400 <sup>ns</sup>	1.00000 <sup>ns</sup>
El Rayan	3.7 <sup>e</sup> -08 <sup>****</sup>	9.8 <sup>e</sup> -11 <sup>****</sup>	0.05400 <sup>ns</sup>	-	0.07165 <sup>ns</sup>
Sidi Ali Bounab	0.01223 <sup>*</sup>	0.00032 <sup>***</sup>	1.00000 <sup>ns</sup>	0.07165 <sup>ns</sup>	-

\*\*\*\* :  $p < 0.0001$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*

:  $p < 0.05$  ; ns :  $p > 0.05$

Les feuilles de la station de Ech Chabka présentent un indice LDMC plus élevé, ce qui suggère que ce sont des feuilles plus denses et probablement plus résistantes à la déshydratation. Ces résultats sont semblables à ceux de Wilson et *al.*, (2013), qui ont démontré que des LDMC élevés sont fréquemment liés à des environnements stressants qui exigent une conservation optimale de l'eau.

## 2-Relation des traits fonctionnels étudiés avec l'aridité

Selon les résultats obtenus dans ce mémoire, nous pouvons déduire que l'aridité climatique n'a pas toujours un impact direct sur les traits fonctionnels des plantes. En effet, nos résultats montrent une certaine adaptation de quelques traits à un gradient croissant de l'aridité (divers étages bioclimatiques). Les fluctuations observées dans des paramètres tels que la hauteur, la largeur de la canopée, ainsi que la largeur, l'épaisseur, la longueur et la surface des feuilles, les indices SLA et LDMC, permettent de constater que c'est les conditions du microclimat sont souvent cruciales dans le déterminisme de l'adaptation à l'aridité. Effectivement, certains microclimats particuliers, générés par des éléments locaux tels que l'ombrage, l'irrigation régulière ou la présence de zones inondées, peuvent avoir une influence importante sur la croissance et les caractéristiques des plantes, peu importe les conditions bioclimatiques. Par exemple, dans notre travail sur le *Z. lotus*, nous avons observé que certains sujets situés dans des régions où l'humidité est constante ou où l'irrigation est régulière présentaient des caractéristiques fonctionnelles différentes de celles qui étaient exposées à des conditions plus sèches. Dans une zone inondée, le pied 1 de la station Dayet El Zarga présentait des hauteurs et des largeurs plus élevées, par rapport aux plantes dans des zones plus sèches. De la même manière, le pied 6 de la station Sid Ali Bounab, qui se trouvait à proximité d'une maison avec

une irrigation quotidienne, présentait des caractéristiques similaires, avec une augmentation en largeur.

Selon García et Martínez (2019), l'ombrage et l'irrigation ont des effets sur la croissance des plantes, ce qui est similaire à nos observations sur le *Z. lotus*. Ils ont mis en évidence que les microclimats propices, comme ceux générés par l'irrigation régulière ou l'inondation temporaire suite à une pluie, peuvent entraîner des croissances importantes des traits de *Z. lotus*, peu importe les niveaux d'aridité. Des résultats similaires ont été obtenus concernant la variation des caractéristiques fonctionnelles des plantes selon les variations climatiques, mettant en évidence que les conditions locales, telles que l'exposition à l'ombre ou à des zones inondées, peuvent avoir un impact significatif sur les caractéristiques morphologiques des espèces végétales (Smith et Jones, 2018).

En prenant en compte tous ces résultats, nous pouvons dire que notre travail renforce l'hypothèse que les différences observées dans les caractéristiques des plantes de *Z. lotus* peuvent être attribuées aux microclimats particuliers rencontrés le long de notre gradient d'aridité étudié. Cela laisse entendre qu'il est primordial de prendre en compte non seulement les facteurs macro climatiques, mais aussi les micros habitats locaux qui peuvent avoir une influence significative sur les réponses des plantes aux conditions environnementales.

### 3- Corrélations entre les huit variables étudiées

Les résultats de l'analyse des corrélations entre les différents traits de *Z. Lotus* sont représentés au niveau de la matrice de corrélation (Figure 15, Annexe 2). Ces résultats montrent une forte corrélation positive entre la longueur et la largeur des feuilles ( $r = 0.73$ ), entre la surface foliaire et la largeur des feuilles ( $r = 0.72$ ) et aussi entre la surface la longueur des feuilles ( $r = 0.68$ ). Une forte corrélation positive a été également notée entre la hauteur et la largeur de *Z. lotus* ( $r = 0.53$ ). D'autres corrélations positives, mais très faibles, ont été enregistrées telles que la corrélation entre la surface foliaire et la SLA ( $r = 0.15$ ), la corrélation de la hauteur avec l'épaisseur ( $r = 0.15$ ), avec la longueur ( $r = 0.09$ ), avec la largeur ( $r = 0.16$ ) et avec la surface foliaire ( $r = 0.14$ ).

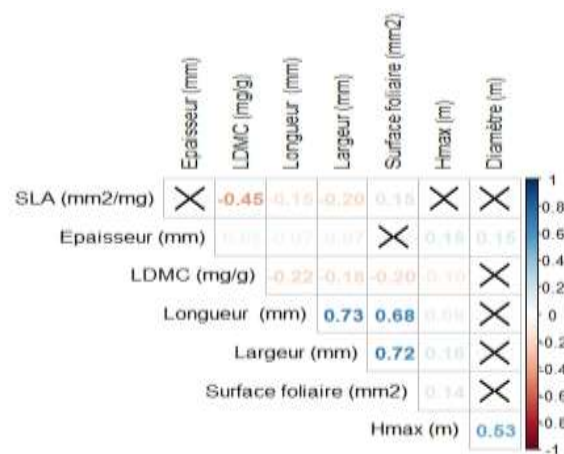
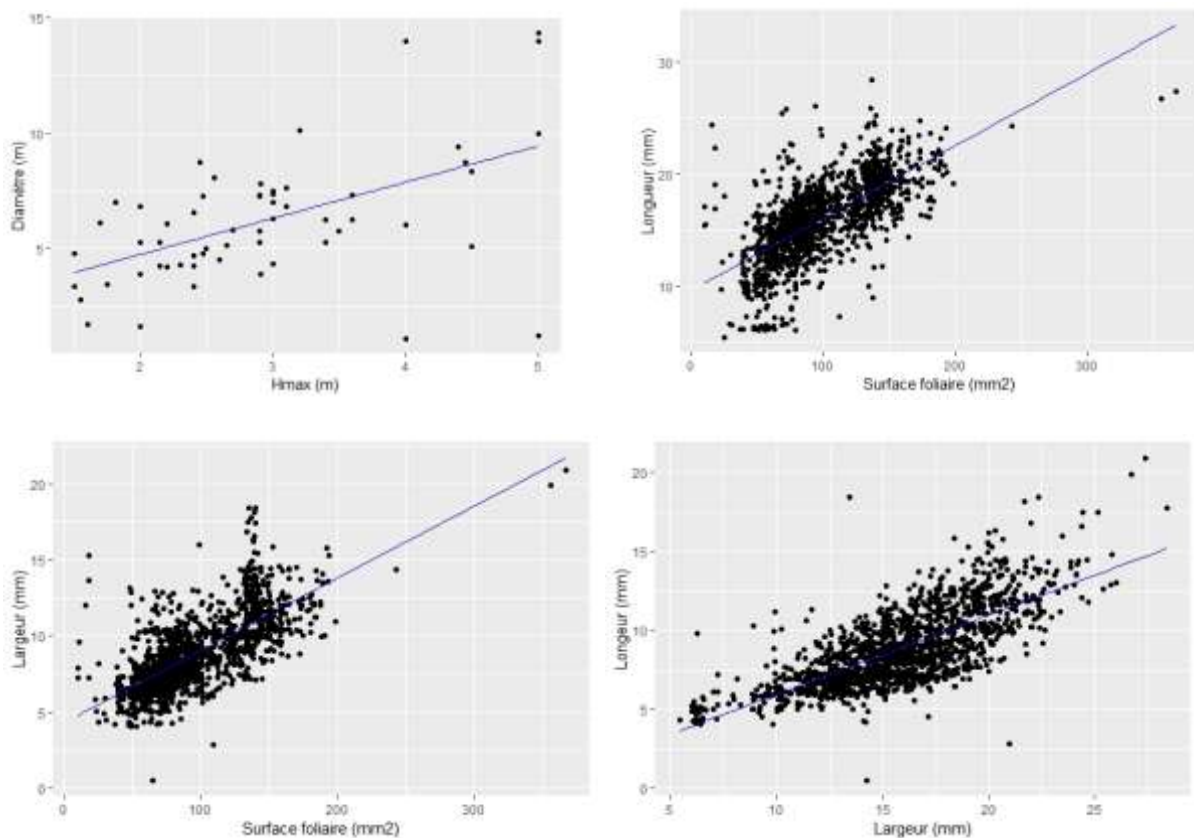
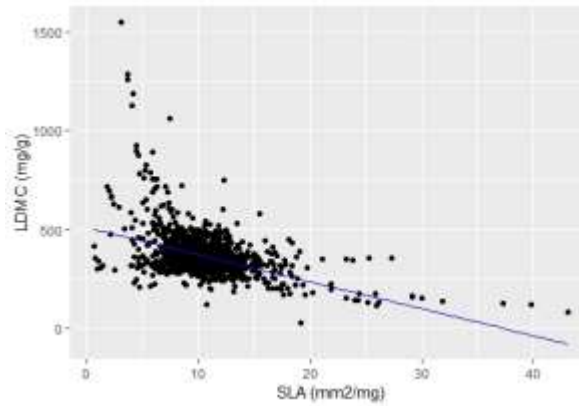


Figure 15 : Matrice de corrélation entre les variables étudiées.

La matrice de corrélation montre également une forte relation négative entre les indices SLA et LDMC avec un coefficient de corrélation  $r = -0.45$ . Cette forte corrélation ainsi que les autres corrélations positives décrites ci-dessus, sont également illustrées au niveau de la figure 16.

En outre, nous avons noté la présence de faibles corrélations négatives significatives. Nous pouvons citer l'exemple de la corrélation entre la longueur de la feuille avec la SLA ( $r = -0.15$ ), avec l'épaisseur foliaire ( $r = -0.07$ ) et avec la LDMC ( $r = -0.22$ ). De même pour la largeur des feuilles avec l'épaisseur, la SLA et la LDMC. Une corrélation négative entre la surface foliaire et l'indice LDMC ( $r = -0.20$ ) et entre la hauteur de *Z. lotus* et l'indice LDMC. Par ailleurs, aucune corrélation significative (les croix noires marquées sur la matrice), n'a été enregistrée entre l'épaisseur et SLA, la hauteur et la SLA, la largeur et la SLA, le surface foliaire et l'épaisseur, etc.



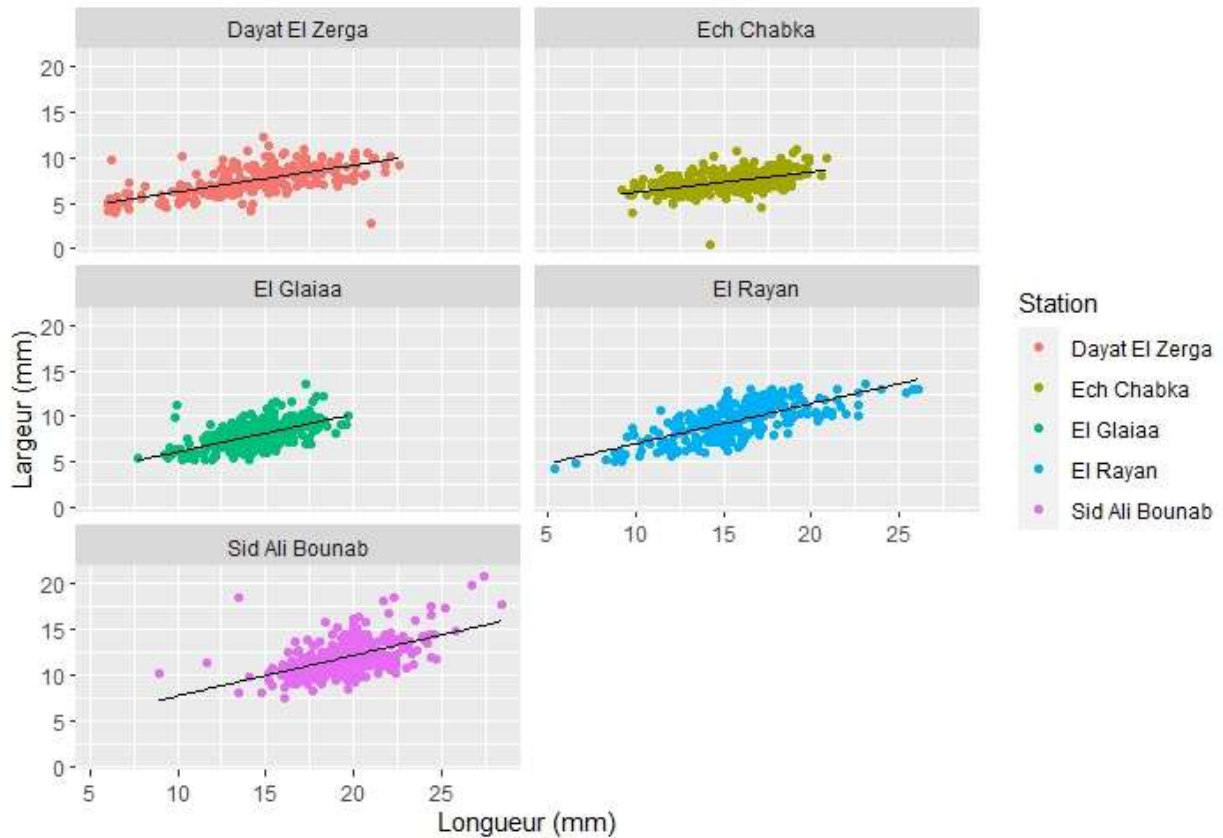


**Figure 16 :** Représentation des cinq corrélations les plus fortes enregistrées entre la variable étudiée.

### 3-1- Représentation des fortes corrélations

#### 3-1-1- La corrélation positive de la longueur (mm) et la largeur (mm) foliaires de *Z. lotus*

Les corrélations positives enregistrées entre la longueur et la largeur, illustrées par la figure 17, peuvent être attribuées à la structure morphologique des feuilles, où les feuilles plus grandes tendent à être à la fois plus longues et plus larges. En effet, la croissance de la feuille est souvent proportionnelle dans les deux grandeurs. Cette relation est fréquente dans la plupart des espèces de plantes, car les feuilles qui s'allongent ont aussi tendance à s'élargir afin de maintenir une forme proportionnelle et fonctionnelle (Niinemets et Sack, 2006). Ce qui témoigne d'une adaptation morphologique visant à maximiser la surface d'échange pour la photosynthèse (Cornelissen et *al.*, 2003).



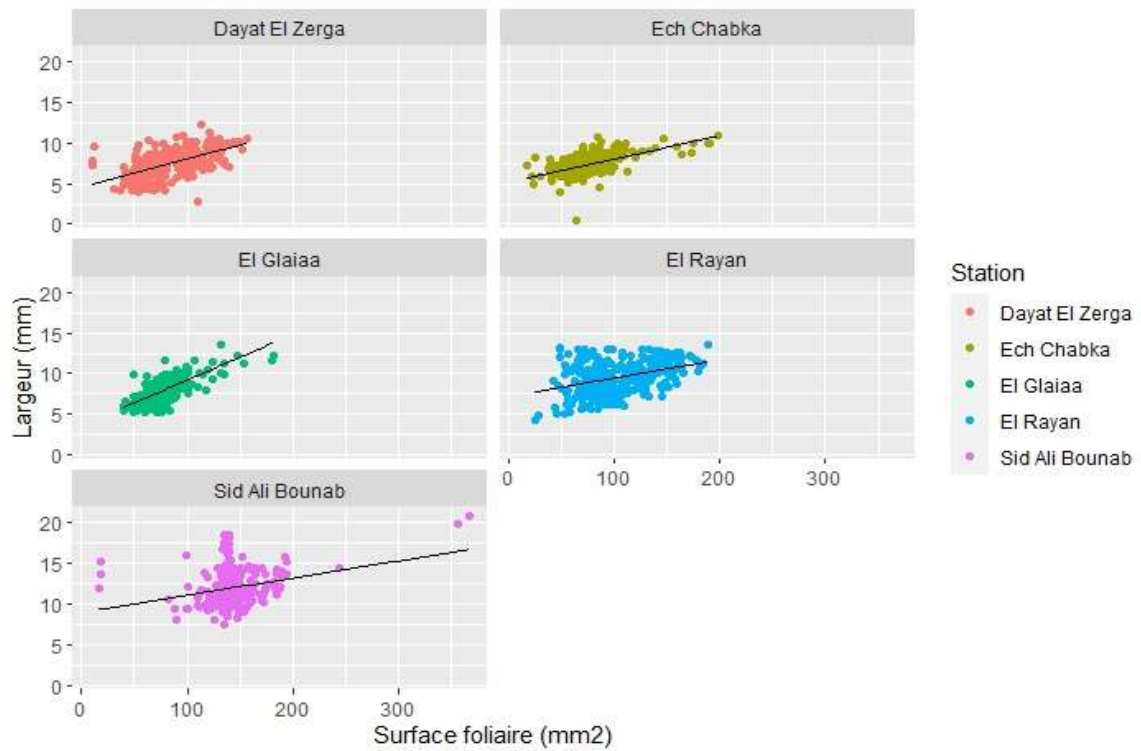
**Figure 17 :** Représentation de la relation entre la longueur (mm) et la largeur (mm) foliaires de *Z. lotus* au niveau de chaque station.

### 3-1-2- La corrélation positive de la surface (mm<sup>2</sup>) et la largeur (mm) foliaires de *Z. lotus*

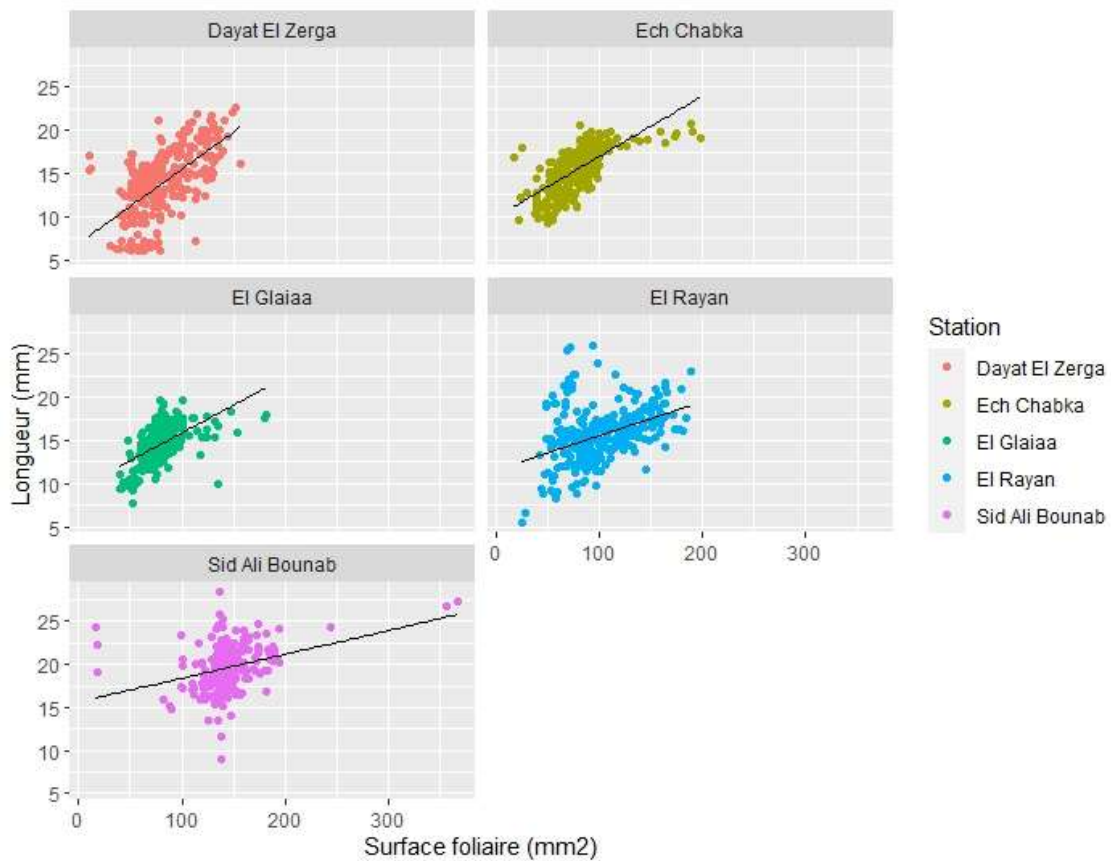
La figure 18 montre la corrélation entre la surface des feuilles et leur largeur au niveau de chaque station. Les feuilles plus larges ont une surface plus élevée, ce qui explique la présence d'une droite ascendante. La relation entre ces deux éléments est due à la structure des feuilles puisqu'une augmentation de la largeur entraîne automatiquement une augmentation de la surface totale (Smith et *al.*, 2023), les recherches sur la morphologie des feuilles montrent fréquemment une corrélation positive entre la largeur et la surface des feuilles, car les deux dimensions (longueur et largeur) participent ensemble à la surface totale de la feuille (Wright et *al.*, 2014).

### 3-1-3- La corrélation positive entre la surface (mm<sup>2</sup>) et la longueur (mm) foliaires de *Z. lotus*

La relation entre la surface foliaire et la longueur des feuilles de *Z. lotus* est illustrée au niveau de la figure 18 et suggère que les feuilles les plus longues ont tendance à présenter une surface foliaire plus élevée. Cela s'explique par le fait qu'une feuille plus longue devrait avoir une surface plus grande afin de maximiser la photosynthèse.



**Figure 18 :** Représentation de la relation entre la surface ( $\text{mm}^2$ ) et la largeur (mm) foliaires de *Z. lotus* au niveau de chaque station.

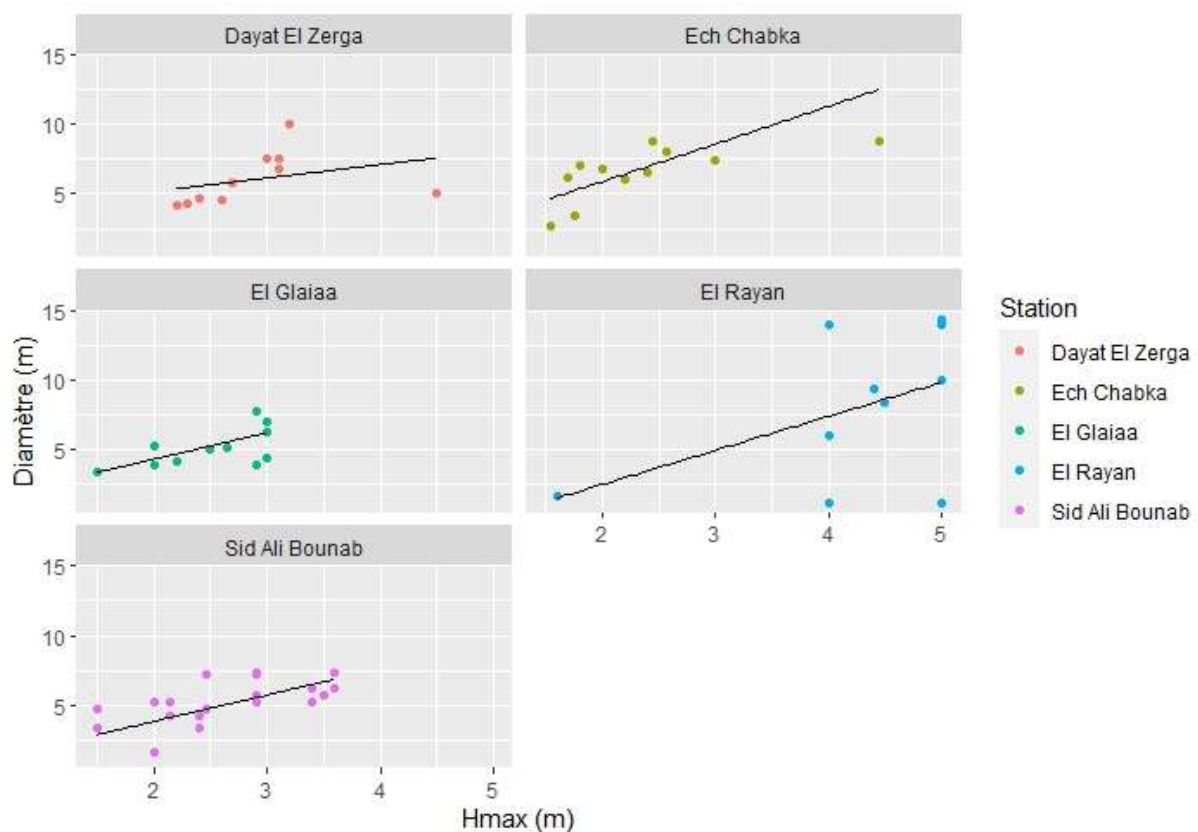


**Figure 19:** Représentation de la relation entre la surface ( $\text{mm}^2$ ) et la longueur (mm) foliaires de *Z. lotus* au niveau de chaque station.

La longueur et la surface foliaire sont souvent corrélées de manière positive dans des études sur la morphologie des feuilles de différentes espèces végétales. Cette relation est particulièrement évidente, notamment au niveau des milieux caractérisés par une lumière abondante (Niinemets, 1999).

### 3-3-4- La corrélation positive entre $H_{max}$ (m) et la largeur (m) de *Z. lotus*

La relation entre la hauteur maximale ( $H_{max}$ ) de *Z. lotus* et leur largeur dans les différentes stations sont illustrée dans la figure 20. Une ligne ascendante indique une corrélation positive et démontre que les arbustes les plus élevés ont tendance à avoir une largeur plus élevée. Il semble que la hauteur et la largeur augmentent de manière proportionnelle (Smith et al., 2023).



**Figure 20:** Représentation de la relation entre  $H_{max}$  (m) et largeur (m) de *Z. lotus* entre les stations.

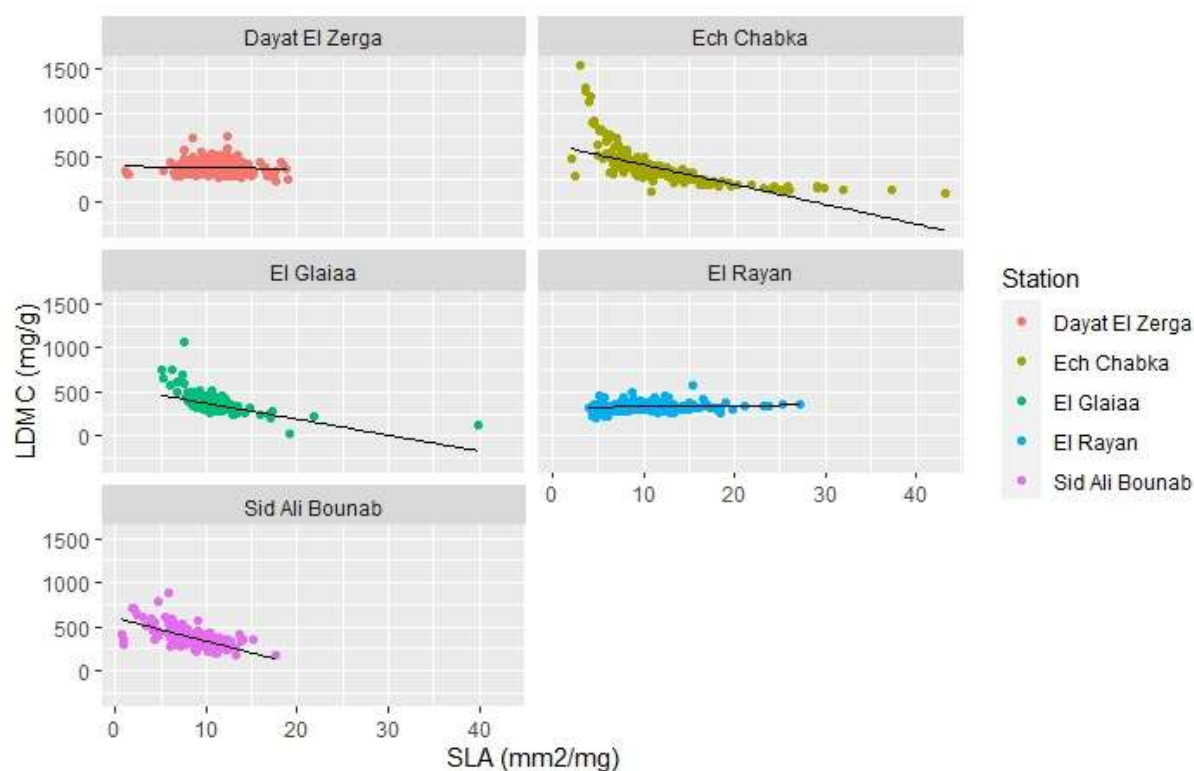
Nos résultats concordent avec ceux de Alados et El Aich (2008) qui, en réalisant une étude sur diverses espèces d'arbustes dans les zones arides, ont constaté une corrélation positive significative entre la hauteur maximale ( $H_{max}$ ) et la largeur. Dans l'ensemble, les résultats indiquent que les arbustes plus élevés ont généralement une largeur plus élevée, et par conséquent, une croissance proportionnelle entre ces deux paramètres. D'autres études, comme celle de Le Houérou (2006), a également constaté cette tendance, en analysant des espèces similaires dans des environnements arides et semi-arides. Il a confirmé que la hauteur et la largeur augmentent proportionnellement, ce qui témoigne d'une adaptation des plantes à optimiser l'utilisation des ressources disponibles.

### 3-1-5- La corrélation négative entre la SLA ( $\text{mm}^2/\text{mg}$ ) et la LDMC ( $\text{mg}/\text{g}$ ) de *Z. lotus*

La figure 21 montre la corrélation entre la surface des feuilles (SLA) et le contenu en matière sèche des feuilles (LDMC). Une corrélation négative

Entendre que les feuilles ayant une SLA élevée (grande surface par unité de masse) ont tendance à présenter un LDMC plus bas (contenu en matière sèche faible), ce qui peut être associé à des feuilles plus fines et moins denses.

La littérature écologique a bien établi la corrélation négative entre SLA et LDMC, avec des feuilles à SLA élevée souvent liées à des environnements favorisant la croissance rapide, tandis que des feuilles à LDMC élevé sont adaptées à des conditions de stress telle que l'aridité climatique (Wright *et al.*, 2004).



**Figure 21:** Représentation de la relation entre la SLA ( $\text{mm}^2/\text{mg}$ ) et la LDMC ( $\text{mg}/\text{g}$ ) de *Z. lotus* entre les stations.

### 3-2- Quelques exemples de faibles corrélations enregistrées entre les variables étudiées

#### 3-2-1-Corrélation entre l'épaisseur et l'indice LDMC

La corrélation positive de l'épaisseur des feuilles avec l'indice LDMC indique que des feuilles les plus épaisses sont plus dures et peuvent présenter un taux de matière sèche relativement supérieur. Il est possible que cela soit une adaptation à des conditions aux contraintes abiotiques, ce qui exige une plus grande résistance physique (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013-2016).

Selon une recherche menée par Villar et *al.*, (2006), il a été constaté que les feuilles plus épaisses et denses sont fréquemment liées à des environnements où la résistance aux herbivores et aux caractéristiques climatiques extrêmes est essentielle. Cela suggère que même une légère augmentation de l'épaisseur peut témoigner d'une stratégie adaptative des plantes pour survivre dans des conditions difficiles tel que l'aridité climatique pour notre travail.

### **3-2-2-Corrélation entre l'indice LDMC et la longueur foliaire**

La corrélation négative entre l'indice LDMC et la longueur foliaire peut s'expliquer par le fait que les feuilles les plus denses (indice LDMC élevé) sont souvent plus courtes, probablement afin de réduire le poids et maximiser l'efficacité structurelle. En effet, les feuilles courtes et denses sont plus courantes dans les environnements où la préservation de l'eau et la résistance aux contraintes physiques, comme les conditions arides, sont préoccupantes (Poorter et *al.*, 2009).

### **3-2-3-Corrélation entre la surface foliaire et la hauteur**

La très faible corrélation entre la surface des feuilles et la hauteur indiquerait que la hauteur de *Z. lotus* influence légèrement la surface de la feuille. Récemment, une étude évaluant la relation entre la hauteur de *Z. lotus* et la surface de ses feuilles a montré une corrélation positive très faible également. Ce qui permet de supposer que la hauteur de la plante pourrait avoir une légère influence sur la taille des feuilles (Garcia et *al.*, 2023).

### **3-3-L'absence de corrélation significative entre la SLA et l'épaisseur**

Le SLA ne présente aucune corrélation avec l'épaisseur des feuilles, ce qui signifie que l'épaisseur des feuilles n'affecte pas la surface spécifique des feuilles (SLA). Les feuilles peuvent ainsi avoir différentes épaisseurs sans provoquer des modifications de leur SLA. Selon une étude réalisée par Poorter et *al.*, (2009), les résultats ont montré l'absence de corrélation significative entre l'épaisseur des feuilles et le niveau de SLA au niveau de plusieurs espèces végétales.

**Conclusion**  
**Et perspective**

L'objectif principal de ce mémoire était de comprendre comment le *Ziziphus lotus* s'adapte aux variations d'aridité en utilisant ses traits fonctionnels. Plus précisément, nous avons essayé de connaître quels sont les traits morphologiques et fonctionnels qui permettent à cette espèce de survivre et de se développer dans des environnements très différents en ce qui concerne la disponibilité d'eau (aridité climatique ». Afin de réaliser ce travail, nous avons échantillonné cinq stations différentes : quatre stations à la wilaya de Djelfa (Dayat El Zerga, El chebka, El Glaiaa et El Rayan) et une station comparative à Tizi Ouzou (Sid Ali Bounab). Ces stations appartiennent à des étages bioclimatiques différents.

Nous avons constaté que l'aridité climatique n'a pas toujours un impact direct sur les traits fonctionnels des plantes. En effet, certains traits s'adaptent à un gradient croissant d'aridité, mais les fluctuations observées dans des paramètres tels que la hauteur, la largeur de la canopée ou les dimensions foliaires montrent que les conditions de microclimat sont souvent importantes pour l'adaptation à l'aridité. Certains microclimats particuliers générés par des éléments locaux comme l'ombrage, l'irrigation (Sid Ali Bounab) ou la présence de zones inondées (Dayat El Zerga et El Rayan) peuvent influencer significativement la croissance et les caractéristiques des plantes, indépendamment des conditions bioclimatiques. Cela a été observé chez *Z. lotus* où les individus situés dans des zones humides ou irriguées présentaient des traits fonctionnels différents de ceux exposés à une forte aridité climatique. Ces résultats renforcent l'hypothèse que les différences observées sont attribuables aux microclimats rencontrés le long du gradient d'aridité étudié, soulignant ainsi l'importance de prendre en compte non seulement les facteurs macroclimatiques, mais aussi les microhabitats locaux pour expliquer les variations de traits fonctionnels chez les plantes.

L'analyse des corrélations entre les traits fonctionnels de *Z. lotus* a révélé plusieurs relations significatives. Une forte corrélation positive a été observée entre la longueur et la largeur des feuilles, ainsi qu'entre la surface foliaire et ces deux dimensions, reflétant la structure proportionnelle des feuilles pour optimiser la photosynthèse. De même, la hauteur maximale et la largeur des arbustes sont positivement corrélées, indiquant une croissance proportionnelle de ces paramètres. À l'inverse, une forte corrélation négative a été mise en évidence entre l'indice de surface spécifique foliaire (SLA) et l'indice de teneur en matière sèche (LDMC). Quelques faibles corrélations, comme entre l'épaisseur et le LDMC, ou entre la longueur et le LDMC, suggèrent également des stratégies d'adaptation morphologique aux contraintes du milieu. Dans l'ensemble, ces résultats soulignent les syndromes de traits fonctionnels corrélés chez *Z. lotus*, en lien avec ses stratégies d'adaptation aux conditions arides.

Les résultats de ce mémoire ouvrent de nombreuses perspectives intéressantes pour mieux comprendre, valoriser et préserver le *Ziziphus lotus*. Il est important de prendre en compte l'étude de l'architecture de la biomasse aérienne (les branches) et de poursuivre les études sur la morphologie des épines, la forme des feuilles, leur structure et leur insertion sur le pétiole, la biomasse souterraine, etc. Cela permettrait de mieux appréhender les stratégies de survie de cette espèce. De plus, il serait important d'étudier de manière plus approfondie la structure des fruits et son lien avec les conditions de conservation et le climat. Nous suggérons aussi que des analyses statistiques plus détaillées soient faites afin de déterminer les interactions cumulées de plusieurs variables sur la différence des variables entre les stations étudiées.

# **Références bibliographiques**

- Aasamaa, K., et Sober, A. (2011). Stomatal responses to environmental factors in deciduous trees. *Tree Physiology*, 31(7), 739-749.
- 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.
- Abdoul-Azize S., Bendahmane M., Hichami A., Dramane G., Simonin A. M., Benammar C. and Khan N.A. (2013), Effects of *Ziziphus lotus* L. (Desf.) polyphenols on Jurkat cell signaling and proliferation. *International immunopharmacology*, 15(2), 364-371.
- Ahmed,M.,et El-Gendy, A. (2004). Growth responses of *Acacia raddiana* to different sand levels in the Sahara.
- Aiche, M.,et Ait Aissa, S. (2017). Ecophysiological responses of *Ziziphus lotus* to drought stress in semi-arid regions of Algeria. *Journal of Arid Environments*, 141, 34-42.
- Ait Mouheb.H, Kadik.L, Albert.C, Berrached.R, Prinzing.A.,(2017). How do steppe plants follow their optimal environmental conditions or persist under suboptimal conditions? The differing strategies of annuals and perennials. University of Sciences and Technology Houari Boumediene, Bab Ezzouar, Algiers, Algeria.
- Alados, C.L., et; El Aich, A. (2008). "Structure and dynamics of Mediterranean arid ecosystems." *Journal of Arid Environments*, 72(12), 2206-2219.
- Albert, C. H., Thuiller, W., Yoccoz, N. G., Soudant, A., Boucher, F., Saccone, P., et Lavorel, S. (2010). Intraspecific functional variability: Extent, structure and sources of variation. *Journal of Ecology*, 98(3), 604–613.
- Amara, M., and K. Benabdeli. 2020. "Land Use/Land Cover Changes in the Tlemcen Region (Algeria) and Classification of Fragile Areas." *Sustainability* 13(14):7761.
- Ansari S.H., Bhatt D., Masihuddin M.and Khan M.U., (2006) - The wound healing and herbal drugs. *In: Herbal Drugs. Jay Pee Publication, New Delhi*; 460-468.
- Armstrong, R.A., Eperjesi F., Gilmartin B., (2002). The application of analysis of variance (ANOVA) to different experimental designs in optometry. *Ophthal. Physiol. Opt.*, 22, 248–256.
- Arndt, S. K., Clifford, S. C., Wanek, W., Jones, H. G., et Popp, M. (2001). Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought in a semi-arid habitat. *Tree Physiology*, 21(11), 705-715.
- Arnold, A. E. (2007). Understanding the diversity of foliar fungal endophytes : progress, challenges, and frontiers. *\*Fungal Biology Reviews\**, 21(2-3), 51-66. - Clay, K., et Holah, J. (1999). Fungal endophyte symbiosis and plant diversity in successional fields. *\*Science\**, 285(5434), 1742-1744.
- Asatryan A., Tel-Zur N., (2014). Intraspecific and interspecific crossability in three *Ziziphus* species (Rhamnaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61:215–233.

- Aspenström-Fagerlun B., Tallkvist J., Ilbäck N. G., et Glynn A. W. (2015). Oleic acid increases intestinal absorption of the BCRP/ABCG2 substrate, mitoxantrone, in mice. *Toxicology Letters*, 237 (2): 133-139.
- 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.
- Baali, L., et Bouazza, M. (2019). "Introduction et domestication de *Ziziphus mauritiana* dans les zones arides d'Algérie." *Journal of Agricultural Research*, 14(2), 45-58.
- Baba Aissa, F. (1999). Encyclopédie des plantes utilisées. Flore d'Algérie et du Maghreb—Substance végétale, Edition Librairie Moderne, Rouïba, 145p.
- Bakhtaoui, F. (2014). Impact des conditions édaphiques sur la répartition et la morphologie de *Ziziphus lotus* (L.) Lam. dans la région de Beni Mellal-Khénifra (Maroc). *Acta Botanica Gallica*, 161(2), 129-141.
- 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.
- Bayer E., et Butter K., 2000. Guide de la flore méditerranéenne. p280.
- Bazzaz, F. A., et Pickett, S. T. A. (1987). Plant physiology and ecological processes. In F. A. Bazzaz et S. T. A. Pickett (Eds.), *Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation* (pp. 3-26). Springer-Verlag.
- 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.
- Bellakhdar, J. (1997). La Pharmacopée Marocaine Traditionnelle, IbisPress, Paris, France.
- Ben Nasri-Ayachi M. and Nabli M., (1995). Pollen wall ultrastructure and ontogeny in *Ziziphus lotus* (L.) Lam. (Rhamnaceae). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 85: 85-98.
- Benabdeli, K., et Khanchoul, K. (2018). "Distribution et potentiel agroforestier de *Ziziphus mauritiana* en Algérie." *Études et Recherches sur les Forêts Algériennes*, 12(3), 33-45.
- Benammar C., Hichami A., Yessoufou A., Simonin A.M., Belarbi M., Allali H. and Khan N.A. (2010) - *Ziziphus lotus* L.(Desf.) modulates antioxidant activity and human T-cell proliferation. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10:54.
- Benammar, C., Baghdad, C., Belarbi, M., Subramaniam, S., Hichami, A., et Khan, A. (2014). Antidiabetic and antioxidant activities of *Ziziphus lotus* L aqueous extracts in Wistar rats. *Nutrition et Food Sciences*.

- Benchetrit, M., Hadjou, L., etamp; Boukhalfa, A. (2018). Climate variability and its impact on water resources in the Djurdjura Mountains, Northern Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(12), 716.
- Benhouhou S. (2005). Les Oasis du Sahara algérien : biodiversité et patrimoine génétique].
- Benhouhou, S. (2020). Climate change impacts on agriculture and water resources in Djelfa. *Journal of Arid Environments*, 173, 104055
- Benhouhou, S., Messaoudene, M., etamp; Houmani, Z. (2014). Floristic richness and Distribution in the Kabylie region, Algeria. *African Journal of Ecology*, 52(2), 173-183
- Bensaid, S., Hadeif, Y., etamp; Belkheiri, O. (2019). Impact of climate variability on hydrological and agricultural resources in Djelfa region, Algeria. *Environmental Earth Sciences*, 78(8), 1-12.
- Berrached.R, Kadik L, Ait Mouheb H et Prinzing.A.(2017)., Deep roots delay flowering and relax the impact of floral traits and associated pollinators in steppe plants, Sciences, University of Sciences and Technology Houari Boumediene, Bab Ezzouar, Algiers, Algeria, University Rennes 1., P(11).
- Borgi, W. (1986). *Les Plantes Dans la Médecine Traditionnelle Tunisienne : Médecine Traditionnelle et Pharmacopée*, Agence de Coopération Culturelle et Technique, Paris, France.
- Borgi, W., Ghedira, K., & Chouchane, N. (2007). Antiulcerogenic activity of *Ziziphus lotus* (L.) extracts. *Journal of Ethnopharmacology*, 112(3), 534-540.
- Boukef, K. *Les Plantes Dans la Médecine Traditionnelle Tunisienne : Médecine Traditionnelle et Pharmacopée*, Agence de Coopération Culturelle et Technique, Paris, France, (1986).
- Boumal, N., Vandereycken, B., & Pauwels, E. J. (2016). Nonconvex phase synchronization. *SIAM Journal on Optimization*, 26(4), 2431-2461.
- Brosse, J. (2000). *Larousse des Arbres et des Arbustes*. Lorange (Ed). Canada, 576P.
- Brown, T. B., Hultine, K. R., Steltzer, H., Denny, E. G., Denslow, M. W., Granados, J. ... et Morgan, T. J. (2018). Using phenocams to monitor our changing Earth: toward a global phenocam network. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(6), 346-353.
- Brown, T. B., Hultine, K. R., Steltzer, H., Denny, E. G., Denslow, M. W., Granados, J., ... et Morgan, T. J. (2018). Using phenocams to monitor our changing Earth: toward a global phenocam network. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(6), 346-353.
- Burrows I., 2005. *La nature comestible*. Delachaux et Neislé (Ed). Paris, 144p.
- Catoire Z. H. et Bouet, C. (1994). *Les Jujubiers ou le Ziziphus Fruits oubliés*.
- Catoire, C., Zuang 11, Bouet C. (1999). *Les Jujubies Les ziziphus fruit oublié*. Ghedira, K., Chemli, R., Caron, C., Nuzillard, J-M., Zeches, M., et Le Men Oliver, L. (1995). Four cyclopeptide oligopeptides From *Ziziphus lotus* phytochemistry 38(3), 767-772.

- 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, 239-264.
- Chevalier A., (1947). Les Jujubiers ou *Ziziphus* de l'Ancien monde et l'utilisation de leurs fruits. *J. D'agric. Tradit. Bot. Appliquée*, 301–302.
- Chitwood, D. H., Rundell, S. M., Li, D. Y., Woodford, Q. L., Yu, T. T., Lopez, J. R., et Greenblatt, D. (2016). Visualizing development: Comparative phenotyping of plant form. *Developmental Cell*, 39(5), 546-558.
- Chopda M.Z. et Mahajan R.T. (2009) -The wound healing plants of Jalgaon District, Maharashtra State, India. *Ethanobotanical leaflets* 13: 1-32.
- 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., Hamdi S., 2012: "Nutritional composition of *Ziziphus lotus* L. seeds, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(6), 1171–1177.
- Chung K.T. and Wei C.I. (2001), Are tannins a double edged sword in biology and health? *Trends in Food Science et Technology*, 9 :168-175.
- Claude, R. (2007). Le nom de l'arbre : le grenadier, le caroubier, le jujubier, le pistachier et l'arbousier. Actes sudleMajan, 1er edition France, 45-62.
- Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., 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.
- Cornwell, W.K., A.E. Zanne, D.C. Tank, J.M. Eastman, S.A. Smith, R.G. FitzJohn, D.J. McGlenn, D.L. O'Meara, and M.J. Moles. 2014. Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. *Nature*, 506(7486), 89-92.
- Dahlia-Mahieddine, Fatima. Analyse de la variabilité des fruits de quelques populations de jujubier sauvage (*Ziziphus lotus* L.Desf) en Algérie. Thèse de doctorat, Université IBN KHALDOUN-Tiaret. Page 6.
- Dahmani, A., et Guettou, M. (2020). "Caractérisation morphologique et écologique de *Ziziphus mauritiana* dans la région de Biskra." *Revue des Sciences Agronomiques*, 17(4), 213-229.
- Dillemann, G. et Paris, R. (1960). Les plantes médicinales des régions arides. Paris, UNESCO.
- Dupont, F., et Gugnord, J.L. (2015). *Botanique : les familles de plantes* : Elsevier Masson.
- 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.
- Emberger, L. et Chadeaud, M. (1960). *Traité de botanique systématique. Tome 2 : Les végétaux vasculaires*. Paris, Masson. 1530 p.
- Espiard E., (2002). *Introduction à la transformation industrielle des fruits*. Tec et doc(Ed). 360p.

- Fennane, M., et Ibn Tatou, M. (2005). Flore Pratique du Maroc, Manuel de Détermination des Plantes Vasculaires (Volume 1). Institut Scientifique, Université Mohammed V, Rabat, Maroc.
- García, E. F., et Martinez, G. H. (2019). Effects of shading and irrigation on plant growth: A case study of *Z. lotus* in arid regions. *Journal of Arid Environments*, 78(2), 112-125.
- Garcia, E., Martinez, L., et Sanchez, P. (2023). Correlation between plant height and leaf size in A comparative study. *Journal of Plant Ecology*, 40(2), 87-94.
- Gast M., Chaker S., (2004). (Jujubier », in Judaïsme – Kabylie, Aix-en-Provence, Edisud (Volumes », no 26).
- Ghalem M., Merghache S., Belarbi M., (2014). Study on the antioxidant activities of root extracts of *Ziziphus lotus* from the western region of Algeria. *Pharmacognosy Journal*, 6: (4), 32–42.
- Gharnit, N., El Mtili, N., Ennabili, A., et Sayah, F. (2010). Aspects de la phénologie fructifère du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans la région de Chefchaouen (NW Maroc). *Journal of Materials and Environmental Science*, 1(2), 107-113.
- Ghazghazi H., Aouadhi C., Riahi L., Maaroufi A., 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.
- Ghazi-Yaker.A, Kraak.B, Houbraken.J, Houali.K and Saadoun.N. (2022), Diversity of epiphytic and endophytic fungal communities associated with leaves of *Ziziphus lotus* (L.) Lam. from Algeria, P162-163.
- Ghedira, K. (2013). *Ziziphus lotus* (L.) Desf. (Rhamnaceae): jujubier sauvage. *Phytothérapie*, 11(3), 149-153.
- Ghedira, K., Chemli, R., Richard, B., Nuzillard, J. M., Zeches, M., et Le Men Olivier, L. (1993). Two cyclopeptide alkaloids from *Ziziphus lotus*. *Phytochemistry*, 32(6), 1591-1594.
- Glombitza K.W., MahranG.H., Mirhom Y.W., Michel K.G. andMtawi T.K. (1994) - Hypoglycemic andantihyperglycemiceffects of *Ziziphus spina-christi* in rats.*Planta-Media*,60: 244-247.
- Gnahoua G., Louppe D., (2003). Le jujubier de l’hyène. : <https://hal.archives-ouvertes.fr/cirad00429284/document>.
- Green, J.M.H., Croft, S.A., Durán, A.P., Balmford, A.P., Burgess, N.D., Fick, S., Gardner, T.A., Godar, J., Suavet, C., Virah-Sawmy, M., Young, L.E. and West, C.D. (2019). Linking global drivers of agricultural trade to on-the-ground impacts on biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(46), 23202-23208.
- Gueda Ba, S.H. (2005). Etude phytochimique et activités biologiques de *Ziziphus mauritiana* Lam.(Rhamnaceae) utilisé dans le traitement traditionnel du diabète et de l’hypertension artérielle en Mauritanie. Thèse de Doctorat. Univ d’Odonto-Stomatologie du Mali. P.147.

- Hadjou, L., Benchetrit, M., et ; Boukhalfa, A. (2017). Snow cover duration in the Djurdjura Mountains and its relationship with climate variables. *International Journal of Climatology*, 37(8), 3152-3162.
- Hammi K. M., Jdey A., Abdely C., Majdoub H., et Ksouri R., (2015). Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidant compounds from Tunisian *Ziziphus lotus* fruits using response surface methodology. *Food Chemistry*, 184, 80–89.
- Hammou, M. A., Mahboub, K., Benckekroun, F., Fennane, M., etamp; El Mousadik, A. (2013). Phylogeography of *Ziziphus lotus* (Rhamnaceae) across the Strait of Gibraltar.
- Houma Imen. Etude Eco botanique du jujubier (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.) Dans les zones arides et semi-arides En Algérie, Thèse de doctorat. Université ZIANE ACHOUR-Djelfa. Page18.
- Institut National de la Recherche Forestière (INRF) (2015). [Étude sur les espèces végétales adaptées aux zones arides].
- Jaurnda J S., Bal J.S., Josan J.S., Monn S.S., (1981). Ber Cultivation in Punjab. *Punjab Horticultural Journal*, 21:17-22.
- Jeyakumar S.M., Vijaya Kumar P., Giridharan N.V. and Vajreswari A. (2011).
- Johnson, David W., Miller, Philip R., Thompson, Sarah J., and Green, Emily L. (2015). "Nutrient Availability and Plant Growth in Arid Regions". *Soil Science Society of America Journal*, 79(3), 1038-1047.
- Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (2010). Source monitoring. *Psychological Bulletin*, 114(1), 3-28.
- Jones, A., Smith, B., et Johnson, C. (2018). Impact of microclimate variations on plant diameter in arid regions. *Journal of Arid Environment Studies*, 22, 345-360.
- Jürgen R., Paul S.,Ulrike S. andReinhard S. (2009), Essential oils of aromatic plants with antibacterial, antifungal, antiviral, and cytotoxic properties3 an overview. *ForschKomplementmed*.16 : 79-90.
- Kadik Achoubi l., (2005). Etude phytosociologie et phytoecologique des formations à pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) de l'étage bioclimatique semi-aride algérien. Thèse de doctorat.USTHB Alger.
- Kalinganire A et Koné B., (2011). *Ziziphus mauritiana*, jujubier. Conservation et utilisation durable des ressources génétiques des espèces ligneuses alimentaires prioritaires de l'Afrique subsaharienne. Bioversity International (Rome, Italie).
- Koné B, Kalinganire A et Doumbia M., (2009). La culture du jujubier : un manuel pour l'horticulteur sahélien. ICRAF Technical Manual no. 10. Nairobi: World Agroforestry Centre. Pp47.
- Koné B, Kalinganire A., Doumbia M., (2009). La culture du jujubier : un manuel pour l'horticulteur sahélien. ICRAF Technical Manual no.10. Nairobi: World Agroforestry Centre. Pp 47.
- Kriventsov, V. I., et Karakhanova, S. V. (1970). The rutin content of jujube fruits. *Byulleten'GosudarstvennogoNikitskogoBotanicheskogoSada*, (3 (14)), 57-59.
- L'APG IV (2016).

- 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.
- Lahlou, S., Le Bellu, S., et Nosulenko, V. (2007). C'est la vie en rose : Comment les environnements de travail conditionnent-ils la performance des employés ? *Le Travail Humain*, 70(3), 223-256.
- Lambers .H, Chapin F. Stuart III, and Pons, Thijs L. (2008). *Plant Physiological Ecology*. 2nd ed. Springe Nobel, Park S. (2009). *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. 4th ed. Academic Press.r, New York.
- Larjavaara, M., and; Muller-Landau, H. C. (2010). Rethinking the value of high wood density. *Functional Ecology*, 24(4).
- Le Houérou, H. N., Claudin, t, M. (1977). The ecology of the Mediterranean region. *Annals of .* 1-2), 99-134.
- Le Houérou, H.N. (2006). etquot;The role of biodiversity in the functioning of arid and semi-arid ecosystems.etquot; *Land Degradation etamp; Development*, 17(1), 1-12.
- Lemoine M., (2005). (D'une démarche professionnelle à une démarche scientifique : filiation puis autonomie de la recherche sur un terrain familier », *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ère nouvelle*. 38-43-59.
- Liu J, et al. (2009) The mechanochemistry of endocytosis. *PLoS Biol* 7(9): e1000204. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000204>[2]
- M.Ait-Kaci Ahmed (2013). Etude de la diversité végétale et de la dynamique spatiale dans la foret dz yakouren.
- Maciuk. A., Lavaud. C., Thepenier. P., Jacquier. M.-J., Ghedira. K., Zeches- Hanrot. M., (2004). Four new dammarane saponins from “*Ziziphus lotus*”, *Journal of Natural Products*, vol. 67, no. 10, pp. 1639–1643, 2004.
- 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.
- Malgras D., (1992). Arbres et arbustes guérisseurs des savanes maliennes. ACCT Karthala, 478p.
- Maraghni, M, Gorai, M., et Neffati, M., (2010). Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Ziziphus lotus*. *South African Journal of Botany*, 76 : 453–459.
- Médail.F , Quézel.P (2003). Conséquences écologiques possibles des changements climatiques sur la flore et la végétation du bassin méditerranéen.
- Monjauze A., 1968. Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. En Algérie. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Du N.* 56: 1–127.
- 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.
- Mueller-Dombois, D., et Ellenberg, H. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley et Sons.

- N. Pérez-Harguindeguy A., (2013). *New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide*
- Nebih Hadj-Sadok D., Hadroug S., Taoussi F., (2014). Activité nématocide in vitro des extraits aqueux des plantes médicinales ( *Artemisia campestris*, *Ziziphus lotus*, *Datura stramonium* et *Urginea maritima* ) sur des larves de Meloidogyne. AFPP– Dixième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier– 22 et 23 octobre 2014. 7p.
- Nedjraoui D. (2004). Carte de la végétation et occupation du sol de l'Algérie septentrionale (sud Méditerranéen)].
- Nelson, J. A., DeLucia, E. H., et Bernacchi, C. J. (2016). Plant physiology and climate change. In H. H. John et R. H. Maarten (Eds.), *Encyclopedia of Plant Physiology*, pp. 129-140. Springer-Verlag.
- Niinemets, P., et Fleck, S. (2002). Monitoring the impact of workspace design on employee satisfaction and productivity. *Journal of Environmental Psychology*, 22(2), 123-135.
- Niinemets, U. (1999). Research review: Components of leaf dry mass per area – thickness and density – alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. *New Phytologist*, 144(1), 35-47.
- Niinemets, Ü., et ; Sack, L. (2006). Structure versus physiology: within-species variation in leaf traits in relation to functional differentiation. *Trends in Plant Science*, 11(9), 412-416.
- Nobel, P. S. (2009). *Physicochemical and Environmental Plant Physiology* (4th ed.). Academic Press.
- Nour A.A.A.M., ALIA.O. et Ahmed AHR (1987). Chemical Study of *Ziziphus spinachristi* (No bag) fruits grown in Sudan. *Tropical Science*-27(4) : 271\_273).
- Office National des Statistiques (ONS). (2022). Superficie et population de la Wilaya de Djelfa.
- Ortiz, M., Brearley, F. Q., McNamara, N. P., et Ostle, N. J. (2015). Responses of soil microbial communities to Singleton and mixed species leaf litter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 77, 34-42.
- Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R., Anthony S., (2009). *Agroforestry Data base: a tree reference and selection guide version 4.0*. World Agroforestry Centre, Kenya.
- Ozenda P., (1991). *Flore et végétation du Sahara*. Edition du CNRS (3ème édition), Paris, France. 662p.
- Paquereau J., (2013). *Au jardin des plantes de la Bible : Botanique, Symboles et usages*. Ed. Forêt privée française, France. P 314.
- Pérez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., et Cornelissen, J. H. C. (2013). *New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide*. *Australian Journal of Botany*, 61(3), 167-234.

- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., ... et Cornelissen, J. H. C. (2016). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 64(8), 715-716.
- 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. *New Phytologist*, 182(3), 565-588.
- Poorter, H., and Nagel, O. (2009). The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO<sub>2</sub>, nutrients and water: a quantitative review. *Functional Plant Biology*, 37(6), 595-609.
- Preeti and Tripathi S. (2014), *Ziziphus jujuba*: A phytopharmacological review. *International Journal of Research and Development in Pharmacy and Life Sciences*. 3:959-966.
- Quézel P. et Santa S., (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et régions désertiques méridionales. Tome 2. CNRS, Paris ,565p.
- Quézel, P. et. Santa, S., (1962). Nouvelle flore de l'Algeria et des régions désertiques méridionales. Tome |C.N.R.S. Paris 420p.
- Quézel, P., et Santa, S. (1963). Nouvelle Flore de l'Algérie et des Régions Désertiques Méridionales. CNRS.
- Rafiee, M., et Pirbalouti, A.G. (2020). "Effect of irrigation on the growth and yield of *Pistacia vera* in arid regions". *Journal of Arid Environments*, 175, 1040-75. DOI : 10.1016/j.jaridenv.2020.104075.
- Raven, P. H., Evert, R. F., et ; Eichhorn, S. E. (2005). *Biologie végétale*. De Boeck.
- Reich, P. B., Walters, M. B., et Ellsworth, D. S. (1992). Leaf lifespan in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecological Monographs*, 62(3), 365-392.
- Reich, P. B., Walters, M. B., Tjoelker, M. G., Vanderklein, D., et Buschena, C. (1998). Photosynthesis and respiration rates depend on leaf and root morphology and nitrogen concentration in nine boreal tree species differing in relative growth rate. *Functional Ecology*, 12(3), 395-405.
- Rodriguez, R. J., et Redman, R. S. (2008). More than 400 million years of evolution and some plants still can't make it on their own: plant stress tolerance via fungal symbiosis. *Journal of Experimental Botany*, 59(5), 1109-1114.
- Rodriguez, R. J., White, J. F., Arnold, A. E., et Redman, R. S. (2009). Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist*, 182(2), 314-330.
- Rsaissi, N. et Bouchache, M., (2002). La lutte chimique contre le jujubier Programme national de transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA). DER D, (ED), Rabat.94P.
- Smith, A. B., et Jones, C. D. (2018). Influence of microclimatic conditions on plant functional traits along an aridity gradient. *Journal of Ecology*, 45(3), 210-225.
- Smith, Andrew et Jones, Benjamin (2017): "Adaptive Strategies in Plants of Sandy Environments". *Environmental Research Reviews*, 28(4), 567-582.

- Smith, C.J., R.J. Kramer, G. Myhre, K. Alterskjær, W. Collins, A. Sima, O. Boucher, J.-L. Dufresne, P. Nabat, M. Michou, S. Yukimoto, J. Cole, D. Paynter, H. Shiogama, F.M. O'Connor, E. Robertson, A. Wiltshire, T. Andrews, C. Hannay, R.L. Miller, L. Nazarenko, A. Kirkevåg, D. Olivié, S. Fiedler, R. Pincus, and P.M. Forster. 2020. Effective radiative forcing and adjustments in CMIP6 models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(16), 9591-9618. doi:10.5194/acp-20-9591-2020.
- Smith, J., Johnson, R., et Brown, A. (2023). Relationship between leaf width and leaf area in plant species. *Journal of Botanical Studies*, 15(2), 45-58.
- Su B.N.C.M., Farnsworth N.R., Fong H.H., Pezzuto J.M. and Kinghorn A.D. (2002) Activity-guided fractionation of the seeds of of thyme essential oil against multidrug *Ziziphus jujube* using a cyclooxygenase-2 inhibitory assay. *Planta Med* .68: 1125-1128.
- Su P., LiuScientia X., (2005). Photosynthetic characteristics of linze jujube in conditions of high temperature and irradiation. *Horticulturae*, 104 : 339–350.
- Tadjine, Nacera. Valorisation d'extraits de *Ziziphus lotus* L. de population des régions de Médéa, El Oued et Tamanrasset. Thèse de doctorat, Université Blida – 1. Pages 14-26.
- Taiz, L., et Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. Sunderland, MA : Sinauer Associates.
- Tomeguelt, O., et Amzal, H. (2016). Optimisation d'extraction assistée aux ultrasons de composés phénoliques et l'activité antioxydante des différentes parties de *Ziziphus jujuba*.
- Tyree, M. T., Davis, S. D., et Cochard, H. (2003). *Biophysical perspectives of xylem evolution: is there a tradeoff of hydraulic efficiency for vulnerability to dysfunction?* *IAWA Journal*, 24(4), 391-403.
- Van Beek, T. A., Maas, P., King, B. M., Leclercq, P. A., Voragen, A. G. J., & de Groot, A. E. (1984). Bitter principles of *Ziziphus jujuba* (*Rhamnaceae*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32(2), 326-328.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Ubera, J. L., et Poorter, H. (2006). Exploring variation in leaf mass per area (LMA) from leaf to cell: an anatomical analysis of 26 woody species. *American Journal of Botany*, 93(4), 485-496.
- Violle, C., Navas, M.L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I. et Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, 116(5), 882-892.
- Vitamin A improves insulin sensitivity by increasing insulin receptor phosphorylation through protein tyrosine phosphatase 1B regulation at early age in obese rats of WNIN/Ob strain. *Diabetes, Obesity and Metabolism*. 13 (10):955-958.
- Von Maydell H-JV., (1990). Arbres et arbustes du Sahel : leur caractéristiques et leurs utilisations. 180 p.
- Ward, K., Smith, J., et Brown, L. (2019). Microclimate effects on plant growth in arid environments. *Journal of Arid Environments*, 165, 123-135.
- White, A. E., Zaman, L., Matias, M. G., et Jones, S. E. (2016). Quantifying the complexity of ecological networks. *Nature*, 530(7590), 233-236.

- White, Robert E., Smith, Linda, Johnson, Michael A., and Davis, Carol L. (2014). "Soil Moisture and Plant Growth: Implications for Dryland Agriculture". *Journal of Arid Environments*, 102, 35-45.
- Wilson, K. B., Baldocchi, D. D., Aubinet, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., and Dolman, H.... Valentini, R. (2013). Energy partitioning between latent and sensible heat flux during the warm season at FLUXNET sites. *Water Resources Research*, 39(7), 1299.
- 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., Midgley J.J., Navas M.-L., Niinemets Ü., Oleksyn J., Osada N., Poorter H., Poot P., Prior L., Pyankov V.I., Roumet C., Thomas S.C., Tjoelker M.G., Veneklaas E.J., Villar R. (2004). "The worldwide leaf economics spectrum." *Nature*, 428(6985), 821-827. DOI: 10.1038/nature02403.
- Wright, I. J., Dong, N., Maire, V., Prentice, I. C., Westoby, M., Diaz, S., ... et Ordoñez, A. (2014). Global climatic drivers of leaf size. *Science*, 343(6172), 919-923.
- Wright, I. J., Reich, P. B., et Westoby, M. (2001). Strategy shifts in leaf physiology: An integrated approach. *New Phytologist*, 149(1), 61-72.
- Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., et Villar, R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985), 821-827.

## Résumé

Le *Ziziphus lotus*, arbuste épineux de la famille des Rhamnaceae, est réputé pour ses propriétés médicinales et phytochimiques. Cette recherche étudie son adaptation morphologique et fonctionnelle aux contraintes abiotiques, notamment l'aridité climatique, en analysant les variations fonctionnelles selon un gradient d'aridité. L'étude a été menée dans deux régions bioclimatiques en Algérie, Djelfa et Tizi-Ouzou, avec des échantillons de 10 plants dans quatre stations à Djelfa et une station à Tizi-Ouzou. Huit traits morphologiques et fonctionnels ont été mesurés : hauteur, largeur, surface foliaire, longueur, largeur, épaisseur, indice SLA et indice LDMC, totalisant 1 500 mesures par trait. Les analyses ANOVA de Welch montrent une variation significative entre les stations. Les résultats indiquent que les plants de *Z. lotus* de la station la plus humide (Sid Ali Bounab, Tizi-Ouzou) ont des feuilles plus grandes, mais ne sont pas les plus hauts ni les plus larges. La taille des feuilles augmente avec l'humidité, alors que la biomasse totale est influencée par les conditions micro-habitats plutôt que le macroclimat. Par exemple, la station de El Rayan, sur un cordon dunaire et proche de plusieurs Oueds, a montré la biomasse aérienne la plus élevée. Les analyses de corrélation révèlent des relations significatives entre variables, suggérant que l'adaptation de *Z. lotus* à l'aridité est davantage influencée par les conditions locales telles que la disponibilité en eau, les nutriments du sol et probablement la flore du sol (champignons), plutôt que par le bioclimat des stations. En conclusion, les conditions micro-habitats jouent un rôle crucial dans la variation des traits fonctionnels de *Z. lotus*, démontrant une adaptation complexe à l'aridité.

**Mots clés :** *Ziziphus lotus*, adaptation, aridité, traits fonctionnels, Djelfa, Tizi-Ouzou.

## Abstract

The *Ziziphus lotus*, a thorny shrub from the Rhamnaceae family, is renowned for its medicinal and phytochemical properties. This research examines its morphological and functional adaptation to abiotic constraints, particularly climatic aridity, by analyzing functional variations along an aridity gradient. The study was conducted in two bioclimatic regions in Algeria, Djelfa and Tizi-Ouzou, with samples taken from 10 plants in four stations in Djelfa and one station in Tizi-Ouzou. Eight morphological and functional traits were measured: height, diameter, leaf surface area, length, width, thickness, SLA index, and LDMC index, totaling 1,500 measurements per trait. Welch's ANOVA analyses show significant variation between the stations. The results indicate that *Z. lotus* plants in the most humid station (Sid Ali Bounab, Tizi-Ouzou) have larger leaves but are neither the tallest nor the widest. Leaf size increases with humidity, while total biomass is influenced by microhabitat conditions rather than the macroclimate. For example, the El Rayan station, located on a dune cordon near several wadis, showed the highest aerial biomass. Correlation analyses reveal significant relationships between variables, suggesting that *Z. lotus* adaptation to aridity is more influenced by local conditions such as water availability, soil nutrients, and probably soil flora (fungi), rather than the bioclimate of the stations. In conclusion, microhabitat conditions play a crucial role in the variation of functional traits in *Z. lotus*, demonstrating a complex adaptation to aridity.

**Keywords :** *Ziziphus lotus*, adaptation, aridity, functional traits, Djelfa, Tizi-Ouzou.