



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
DEMOCRATIC AND POPULAR
ALGERIAN REPUBLIC
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND
SCIENTIFIC RESEARCH

جامعة زيان عاشور الجلفة
ZIANE ACHOUR UNIVERSITY OF DJELFA
كلية علوم الطبيعة والحياة
FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES
قسم العلوم الفلاحية والبيطرية
DEPARTMENT OF AGRONOMICAL AND VETERINARY SCIENCES

A THESIS
SUBMITTED IN FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF PHD
IN AGRONOMICAL SCIENCES
OPTION: FOREST ECOLOGY

By: HOUMA Imen

THEME

**ECOBOTANICAL STUDY OF WILD JUJUBE (*Ziziphus
lotus* (L.) Lam.) IN ARID AND SEMI ARID REGION IN
ALGERIA.**

Jury members:

Mr GUIT Brahim	Full Professor (UZAD)	President
Mr DERRIDJ Arezki	Full Professor (UMMTO)	Supervisor
Ms BELHADJ Safia	Full Professor (UZAD)	Co-supervisor
Ms Krouchi Fazia	Full Professor (UMMTO)	Examiner
Miss MekiousScherazed	Associate Professor (UZAD)	Examiner
Mr AIT SAID Samir	Associate Professor (UMMTO)	Examiner

Thesis defence date: February 25th, 2023



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة زيان عاشور الجلفة
UNIVERSITE ZIANE ACHOUR -DJELFA-
كلية علوم الطبيعة والحياة
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
قسم العلوم الفلاحية والبيطرية
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET VETERINAIRES

THESE
EN VUE DE L'OBTENTION DU
DOCTORAT DE TROISIEME CYLE (D-LMD) EN SCIENCES
AGRONOMIQUES

OPTION: ECOLOGIE FORESTIERE
Par
HOUMA Imen

Thème

**ETUDE ECOBOTANIQUE DU JUBIER (*Ziziphus lotus* (L.)
Lam.) DANS LES ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES EN
ALGERIE.**

Devant le jury composé de :

Mr GUIT Brahim	Professeur (UZAD)	Président
Mr DERRIDJ Arezki	Professeur (UMMTO)	Directeur de Thèse
M ^{me} BELHADJ Safia	Professeure (UZAD)	Co-Directrice de Thèse
M ^{me} Krouchi Fazia	Professeure (UMMTO)	Examinatrice
M ^{me} Mekious Scherazed	Maître de conférences (UZAD)	Examinatrice
Mr AIT SAID Samir	Maître de conférences (UMMTO)	Examineur

Soutenue publiquement le, ...25 Février, 2023...

REMECIEMENTS

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon Directeur de thèse, Monsieur DERRIDJ Arezki, Professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi ousou, pour la confiance qu'il m'a témoignée en acceptant la direction scientifique de mes travaux. Je tiens à lui exprimer mes remerciements pour l'honneur qu'il me fait en participant à ce jury.

Je témoigne ma profonde reconnaissance à ma co-directrice de thèse, Mme BELHADJ Safia, Professeure à l'Université Ziane Achour de Djelfa, de m'avoir fait bénéficier, tout au long de ces années, de sa grande compétence, de son dynamisme, de son efficacité et pour son soutien sur le plan humain. Cette thèse lui doit beaucoup. Pour tout cela merci.

Je tiens également à adresser ma profonde reconnaissance aux membres de jury, Monsieur GUIT Brahim pour avoir accepté de présider le Jury ainsi que: Madame Mekious Scherazed, de l'université de Djelfa, Mademoiselle KROUCHI Fazia et Monsieur AIT SAID Samir de Mouloud Mammeri de Tizi ousou, pour avoir accepté de consacrer leurs temps pour examiner ce travail.

Je tiens également à remercier vivement mes amis et collègues ; Melle ZAHRAOUI Rabiaa, Dr KOCHERANE Ryma et Dr HAFSI Zakaria, pour leur aide et leur soutien. Les rapports humains dont j'ai profité à leur côté ont fait naître de réels liens d'amitiés qui à mes yeux n'ont pas de prix. Qu'ils soient tous assurés de ma sincère et profonde amitié et gratitude.

Mes remerciements vont également à toutes les personnes extérieures du domaine universitaire qui m'ont, à leur façon, apporté leur aide de près ou de loin, pour réaliser, améliorer et finaliser ce travail.

Merci à toutes et à tous.

A la mémoire de ma très chère maman ;

J'imagine quelle serait ta joie aujourd'hui, j'aurai voulu que tu assistes à l'aboutissement de ces années de dur labeur, Dieu en a décidé autrement. Que Dieu t'accorde la paix éternelle et t'accueille dans son paradis.

A mon très cher époux ;

Notre couple a grandi en même temps que mon projet scientifique, tu n'as cessé de me soutenir et de m'épauler. Tu me voulais toujours la meilleure. Aucun mot ne pourrait exprimer ma gratitude, mon amour et mon respect. Je remercie le bon dieu qui a croisé nos chemins.

A mes enfants ; Saned, Racyl et Sophia. Source de ma joie et lumière de ma vie.

A mes frère et sœurs ; Je vous dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection en souvenirs de notre indéfectible union qui s'est tissée au fil des jours. Puisse dieu vous protéger, garder et renforcer notre fraternité.

A tous les membres de ma belle-famille et particulièrement mon beau-père, à qui je dédie ce travail en guise de remerciement pour ses encouragements et son soutien. Qu'il trouve, ici, l'expression de mes sentiments les plus sincères.

A mon adorable copine Gaby, même si tu manques d'assurance parfois, tu iras loin si tu gardes confiance en toi. Tu es capable de tout si tu le veux vraiment. Merci pour ton soutien et pour tout ce que tu as fait pour moi.

Dans la vie, tout n'est qu'une question de volonté.

RESUME

Le jujubier sauvage (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.) est un arbuste xérophyte appartenant à la famille des Rhamnacées, il se rencontre à l'état sauvage dans les zones arides et semi-arides d'Algérie. L'objectif de cette étude est d'évaluer la variabilité morphologique des feuilles, des fruits et des graines du jujubier, récoltés de populations naturelles en Algérie et d'évaluer l'effet des conditions environnementales sur l'espèce. Les échantillons étudiés proviennent de différentes régions (Guelma, Tebessa, Boughar, Ain oussara, Messaad, Hassi rmel et Bechar). Afin d'analyser la variabilité inter- et intra-populationnelles, des observations macro et micro-morphologiques sur des feuilles, des stomates, des fruits et des graines ont été effectuées sur la base d'un ensemble de vingt-sept variables morphologiques. L'épiderme foliaire, quant à lui, a été observé sous Microscope électronique à balayage.

Nos résultats montrent une variation significative entre et à l'intérieur des populations pour l'ensemble des variables étudiées. Les feuilles de *Z. lotus* sont très variables, elles sont recouvertes d'une forte couche de cire. Les stomates se trouvent également sur les deux faces foliaires, avec une densité plus importante sur la face abaxiale. Concernant les fruits et les graines, l'analyse a révélé une grande variation. La CAH a permis de classer les populations selon la similarité de leurs conditions écologiques.

Cette hétérogénéité phénotypique observée au niveau des populations algériennes échantillonnées de *Ziziphus lotus* pour la majorité des variables morphologiques étudiées est fortement liée à la variation des conditions environnementales.

Mot clés: *Ziziphus lotus*, populations, variabilité, morphologie, Algérie.

ABSTRACT

Wild jujube (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.) is a xerophytic shrub belonging to the *Rhamnaceae* family widely distributed in arid and semi-arid regions in Algeria. This study aims to analyze leaves, stomata, fruits and seeds morphological variability of wild populations and to evaluate the effect of the environmental conditions on plant morphology. Samples were obtained from different regions (Guelma, Tebessa, Boughar, Ain oussara, Messaad, Hassi rmel and Bechar). The macro and micro-morphological characteristics of leaves, stomata, fruits and seeds within and among wild jujube populations were evaluated, twenty-seven traits were measured. Leaf epidermis was investigated under the scanning electron microscope.

Our results indicated a significant variability within and among the wild jujube populations for most of the morphological traits.

Z. lotus Leaves showed significant variations, leaves are covered with epicuticular waxes on the adaxial surface. The stomata are present, both, on the adaxial and abaxial leaf surfaces. The stomatal density was higher on the abaxial face. For Fruits and seeds, the analysis showed important differences for all the morphological studied characters. The AHC based on morphological characteristics classified the populations according to their ecological condition similarities.

The Phenotypic heterogeneity investigated on algerian *Ziziphus lotus* populations was clearly marked by the environmental factors.

Keywords : *Ziziphus lotus*, populations, variability, morphological, Algeria.

ملخص

السدر البري (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.) شجيرة شوكية تنتمي الى فصيلة *Rhamnaceae* ، ينتشر طبيعيا بكثرة في الأماكن الجافة و الشبه الجافة في الجزائر.

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم التباين في الصفات المرفولوجية لأوراق، ثمار و بذور شجيرة السدر البري في الجزائر و توضيح تأثير الظروف البيئية على النبات.

تم جمع العينات المدروسة من مجموعات اشجار طبيعية تقع في مناطق مختلفة : قالمة, تبسة, بوغار, عين وسارة, مسعد, حاسي رمل و بشار.

من اجل تحليل التباين المرفولوجي داخل و بين المجموعات قمنا بدراسة المواصفات الشكلية للمجموعات المدروسة .

تم اجراء ملاحظات و قياسات على اساس سبع و عشرون معيار كمي و نوعي. كما تمت ملاحظة الاوراق تحت المجهر المسح الالكتروني.

اظهرت نتائج هذه الدراسة اختلافا مورفولوجية مهما داخل و بين مجموعات السدر البري .

لقد اظهرت اوراق السدر تنوعا كبيرا في الشكل, اوراق السدر مغطاة بطبقة من الشمع, الثغور تتواجد على الجهتين الا انها تتواجد اكثر على الجهة السفلية للورقة.

بالنسبة للثمار و البذور الخصائص المرفولوجية اظهرت اختلافا كبيرا , تصنيف المجموعات المدروسة بواسطة HCA يتوافق كثيرا مع تصنيف البيئة التي تنتمي اليها.

ان التباين المرفولوجي الملاحظ في النمط الظاهري عند اشجار السدر البري بالجزائر مرتبط باختلاف الظروف البيئية.

كلمات البحث: *Ziziphus lotus*, التباين, المورفولوجي, الجزائر.

LISTE DES FIGURES

	Page
Fig.1 : Dessin représentant l'aspect général de différentes espèces de la famille des <i>Rhamnaceae</i>	6
Fig.2 : Allure générale de <i>Z. lotus</i> dans la région de Messaad.....	10
Fig.3 : Rameaux, Feuilles, fleurs et fruits de <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.....	13
Fig.4 : Une daya à <i>Ziziphus</i> inondée.....	17
Fig.5 : Distribution de <i>Z. lotus</i> en Algérie.....	18
Fig.1 : Situation administrative des stations d'échantillonnage.....	24
Fig.2 : Variation mensuelle des précipitations en mm des stations étudiées (1985-2015).....	27
Fig.3 : Régimes pluviométriques saisonniers des stations étudiées.....	28
Fig.4 : Représentation des diagrammes ombrothermiques pour l'ensemble des stations étudiées.....	32
Fig.5 : Classement bioclimatique des stations étudiées sur le climagramme pluviothermique d'EMBERGER.....	37
Fig.6 : Parties végétatives étudiées.....	43
Fig.7 : Mesures biométriques pour les stomates de <i>Z. lotus</i> (station de Boussehraia, Djelfa) au microscope optique (grossissement 400x) relié à un ordinateur à l'aide d'un logiciel d'analyse d'images (Motic Images Plus 2.0).....	43
Fig.1 : Localization of study sites.....	51
Fig.2 : Ombrothermic diagrams of studied sites and their arid season.....	55
Fig.3 : Results of discriminant analysis for <i>Z. lotus</i> leaves characters and classification of study sites based on leaves morphological data.....	60
Fig.4 : Results of discriminant analysis for <i>Z. lotus</i> stomata characters and classification of study sites based on stomata morphological data.....	62
Fig.6 : SEM micrographs showing stomata low density and their distribution on the adaxial surface in (A) Belkheir and (B) Boussehraia, stomata high density and their distribution on the abaxial surface in (C) Boghar and (D) Hassi rmel, stomata in Belkheir (E) on the adaxial surface (F) on the abaxial surface, (G) and (H) waxes.....	66
Fig.1 : Variation des variables qualitatives des fruits et des graines pour les différentes populations de jujubier.....	73

Fig.2: Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique des variables morphologiques des fruits et des graines de <i>Z.lotus</i>	79
Fig.3 : Représentation graphique de l'analyse factorielle discriminante (AFD) des variables quantitatives des fruits et des graines de <i>Ziziphus lotus</i>	80

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux	Page
Tableau.1: Précipitations moyennes mensuelles et annuelles en (mm) corrigées pour la période (1985-2015).....	25
Tableau .2: Répartition des précipitations par saison en mm et le coefficient relatif saisonnier de MUSSET pour l'ensemble des stations étudiées.....	27
Tableau.3: Températures moyennes mensuelles et annuelles en (°C) corrigées pour la période (1985-2015).....	29
Tableau.4 : Moyennes des Maxima (M) et des Minima (m).....	30
Tableau.5 : Indices d'aridité de De Martonne calculés pour l'ensemble des stations étudiées.....	33
Tableau.6 : Indice de continentalité calculé pour l'ensemble des stations étudiées.....	34
Tableau.7 : Indice Xerothermique d'Emberger calculé pour l'ensemble des stations étudiées.....	35
Tableau.8 : Caractéristiques écologiques des stations d'échantillonnage.....	38
Tableau.9 : Descripteurs des variables qualitatives mesurées pour les feuilles, les fruits et les graines.....	44
Tableau.10: Descripteurs des variables quantitatives mesurées pour les feuilles, les fruits, l'endocarpe, les graines et les stomates.....	45

Table.1: Location and climatic zone of the study sites.....	51
Table.2: Climate types, aridity index of De Martonne (AI) and continentality index of Gorbunov (CI) of the studied sites.....	52
Table.3: Morphological variables measured for <i>Z. lotus</i> leaves and stomata.....	53
Table.4: Soil properties of the studied sites.....	56
Table.5: Quantitative characterization of <i>Ziziphus lotus</i> leaves and stomata.....	57
Table.6: ANOVA test for the leaf and stomata morphological variables within and among <i>Ziziphus lotus</i> populations.....	58
Table.7: Matrix of correlation between leaf and stomata morphological variables.....	59
Table.8: Qualitative variables measured for <i>Ziziphus lotus</i> leaves.....	63

Tableau.1 : Caractérisation qualitative des fruits, des endocarpes et des graines des populations de <i>Ziziphus lotus</i>	72
Tableau.2 : Valeurs des caractères quantitatifs mesurés pour les fruits, les endocarpes et les graines de <i>Ziziphus lotus</i>	76
Tableau.3 : Anova à un facteur des variables quantitatives des fruits et des graines du jujubier sauvage.....	77
Tableau.4 : Matrice de corrélation entre les caractères étudiés.....	78
Tableau.5 : Test du lambda de χ -Wilk	79

TABLE DES MATIERES

RESUMES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : APERÇU SUR LE JUJUBIER (<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.)	4
I. Description et taxonomie du genre <i>Ziziphus</i>	5
I.1. Systématique.....	5
I.1.2. Historique et répartition géographique du genre	7
I.1.3. Espèces du genre <i>Ziziphus</i>	7
I.1.3.1. <i>Z. vulgaris</i> (Lam.)	7
I.1.3.2. <i>Z. mauritiana</i> (Lam.).....	7
I.1.3.3. <i>Z. joazeiro</i> (Martius)	8
I.1.3.4. <i>Z. abyssinica</i>	8
I.1.3.5. <i>Z. mucronata</i>	8
I.1.3.6. <i>Z. spina-christi</i> (L.)	
I.2. Description, écologie et répartition de <i>Z. lotus</i>	9
I.2.1. Origine.....	9
I.2.2. Description morphologique	10
I.2.2.1. Allure générale.....	10
I.2.2.2. Feuille.....	11
I.2.2.3. Fleurs.....	11
I.2.2.4. Fruits.....	11
I.3.Écologie.....	12
I.4. Importance de l'espèce et ses utilisations.....	14
I.4.1. Activités biologiques et thérapeutiques du <i>Ziziphus lotus</i>	14
I.4.1.1. Activités anti-inflammatoires et analgésiques.....	14
I.4.1.2. Activités antimicrobienne, antifongique et anti-mollusques.....	15
I.4.1.3. Activités anti-ulcérogéniques.....	15
I.4.1.4. Utilisations en médecine traditionnelle.....	15
I.4.2. Autres utilisations.....	15
I.4.3. Intérêt écologique.....	16

I.5. Répartition géographique.....	16
I.5.1. Dans le monde.....	17
I.5.2. Répartition en Algérie.....	17
CHAPITRE II : SITES D'ECHANTILLONNAGE ET METHODOLOGIE.....	19
II.1 Caractéristiques des sites d'échantillonnage.....	20
II.1.1. Situation administrative des stations.....	20
II.1.2. Présentation des sites d'étude.....	20
II.1.2.1. Le site de Guelma.....	20
II.1.2.2. Le site de Médéa.....	21
II.1.2.3. Le site de Tébessa.....	21
II.1.2.4. Le site de Djelfa.....	21
II.1.2.5. Le site de Laghouat.....	22
II.1.2.6. Le site de Béchar.....	22
II.1.3. Synthèse climatique des sites d'échantillonnage.....	23
II.1.3.1. Les précipitations.....	25
II.1.3.1.1. Pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle	25
II.1.3.1.2. Régimes saisonniers des précipitations.....	26
II.1.3.2. La température.....	29
II.1.3.2.1. Les températures moyennes mensuelles et annuelles.....	29
II.1.3.2.2. Températures moyennes des maxima du mois le plus chaud « M »	29
II.1.3.2.3. Températures moyennes des minima du mois le plus froid « m ».....	30
II.1.3.3. Seuils biocritiques de $T < 10^{\circ}\text{C}$ et $T < 7^{\circ}\text{C}$ et repos végétatif hivernal....	30
II.1.3.4. Diagramme ombrothermique.....	30
II.1.3.5. L'indice d'aridité de De Martonne.....	33
II.1.3.6. Amplitude thermique moyenne et indice de continentalité.....	34
II.1.3.7. L'indice Xerothermique d'Emberger ou l'indice de la sécheresse estivale.....	35
II.1.3.8. Quotient pluviothermique et Climagramme d'Emberger.....	35
II.1.3.9. Localisation des stations dans le climagramme d'Emberger.....	36
II.1.4. Synthèse.....	38
II.2. Methodologie	39
.....	39
II.2.1. Caractérisation pédologique des sites d'échantillonnage.....	39
II.2.1.1. Analyses physico-chimiques.....	40
II.2.2. Récolte du matériel végétal.....	41
II.2.3. Etude morphologique.....	41
II.2.3.1. Descripteurs morphologiques des feuilles.....	41

II.2.3.2. Descripteurs morphologiques des fruits	42
II.2.3.3. Descripteurs morphologiques de l'endocarpe.....	42
II.2.3.4. Descripteurs morphologiques des graines.....	42
II.2.3.5. Etude des surfaces épidermiques	42
II.2.3.5.1. Densité stomatique et biométrie des stomates.....	45
II.2.3.5.2. Surfaces foliaires et poils épidermiques au M.E.B.....	46
II.2.4. Traitement statistique des données.....	
CHAPITRE III : DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DE <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.,	47
PROVENANT DE POPULATIONS NATURELLES EN ALGÉRIE.....	
Résumé.....	48
III.1. Introduction.....	48
III.2. Material and methods.....	49
III.2.1. Study sites.....	51
III.2.2. Bioclimatic study.....	51
III.2.3. Soil sampling.....	52
III.2.4. Morphological variables.....	52
III.2.5. Statistical analysis.....	53
III.3. Results.....	54
III.3.1. Bioclimatic data.....	54
III.3.2. Soil analysis.....	54
III.3.3. Morphological analysis.....	56
III.3.4. Morphological and environmental conditions correlations.....	56
III.4. Discussion	68
III.5. Conclusion.....	69
CHAPITRE IV : ETUDE DE LA VARIABILITE MORPHOLOGIQUE DES	
FRUITS DE <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.,	70
<hr/>	
IV. 3.1. Etude de la variabilité des caractères morphologiques qualitatifs	71
IV. 3.1. 1. Forme des fruits.....	71
IV. 3.1. 2. Couleur des fruits.....	71
IV. 3.1. 3. Nombre de graines par fruit.....	71
IV. 3.1. 4. Forme des graines.....	72
IV. 3.1. 5. Couleur des graines.....	77
IV. 3.2. Etude de la variabilité des caractères morphologiques quantitatifs.....	77
IV. 3. 2.1. Analyse descriptive.....	77

IV. 3. 2.2. Analyse de la variance.....	78
IV. 3. 2.3. Matrice des corrélations.....	79
IV. 3. 2.4. Classification ascendante hiérarchique (CAH).....	80
IV. 3. 2.5. Analyse factorielle discriminante (AFD).....	82
IV. 4. Discussion	82
IV. 5. Conclusion.....	83
CONCLUSION GENERALE.....	84
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	87

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'Algérie est un hot spot de biodiversité, elle présente une grande richesse biologique au niveau des écosystèmes forestiers, steppiques, agricoles et sahariens. La localisation géographique et la grande superficie du pays sont à l'origine de l'existence d'une diversité bioclimatologique et éco-systémique importante. La biodiversité des écosystèmes steppiques est le fruit d'une adaptation aux conditions pédologiques et climatiques difficiles.

L'une des espèces les plus répandues des zones arides et semi-arides en Algérie est le jujubier sauvage (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.), également connue sous le nom de « sedra » ou « Nbeg », qui se trouve en association avec le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) dans les dayas steppiques, où ils forment ensemble des micro-écosystèmes pour beaucoup d'espèces faunistiques et floristiques.

Le jujubier sauvage appartient au genre *Ziziphus* (famille des Rhamnacées), les espèces du genre *Ziziphus* sont des arbres ou arbustes des régions tempérées, subtropicales et tropicales (Bross, 2000 ; Li et al., 2005). En Algérie, ce genre est représenté par trois espèces : *Z. spinachristi* (L.), *Z. mauritiana* Lam. et *Z. lotus* (L.) (Quézel et Santa, 1962).

Le *Ziziphus lotus* est un arbuste fruitier, épineux (Rsaissi et Bouchache, 2002), peu élevé, et très ramifiée (Claudine, 2007). D'après Maire (1933), Chopra et al. (1960) et Ozenda (1991), l'espèce se rencontre en Europe méridionale et dans les steppes semi-désertiques d'Afrique du Nord méditerranéenne, au Sahara septentrional, au Sahara central et en Asie mineure.

Les feuilles, les fruits et les racines du jujubier sauvage sont utilisés en médecine traditionnelle comme sédatif, antidiabétique, anti diarrhée, anti urinaire et pour traiter les infections et la bronchite (Lahlou et al., 2002 ; Adzu et al., 2003 ; Claudine, 2007 ; Ghedira, 2013). De nombreuses études phytochimiques menées sur l'espèce ont montré la présence des molécules bioactives dans les différentes parties de la plante. *Ziziphus lotus* présente des propriétés anti-inflammatoires, analgésiques, ulcérogéniques et fongiques (Lahlou et al., 2002 ; Borgi et al., 2007a et b ; Borgi et al., 2008 ; Abdoul Aziz et al., 2013).

Sur le plan économique, le miel de jujubier est le plus cher en Algérie, réputé pour son goût, sa valeur alimentaire, ses propriétés physico-chimiques et thérapeutiques très spécifiques (Haderbacheet al., 2013 ; Mekious et al., 2020). Le fruit de *Z. lotus* se consomme frais ou séché par les populations locales (Elaoui et al., 2014). En industrie alimentaire, les jujubes très riches en substances nutritives, sont utilisées pour la fabrication des gâteaux et pour la préparation de jus très riches en composés phénoliques (Nejja et al., 2020).

Z. lotus joue un rôle primordial dans la conservation des sols grâce à son système racinaire profond et vigoureux qui permet une stabilisation des substrats (Laamouri et al., 2008) et protège les écosystèmes steppiques et pré-steppiques contre l'érosion, la régression du couvert végétal et l'appauvrissement de la biodiversité.

Bien qu'elle soit à usages multiples et présente un intérêt écologique indéniable, le manque d'intérêt des scientifiques et des gestionnaires pour cette espèce va entraîner inéluctablement son extinction, surtout dans les régions arides et semi-arides, où la pression anthropique se fait ressentir et plus particulièrement ces dernières décennies avec l'accentuation du phénomène de désertification.

Ce travail de thèse a pour objectif global la valorisation du jujubier sauvage et ce par des travaux de recherches visant son intégration dans les programmes de reforestation et de mise en valeur des terres dégradées.

Afin d'arriver à notre but, nous avons défini un objectif principal, pour notre travail de recherches, qui se propose de mener une étude de la variabilité phénotypique de l'espèce, qui passe par une analyse de la variabilité morphologique des feuilles (stomates et surfaces épidermiques), des fruits, des endocarpes et des graines de populations naturelles de *Ziziphus lotus*.

Cette étude a également pour but la mise en évidence du comportement des arbustes de jujubier vis à vis de leur environnement et leurs stratégies d'adaptation face aux changements globaux. Pour cela les échantillons sont récoltés de différents étages bioclimatiques, dans leur aire de répartition, pour varier, un maximum, le facteur environnemental.

Dans cette étude, nous avons organisé notre travail de façon à jumeler entre les informations disponibles dans la littérature, les prospections sur le terrain ainsi que le travail de laboratoire. Pour cela, nous avons subdivisé notre travail en quatre chapitres :

Le premier chapitre, est consacré à une synthèse bibliographique sur le jujubier sauvage, sa taxonomie, sa description botanique, son écologie, ses utilisations et enfin sa distribution géographique dans le monde et en Algérie. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des zones d'échantillonnages et la méthodologie des différentes études menées sur les feuilles, les stomates, les surfaces foliaires, les fruits, les endocarpes et les graines. Pour la présentation des régions d'étude une synthèse climatique ainsi qu'une étude pédologique ont été présentées dans cette partie du manuscrit. Le troisième chapitre est présenté sous forme d'article, c'est une description morphologique des feuilles par une analyse biométrique des variables quantitatives et qualitatives et la description micro-morphologique des surfaces foliaires incluant l'épiderme, les trichomes, les cires ainsi que la taille et la densité stomatique.

Le quatrième chapitre présente l'étude morphologique des fruits, des endocarpes et des graines, basées sur une analyse biométrique des variables quantitatives et qualitatives pour les différentes populations étudiées.

CHAPITRE I
APERÇU SUR LE JUJUBIER
(*Ziziphus lotus* (L.) Lam.,)

CHAPITRE I : APERÇU SUR LE JUJUBIER (*Ziziphus lotus* (L.) Lam., 1789)

I.1. Description et taxonomie du genre *Ziziphus*

Le genre *Ziziphus* L., appartient à l'ordre des Rhamnales et la famille des *Rhamnaceae*, une famille des plantes dicotylédones qui comprend 900 espèces et 58 genres. Elle renferme des arbres, des arbustes, des lianes ou des plantes herbacées (Waston et al., 1992 ; Baba Aissa, 1999 ; Bross, 2000 ; Punt et al., 2003 ; Li et al., 2005).

I.1.1. Systématique

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

- Règne : Végétal
- Embranchement : Magnoliophyta (Phanérogames)
- Sous-embranchement : Magnoliophytina (Angiospermes)
- Classe : Magnoliopsida (Dicotylédones)
- Sous-classe : Rosidae
- Ordre : Rhamnales
- Famille : Rhamnaceae
- Tribu : Ziziphae
- Genre : *Ziziphus*
- Espèce : *Ziziphus lotus* (L.) Lam., 1789.

Les *Rhamnaceae* ont été anciennement classées dans les Rhamnales, avec les Vitaceae et les Leeaceae (Suessenguth, 1953) ou avec les Elaeagnaceae (Thorne, 1992). Suessenguth (1953) a regroupé la famille en cinq tribus, en se basant sur les caractères morphologiques des fruits. Cette classification a été révisée par l'analyse phylogénique par Richardson et al. (2000a), où 11 tribus sont reconnues.

Les relations phylogénétiques au sein de la famille des *Rhamnaceae* ont été étudiées par Richardson et al. (2000a,b) sur la base de données moléculaires et morphologiques. Les données moléculaires confortent la subdivision de la famille en trois grands clades : Rhamnoides, Ampelozizyphoides et Zizyphoides.

La famille des Rhamnaceae est représentée en Algérie par deux genres spontanés ; *Rhamnus* et *Ziziphus* (Lapie et Maige, 1914) :

- *Rhamnus*, renferme plusieurs espèces, la plus commune est *Rhamnus alternus* L. (Fig.1), un arbrisseau dioïque à feuilles persistantes, coriaces, luisantes et faiblement dentées. Les fleurs sont disposées en grappes à l'aisselle des feuilles, dépourvues de pétales. Le fruit est rouge,

noir à maturité. Cette espèce repousse abondamment en souche, très commune dans les broussailles du Tell (Lapie et Maige, 1914) ;

- *Ziziphus*, représenté par 135 à 170 espèces épineuses (Bhansali, 1975 ; Liu et Cheng, 1994). Ce sont des arbres ou des arbustes, à feuilles ovales dentées, et portent à la base des stipules épineuses et des petites fleurs (Bross, 2000 ; Li et al., 2005).

Trois espèces de *Ziziphus* sont présentes en Algérie : *Ziziphus lotus* (L.) Lam., *Ziziphus mauritiana* Lam. et *Ziziphus spina-christi* (L.) Wild. Le Jujubier sauvage *Ziziphus lotus* (L.) Lam. est l'espèce des broussailles la plus commune du genre (Fig.1) (Lapie et Maige, 1914).

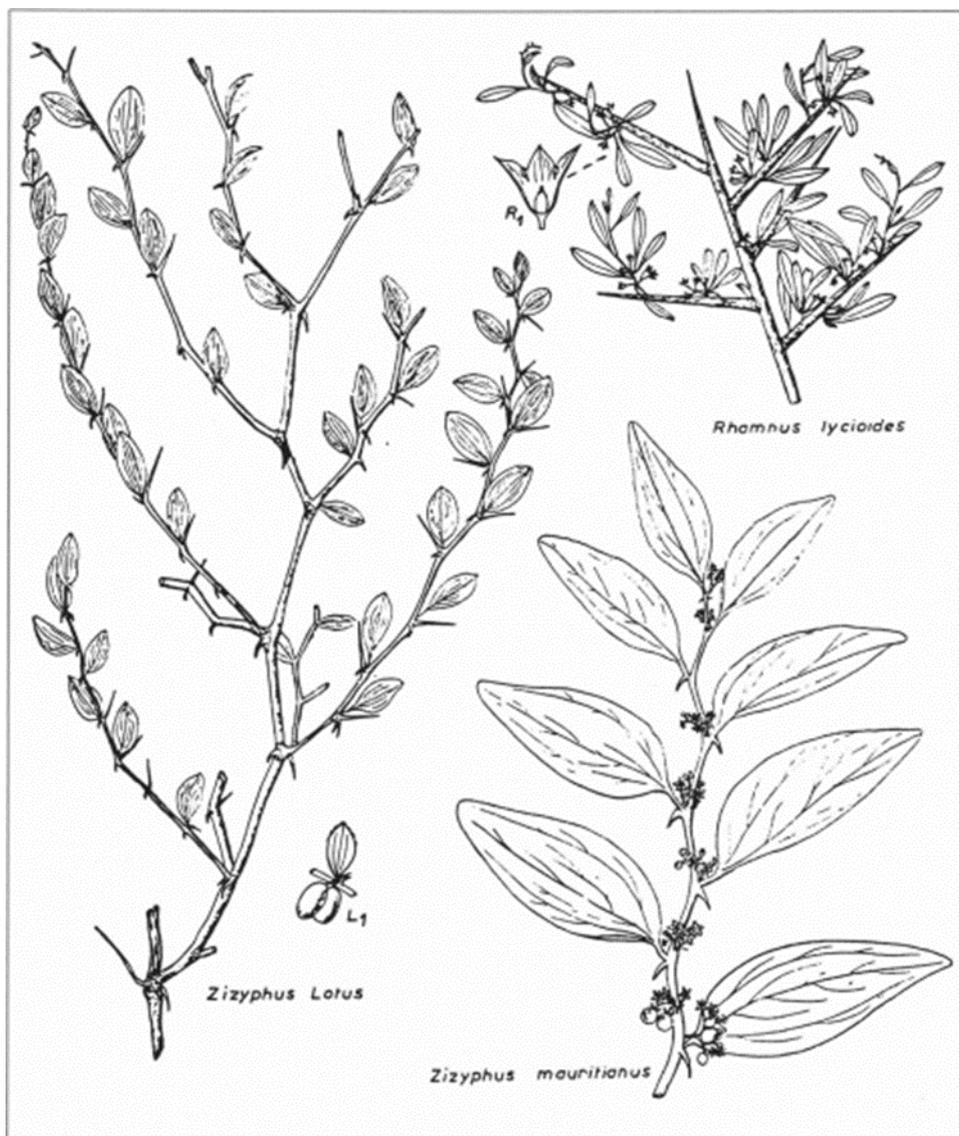


Fig.1. Dessin représentant l'aspect général de différentes espèces du genre *Ziziphus* de la famille des *Rhamnaceae* (Lapie et Maige, 1914).

I.1.2. Répartition géographique du genre

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

L'aire de répartition naturelle des espèces du genre est vaste, elle se localise entre 20° et 30° de latitude, zone caractérisée par des climats chauds et secs, recouvrant les plus grands déserts du globe, du continent asiatique, au bassin méditerranéen et même au continent américain (Laamouri et al., 2008).

Les espèces fruitières du genre *Ziziphus*, possèdent une grande importance du point de vue environnemental et socio-économique, grâce à leur capacité de résistance à la sécheresse, leurs mécanismes physiologique et morphologique d'adaptation (Reich, 1991; Arndt et al., 2001) et leurs usages multiples dans les zones arides et semi-arides, voir même, désertiques (Laamouri et al., 2008).

I.1.3. Espèces du genre *Ziziphus*

Il existe environ 122 espèces du genre *Ziziphus* dans le monde (Benammar, 2011), dont voici quelques-unes :

I.1.3.1. *Ziziphus vulgaris* Lam.

Ziziphus vulgaris est un arbre ou un arbrisseau, qui atteint généralement les 8m et présente jusqu'à 2m de circonférences. Il se trouve presque souvent sub-spontané au voisinage des lieux de sa culture. Il drageonne facilement et fournit un bois compact, homogène, susceptible et d'une couleur aussi rouge que l'acajou, très utilisé en ébénisterie et donne un charbon de première qualité. Les fruits, du volume d'une grosse olive, sont sucrés et comestibles (Lapie et Maige, 1914). En Inde, les graines sont considérées comme sédatives. En Chine, les fruits sont utilisés pour traiter l'insomnie et des cas de neurasthénie (Gueda Ba, 2005).

I.1.3.2. *Ziziphus mauritiana* Lam.

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

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).

I.1.3.3. *Ziziphus joazeiro* Martius

Ziziphus joazeiro est un arbre qui atteint les 12m de haut, ses rameaux sont très épineux. Les feuilles sont d'un vert foncé, les fruits sont ronds d'environ 3cm de diamètre, jaunes à maturité. Il est originaire du Brésil (Gueda Ba, 2005).

I.1.3.4. *Ziziphus abyssinica* Hochst

Ziziphus abyssinica est un arbuste épineux ou arbre atteignant 12m de hauteur, ses branches pendantes forment une lourde couronne arrondie. L'écorce est d'un brun grisâtre, fissurée longitudinalement et rugueuse chez les spécimens plus âgés. Les feuilles sont ovales, alternes, vert foncé ; les fleurs sont petites, étoilées, vert jaunâtre, avec une odeur désagréable et forte. Le fruit est presque sphérique, de 2-3cm de diamètre, brun rougeâtre (Orwa et al., 2009). Il se trouve entre 400 et 2 200m d'altitude au Sénégal, l'Éthiopie, Zimbabwe et Mozambique (Kalinganire et Koné, 2011).

I.1.3.5. *Ziziphus mucronata* Willd

Ziziphus mucronata est un arbuste épineux, avec une écorce lisse grise. Les feuilles sont alternes, ovales, les fleurs apparaissent jaunâtres et les fruits sont des drupes globuleuses de 1,2 à 1,8cm de diamètre, d'un rouge brun (Malgras, 1992). Il est commun dans les forêts claires entre 0 et 200m au-dessus du niveau de la mer, de la Mauritanie, le Sénégal, la Somalie, l'Afrique du Sud et le Madagascar (Kalinganire et Koné, 2011).

I.1.3.6. *Ziziphus spina-christi* L.

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 Ba, 2005). Les fruits sont différents de ceux du *Ziziphus lotus*, ils sont plus au moins ovoïdes d'environ 15mm, à pulpe

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 Ba, 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.

I.2. Description, écologie et répartition de *Z. lotus*.

Ziziphus lotus (L.) Lam. est l'espèce la plus commune des broussailles d'Algérie. Grâce à sa vaste aire de répartition naturelle, l'espèce bénéficie de plusieurs appellations locales, en français : jujubier, en Italien : ginggido et en arabe : sedra, n'beg (Catoire et al., 1994 ; Borgi et al., 2007a ; Benammar, 2011).

Z. lotus est une plante très riche en molécules possédant des activités biologiques variées, ce qui lui donne une grande importance dans la médecine traditionnelle algérienne (Benammar, 2011). Malgré son intérêt, l'espèce est devenue rare, voire menacée de disparition, en Afrique du Nord, spécifiquement à cause des arrachages et de la desertification (Laamouri, 2005).

I.2.1. Origine

C'est une espèce dont l'origine est toujours controversée. Selon El Hachimi et al, (2014), les jujubiers sont originaires de Chine, du Japon et de l'Asie du Sud-Est. On dit que la culture du jujubier en province (France) était faite par les romains dans les toutes premières années de l'ère chrétienne (Brosse, 2000). D'après Aymonin (1993), Brosse (2000), Espiard (2002) et Su et Liuscientia (2005), le Jujubier est arrivé de chine en méditerranée depuis 2000 ans avant J.C. Ensuite, il s'est répandu en Algérie, Tunisie, Italie et Espagne. En France, on trouve des cultures résiduelles surtout en province, dans le Languedoc-Roussillon (Catoire et al., 1994). Pour Aymonin (1993) et Brosse (2000), il semblerait qu'il soit originaire d'inde. Ensuite, il fut introduit en Europe méditerranéenne par les grecs et en Afrique du nord par les arabes.

Selon Benchalah et al. (2004), l'espèce est d'origine méditerranéenne. Pour ces auteurs, l'île des Lotophages au sud du golfe de Gabès n'est pas imaginaire, elle a réellement existé. Nommée à l'époque Insula Meninx, elle porte aujourd'hui le nom de Djerba (Ghedira, 2013).

I.2.2. Description morphologique

I.2.2.1. Allure générale

Le jujubier sauvage (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.), est un arbuste fruitier épineux (Rsaissi et Bouchache, 2002), peu élevé, il forme des touffes qui ne dépassant pas 2,5m (de 0,5 à 2,5m) (Claudine, 2007) avec beaucoup de ramifications (Brosse, 2000 ; Espiard, 2002). En général buissonnants dès la base (Fig. 2).

Les rameaux sont flexueux, recourbés vers la terre, très épineux, tomenteux, gris blanchâtres, en zigzag (Fig.3a) (Claudine, 2007 ; Maraghni et al., 2011). Les épines sont disposées par deux à l'aisselle des feuilles : l'une, plus ou moins droite et effilée, un peu orientée vers le haut, atteint 1,8cm de long ; l'autre en crochet, plutôt orientée vers le bas, est plus courte (Rsaissi et Bouchache, 2002 ; Ghedira, 2013). L'arbuste présente un système racinaire très dense et une vitesse de production des racines très élevée (77 racines). Dès la germination, les graines émettent des enracinements pivotants. Les pivots se développent rapidement permettant ainsi aux jeunes plants de prospecter les horizons profonds du sol. La répartition des racines latérales est importante sur toute la longueur du pivot. Ce développement des racines en profondeur favorise l'adaptation de l'espèce au stress environnemental (Laamouri et al., 2008).



Fig.2. Allure générale de *Z. lotus* dans la région de Messaad (Octobre, 2013).

I.2.2.2. Feuilles

Les feuilles de *Ziziphus lotus* (Fig.3b), 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, à marge dentée, chaque dent présente une minuscule glande sombre (Baba Aissa, 1999). Elles sont lisses et brillantes 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 (Rsaissi et Bouchache, 2002).

I.2.2.3. Fleurs

Les fleurs de *Z. lotus* se situent aux aisselles des feuilles (Fig.3c), elles sont petites, de 3mm de diamètre (Maraghni et al., 2011), de couleur jaune (Rsaissi et Bouchache, 2002). Elles se trouvent seules 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 épi-pétales, à deux styles courts et rapprochés et un ovaire supère bisexuel (Baba Aissa, 1999 ; Azam-Ali et al., 2006 ; Claudine, 2007 ; Rabaa, 2007 ; Ghedira, 2013).

Le pollen du jujubier, est tricolpé et angulaperturé. Son exine est caractérisée par un tectum épais, une couche infratectale fine qui apparaît granuleuse avec une nexine épaisse. Au niveau des apertures, on retrouve une zone endoxinique avec de nombreuses lamelles dont l'arrangement et la disposition confère un aspect dentelé à la face interne de l'endexine au niveau de l'aperture. L'intine est très épaisse et comprend un oncus (un oncus qui est une structure spéciale de l'aperture) avec de nombreuses trabécules (Ben Nasri-Ayachi et Nabli, 1995).

I.2.2.4. Fruits

Les fruits (Fig.3d), sont des drupes à noyaux soudés, appelé « 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), ils mesurent de 1 à 2cm 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), leur 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).

I.3. Ecologie

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 aime la chaleur et craint le froid et qui exige un climat chaud et sec pour fructifier (Paquereau, 2013). Le jujubier est adapté à la sécheresse et aux faibles pluviométries (Asatryan et Telzur, 2014) mais il s'est acclimaté dans la région méditerranéenne.

Il craint, par contre, les terrains compacts et humides (Aymonin, 1993). Il supporte la sécheresse et l'irradiation (Su et LiuScientia, 2005). *Z. lotus* est peu exigeant en eau, il est capable de pousser sur n'importe quel type de sol, y compris les sols salins, les terres non défrichées et les terres pauvres, grâce à ses robustes racines pivotantes, il pousse même dans les couches à moitié dures de carbone ou de calcium. Il se rencontre, généralement, dans les zones rocailleuses 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).

Cependant, il préfère les sols sableux profonds bien drainés présentant un pH neutre ou légèrement alcalin (Laamouri et al., 2008 ; Amara et Benabdeli, 2020).

Cet arbuste a une croissance très lente et commence à porter des fruits vers l'âge de 4 ans, il peut continuer sa production 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).



Fig.3. Rameaux (a), Feuilles (b), fleurs (c) et fruits (d) de *Ziziphus lotus*. (Messaad, septembre 2013).

Le jujubier est le plus souvent monophanérophite. Sa longévité est assez grande, drageonne abondamment, il peut se multiplier par rejet de souches mais moins facilement par germination qui nécessite une endozoochorie ou ornithochorie (Zouaoui et al., 2013). Une étude de Rssaissi et Bouhache (2002), a montré que cette espèce peut se régénérer à partir des boutures de fragments de branches, de fragments de racines, de souches entières, de petits morceaux de souches et de fruits avec des taux respectifs de régénération de 16, 54, 70, 29 et 31%. Le commerce des fruits de jujubier a joué un rôle dans sa dispersion ainsi que leur consommation par les animaux, les noyaux des fruits consommés par les chèvres, après qu'ils traversent leurs tubes digestifs, ont un pouvoir germinatif particulièrement élevé.

I.4. Importance de l'espèce et ses utilisations

I.4.1. Activités biologiques et thérapeutiques du *Ziziphus lotus*

Ziziphus lotus est une plante médicinale par excellence. Riche en polyphénols, alcaloïdes, cyclopeptides, saponines de dammarane, vitamines, minéraux, acides aminés et acides gras polyinsaturés (Souleymane, 2016). Comme toutes les espèces de son genre, *Z. lotus* est utilisée dans la phytothérapie traditionnelle de nombreux pays comme sédatif, analgésique, tonique et anti-inflammatoire. Les recherches faites sur ses activités pharmacologiques ont ressorti plusieurs effets de grande importance pour la médecine moderne (Ghedira et al., 1995 ; Claudine, 2007 ; Mouni, 2008 ; Souleymane, 2016). La composition chimique des différents organes du *Z. lotus* représente une source importante de substances naturelles bioactives qui peuvent être appliquées dans l'industrie agro-alimentaire et pharmaceutique (Saadoudi et al., 2017 ; Rached et al., 2019 ; El Cadi et al., 2020 ; Bencheikh et al., 2021 ; Zarroug et al., 2021).

Z. lotus est utilisée dans le traitement de diverses maladies comme les troubles digestifs, la faiblesse, les affections hépatiques, l'obésité, les troubles urinaires, le diabète, les infections cutanées, la fièvre, la diarrhée, l'insomnie et l'anxiété (Anand et al., 1989 ; Abu-Zarga et al., 1995 ; Abdel-Zaher et al., 2005 ; Suksamrarn et al., 2005). Il est connu pour son contenu en molécules biologiquement actives tels que les polyphénols (flavonoïdes, tanins), les triterpènes, les antrachinones, les lipopolysaccharides, les alcaloïdes (cyclopeptides et isoquinolides), les saponosides et les hydroquinones dans les feuilles et les fruits (Catoire et al., 1994 ; Renault et al., 1997 ; Le Crouéour et al., 2002 ; Borgi et Chouchane, 2006 ; Borgi et al., 2008). Kawaguti et Kim (1940) ont mis en évidence la présence de l'acide bétulinique qui appartient au groupe des triterpènes dans les graines de *Z. lotus*.

I.4.1.1. Activités anti-inflammatoires et analgésiques

Les flavonoïdes et les saponines de l'écorce des racines du *Z. lotus* ont montré une activité anti-inflammatoire significative (Renault et al., 1997 ; Borgi et Chouchane, 2006 ; Borgi et al., 2008). *Z. lotus* inhibe la production du monoxyde d'azote (NO), 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 paroxazolone (Borgi et al., 2008). Ghalem et al. (2014) indiquent que les racines peuvent être une importante source d'antioxydants naturels.

Les feuilles possèdent des effets analgésiques attribués à leur contenu en principes actifs (Borgi et al., 2007a ; Borgi et al., 2008). Toutes ces activités confirment l'usage traditionnel de

cette plante dans le traitement de certaines maladies inflammatoires et douloureuses (Borgi et al., 2007a).

I.4.1.2. Activités antimicrobienne, antifongiques et anti-mollusques

De nombreuses études confirment le spectre large de l'activité antimicrobienne des différentes parties végétales du *Ziziphus lotus* (Ali et al., 2001 ; Nazif, 2002, Lahlou et al., 2002 ; Abderrahim et al., 2017 ; Rsaissi et al., 2017 ; Hammi et al., 2022). Les différents extraits (éthéré, chloroformique, extrait d'acétate d'éthyle et méthanolique) de *Z. lotus* se sont avérés très actifs *in-vitro* vis-à-vis de neuves souches de champignons pathogènes et de mollusques (Le crouéour et al., 2002). Ourzeddine et al. (2017) et Letaief et al. (2021) ont mis en évidence l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle du fruit.

I.4.1.3. Activités anti-ulcérogéniques

Les feuilles et l'écorce des racines du jujubier possèdent une importante activité anti-ulcérogénique attribuée à la présence des tanins et des flavonoïdes connus par leur effets gastro-protecteur (Borgi et al., 2007b).

I.4.1.4. Utilisations en médecine traditionnelle

En médecine traditionnelle, l'espèce est très utilisée pour traiter le diabète sucré, notamment, chez la population Algérienne (Benammar et al., 2010). Elle est également utilisée pour soigner le tube digestif et le foie (Baba Aissa, 1999). Les feuilles en infusion sont utilisées dans les cas de diarrhée et d'insuffisance cardiaque. Les feuilles séchées, humectées avec de l'eau, sont appliquées en cataplasme contre les furoncles et les abcès. Elles sont utilisées aussi contre les piqures des vipères au Sahara (Benchalah, 2004). De même, la poudre des feuilles sèches et des fruits est appliquée dans le traitement des furoncles (Borgi et al., 2007a).

Les fruits riches en vitamine C et A, sont décrits comme adoucissants, ils se consomment frais ou secs, peuvent être transformés en pâtes, confits, conserves ou en confitures (Catoire et al., 1999). Les fruits frais sont consommés en cas de vomissements et de troubles digestifs (Salhi et al., 2010), d'infection de la peau (Adzu et al., 2003) et entrent dans le traitement de la gorge et les irritations broncho-pulmonaires (Baba Aissa, 1999 ; Borgi, 2007), de diarrhée et pour régler le taux de sucre dans le sang (Hammi et al., 2015). Ils sont utilisés aussi contre les calculs rénaux (Lahsissene, 2009 ; Khouchlaa et al., 2018).

L'écorce des racines est utilisée aussi dans le traitement du diabète (Ghedira et al.,

1995), c'est exactement le décocté des racines qui est utilisé comme hypoglycémiant (Lahlou, 2002 ; Allali et al., 2008). La racine écrasée, laisse couler un jus très efficace dans les cas de leucomes (Lahsissene, 2009), elle est utilisée aussi pour les affections pulmonaires et pour soigner l'ictère (Chehma, 2006).

I.4.2. Autres utilisations

Les branches de *Z. lotus* sont utilisées pour faire des clôtures autour des habitations et comme un bois de chauffage. Dans les zones arides, les fruits sont comestibles et largement consommés par les populations locales et très broutés par le bétail (Maire, 1933 ; Ozenda, 1991 ; Bamouh, 2002 ; Chehma, 2006 ; Abdeddaim et al., 2014). L'espèce est considérée comme une importante essence des parcours sahariens (Chehma, 2006 ; Abdeddaim et al., 2014).

Les fleurs du jujubier présentent un intérêt important, très butinées par les abeilles conduisant à la production d'un miel typique très recherché pour sa valeur alimentaire et thérapeutique et présentant des caractéristiques particulières sur certains paramètres physico-chimiques comme le pH (Haderbache et al., 2013 et Zerrouk et al., 2017). En Algérie, le miel du Jujubier est vendu entre 4500 et 6000 Da (l'équivalent de 25 à 34 euros).

I.2.5. Intérêt écologique

Ziziphus lotus est capable de se développer sur tout type de sols et peut supporter une inondation temporaire, le cas de la population de Messaàd (Fig. 4). 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).

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 écosystèmes pré-forestiers, ils présentent un micro-écosystème pour plusieurs espèces faunistiques et floristiques (Belhadj, 2007 ; Nebih Hadj-Sadok et al., 2014).

La carte phytogéographique du Maroc montre que les deux espèces constituaient un climax sur les hauts plateaux arides du Maroc oriental (Emberger, 1939).



Fig.4. Une daya à *Ziziphus lotus* inondée (Messàad, Octobre 2013).

I.5. Répartition géographique

I.5.1. Dans le monde

Ziziphus lotus se rencontre du Maroc à l'Afghanistan et de l'Afghanistan jusqu'à la Chine, il est spontané dans le sud de l'Espagne, de l'Italie et du Portugal, le midi de l'Europe, en Sicile et en Grèce (Brosse, 2000). Il existe non seulement en Chine mais aussi en Corée du sud et à l'ouest de l'Asie (Brosse, 2000 ; Espiard, 2002 ; Adeli et Samavati, 2015). Il est très fréquent dans les steppes désertiques et semi-désertiques d'Afrique du Nord (Tardío et al., 2016). Il est cultivé dans la Provence et le Languedoc (Paris et Dillemann, 1960).

Au Moyen-Orient, *Z. lotus* se trouve au Yémen, dans l'île de Socotra, en Palestine, en Syrie, en Turquie et à Chypre. Très répandu dans les pays méditerranéens avec une faible pénétration dans le Sahara septentrional, plus rare au Sahara central et occidental (Maroc, Algérie, Tunisie et Libye) (Ghedira, 2013).

Il occupe aussi les plaines argileuses, pierreuses arides, steppes, dayas désertiques dans les plaines et les basses montagnes d'Afrique du nord (Quezel et Santa, 1963). En Tunisie, il est très abondant dans les régions du Centre, on le trouve également au nord de la Dorsale tunisienne, dans la vallée de la Medjerda. La limite sud de son aire géographique longe le flanc occidental des monts de Matmata jusqu'à la frontière libyenne (Ghedira, 2013). Au Maroc, il est très commun dans tout le Maroc non humide, broussailles et pâturage. En Afrique subsaharienne, il est répandu au Mali, Niger, Burkina Faso et Sénégal (Ouedraogo et al., 2006).

II.5.2. Répartition en Algérie

Selon Quezel et Santa (1962), *Z. lotus* est répandu dans toute l'Algérie sauf le Tell Algéro-constantinois (Fig. 5). Il est très commun sur les hautes plaines steppiques, dans la région des dayas, l'Atlas saharien et jusqu'au Sahara septentrional, Taghit (wilaya de Bechar). 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. *Z. lotus* peut atteindre 2000m d'altitude, il constitue parfois des buissons denses et des buttes en retenant le sable transporté par le vent. On le rencontre, souvent, en association avec *P. atlantica* à l'Ouest jusqu'à la région de Zousfane près de Bechar (Ozenda, 1983). *Z. lotus* et *P. atlantica* constituent des steppes buissonnantes lâches 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 (Quezel et Santa, 1962 ; Belhadj, 2007).

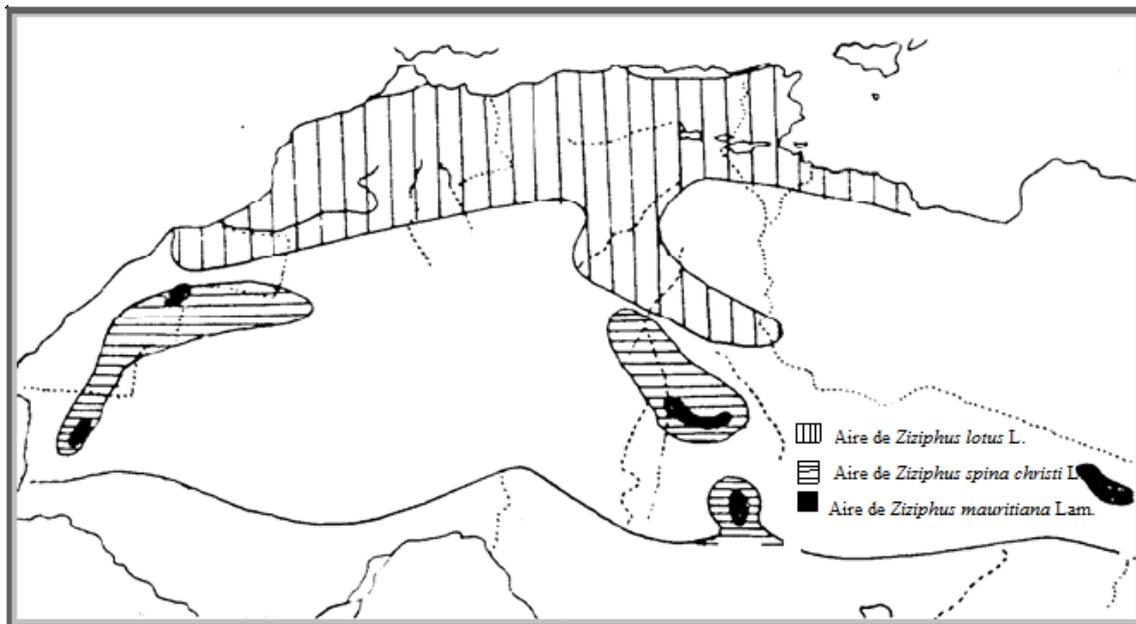


Fig. 5. Distribution de *Z. lotus* en Algérie (Quezel et Santa, 1962).

CHAPITRE II

SITES D'ECHANTILLONNAGE ET METHODOLOGIE

CHAPITRE II : SITES D'ÉCHANTILLONNAGE ET METHODOLOGIE

II.1. Caractéristiques des sites d'échantillonnage

II.1.1. Situation administrative

Le choix des sites s'est basé, initialement, sur la présence d'un nombre suffisant de touffes de jujubier pour la réalisation d'un échantillonnage statistiquement adéquat (≥ 25 sujets), et accessoirement, notre choix s'est orienté vers les sites qui représentent une variation dans les étages bioclimatiques.

L'échantillonnage a concerné sept sites localisés dans six différentes wilayas du territoire Algérien (Fig. 1) :

- le site de Belkhir (BL), wilaya de Guelma ;
- le site de Boughar (Bg), wilaya de Médéa ;
- le site de Boulhafeddir (Ed), wilaya de Tebessa ;
- les sites de Ainoussara (Bo) et de Messaad (Dl), wilaya de Djelfa ;
- le site de Hassir'mel (Hr), wilaya de Laghouat ;
- le site de Lahmer (Lh), wilaya de Béchar.

II.1.2. Présentation des sites d'étude

II.1.2.1. Le site de Guelma

La wilaya de Guelma fait partie du Tell nord oriental d'Algérie (fig. 1), formant une cuvette entourée par les différentes montagnes (Haoura, Debagh, Mahouna et Dj Nador) (Latifi et Chaab, 2017). Elle fait partie du bassin versant du second fleuve de l'Algérie par ordre d'importance « la Seybouse ». L'aspect géographique de la région se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement, une importante couverture forestière constituée principalement par le chêne liège et le chêne vert, suivie par le pin d'Alep, l'eucalyptus, le chêne zéen, le pin maritime, le pin pignon et finalement le cyprès. Le territoire de la wilaya se caractérise par un climat subhumide au centre et au nord et semi-aride vers le sud, caractérisée par deux périodes différentes, l'une pluvieuse humide, l'autre sèche (Zeghaba et Laraba, 2018).

L'échantillonnage a été réalisé au lieu-dit Rihane situé à la commune de Belkhir (Bl) à 3Km de la ville de Guelma. Une zone agricole, où les jujubiers étaient entourés par des figuiers de barbarie (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.).

II.1.2.2. Le site de Médéa

Médéa se trouve à 70 km au sud d'Alger (fig. 1), située dans une dépression entre le massif de l'Ouarsenis au Sud et l'Atlas blidéen au Nord. Médéa est une zone de transit entre le Tell et le Sahara, d'une part, et entre les Hauts Plateaux de l'Est et ceux de l'Ouest, d'autre part. Elle se compose de trois zones principales (Kaouche et al., 2012) :

- une zone montagneuse, caractérisée par un climat humide et une large couverture forestière comprenant principalement le pin d'Alep, le chêne liège, le chêne vert, l'eucalyptus, le romarin, le frêne et la bruyère (DGF, 2013) ;
- une zone des plaines qui se distingue par la culture des arbres fruitiers et l'élevage ;
- une zone Sud, qui jouit d'un climat semi- aride et une irrégularité de la pluviométrie.

L'échantillonnage a été réalisé à Boughar (Bg), situé dans les monts d'Ouarsenis, à 71 km au sud du chef-lieu de la wilaya de Médéa et à environ 12 km à l'ouest de la commune de Ksar El Boukhari. Les Jujubiers se trouvent dans un relief ondulé au tour des pins d'Alep.

II.1.2.3. Le site de Tébessa

Située au Nord-Est de l'Algérie (fig. 1), la wilaya de Tébessa fait partie du haut plateau tellien. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Souk Ahras, au Sud par la wilaya d'El Oued, à l'Ouest par la wilaya d'Oum El Bouaghi et Khenchla, et à l'Est par la frontière algéro-tunisienne (Bouabida et al., 2012). La végétation naturelle correspond à l'étage semi-aride, elle se compose d'espèces qui s'adaptent aux conditions pédo-climatiques de la région steppique comme le pin d'Alep, le chêne vert, le genévrier de Phénicie, le pistachier de l'Atlas et l'alfa (DGF, 2013).

La population étudiée se situe dans la région de Boulhaf eddir (Ed), localisée à 10km du chef-lieu de wilaya. La zone est à forte vocation agropastorale où le Jujubier forme un micro-écosystème steppique avec des espèces de strate herbacée.

II.1.2.4. Les sites de Djelfa

Située à 300 km au sud d'Alger (fig. 1), assurant la transition entre le nord et le sud de l'Algérie, la Wilaya de Djelfa présente quatre entités distinctes du Nord au Sud. Au Nord, les plaines d'Aïn Oussera sont une zone relativement plane entre 650 et 850 m d'altitude. Au sud de ces plaines, on trouve la dépression des Chotts, Zahrez Gharbi et Zahrez Chergui. La topographie change à la rencontre de la chaîne montagneuse des Ouled Naïl, l'ossature de l'Atlas Saharien. Enfin, au Sud le plateau désertique qui succède au piémont de l'Atlas saharien (Merzeg, 2018). Les forêts occupent les chaînes de montagnes du Senelba, du Djebel Azreg et

du Djebel Bouk'hil. Les forêts sont claires et aérées par manque de sous-bois conséquent et l'inexistence de maquis. Les principales essences forestières rencontrées sont le pin d'Alep, le chêne vert et le genévrier du phénicien. Ce sont les derniers massifs arborescents qui séparent les dépressions du Nord et les plateaux sahariens au Sud et qui jouent un rôle important dans la limitation de la progression du désert vers le nord (Koussa et Bouziane, 2018).

Les deux populations étudiées proviennent de deux régions différentes, la première se localise dans la plaine de Bousedraya, dayate Bousedraya (Bo) à 10km au Sud du chef-lieu de la daïra d'Ain oussara, où les Jujubiers forment une ceinture de touffes avec des pieds de Pistachier de l'Atlas. La seconde station se situe à Deldoul (Dl) à 24 Km du chef-lieu de la daïra de Messaâd, il s'agit, en fait, d'une daya à *Ziziphus lotus* située au fond d'une dépression. Elle se localise dans une zone d'épandage qui reçoit un appoint d'eau de ruissellement.

II.1.2.5. Le site de Laghouat

La wilaya de Laghouat se trouve à 400 km au Sud d'Alger (fig. 1). C'est une région pastorale qui occupe une position centrale en Algérie reliant les hauts plateaux avec le Sahara, elle est limitée au nord, par la wilaya de Tiaret, à l'est, par la wilaya de Djelfa, au sud, par la wilaya de Ghardaïa, à l'ouest, par la wilaya d'El Bayadh. La wilaya est caractérisée par un relief et des formations de hautes plaines steppiques semi-arides. Le reste des terres comprend des terres forestières, des terres agricoles occupées par différentes cultures à savoir : culture céréalière (orge, blé dur, blé tendre, avoine), culture fourragère (luzerne), culture maraichère (pomme de terre, tomate, oignon) et arboriculture. Et finalement, les terres improductives (dunes, dépressions et agglomérations) (Salemkour et al., 2013). Les dayas de Laghouat sont à fond très plat, jamais complètement imperméables, de forme régulière et peuplées de *Pistacia atlantica* et de *Ziziphus lotus*, ainsi que d'autres espèces végétales adaptées à la texture et au régime de submersion temporaire. Cette végétation offre aux dayas un effet oasis, faisant d'elles un refuge d'une biodiversité importante (Pouget, 1980).

L'échantillonnage a été réalisé dans une daya à *Ziziphus* située à Hassi R'mel (Hr), à la limite sud de la wilaya de Laghouat.

II.1.2.6. Le site de Béchar

La wilaya de Béchar située au pied du revers méridional de l'atlas saharien à une distance de 950 km au Sud-Ouest de la capitale Alger (fig. 1). Elle est limitée au Nord par les massifs septentrionaux (Djebel Antar 1960m) et Djebel Horriet (1461m)), et la hamada de Oum Sbaâ, au Sud par Chabket Mennouna, à l'Est par Djebel Bechar (1500m), et à l'Ouest par la

région de Kenadsa (Kabour et al., 2010). Elle appartient à une zone saharienne caractérisée par une aridité apparente et l'irrégularité des précipitations. Les vents de sables sont très fréquents et violents pouvant atteindre la vitesse de 100 km/h. La région se caractérise par une végétation qui apparaît très pauvre.

Nous avons échantillonné dans une oasis de palmeraie dégradée localisé à Lahmar (Lh) située à 34 kilomètres du chef-lieu de la wilaya de Bechar, caractérisée par l'existence de plusieurs sources d'eau, l'oasis est à vocation agro-pastorale dont l'élevage (Rezzoug et al., 2016).

II.1.3. Synthèse climatique des sites d'échantillonnage

Analyser les conditions climatiques d'une région est important pour expliquer les différentes réponses biologiques et écologiques de la faune et de la flore (Root et al., 2003). Pour sa localisation géographique et sa superficie importante, l'Algérie se situe sous un climat de transition, entre la zone tempérée et la zone tropicale, elle se caractérise par un climat de type méditerranéen de la bordure littorale contrasté avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec une saison hivernale pluvieuse, fraîche ou froide, un climat des hauts plateaux et des plaines et un climat désertique au sud. De nombreuses études et cartes sur le climat de l'Algérie ont été réalisées (Seltzer, 1946 ; Bagnouls et Gaussin, 1953 ; Aidoud, 1983 ; Dahmani, 1984 ; Quezel et Berbero 1993 ; Benabadji et Bouazza, 2000 et Bestaoui, 2001).

Pour l'étude climatique, nous avons pris en considération les deux éléments les plus influents sur les formations végétales : la pluviosité et la température. Pour notre synthèse climatique nous nous sommes basés sur les travaux de Seltzer (1946), Chaumont et Paquin (1971) et Le Houerou (1989), qui ont noté l'existence d'une relation linéaire entre les précipitations et l'altitude. Plus l'altitude est élevée, plus les précipitations augmentent. Les données climatiques sur une période de 30 ans, ont été recueillies dans les différentes stations météorologiques (O.N.M., Direction générale d'Alger, Guelma et Djelfa). Pour les sites d'échantillonnages dépourvus de postes d'observations météorologiques, des corrections climatiques ont été réalisées à partir des données des stations les plus proches fournies par l'O.N.M. de dar El Baida, Alger.

Seltzer (1946) révéla qu'à chaque augmentation altitudinale de 100m, la pluviométrie augmente de 40 mm, la température maximale baisse de 0,7°C, la température minimale, elle par contre, baisse de 0,45°C.

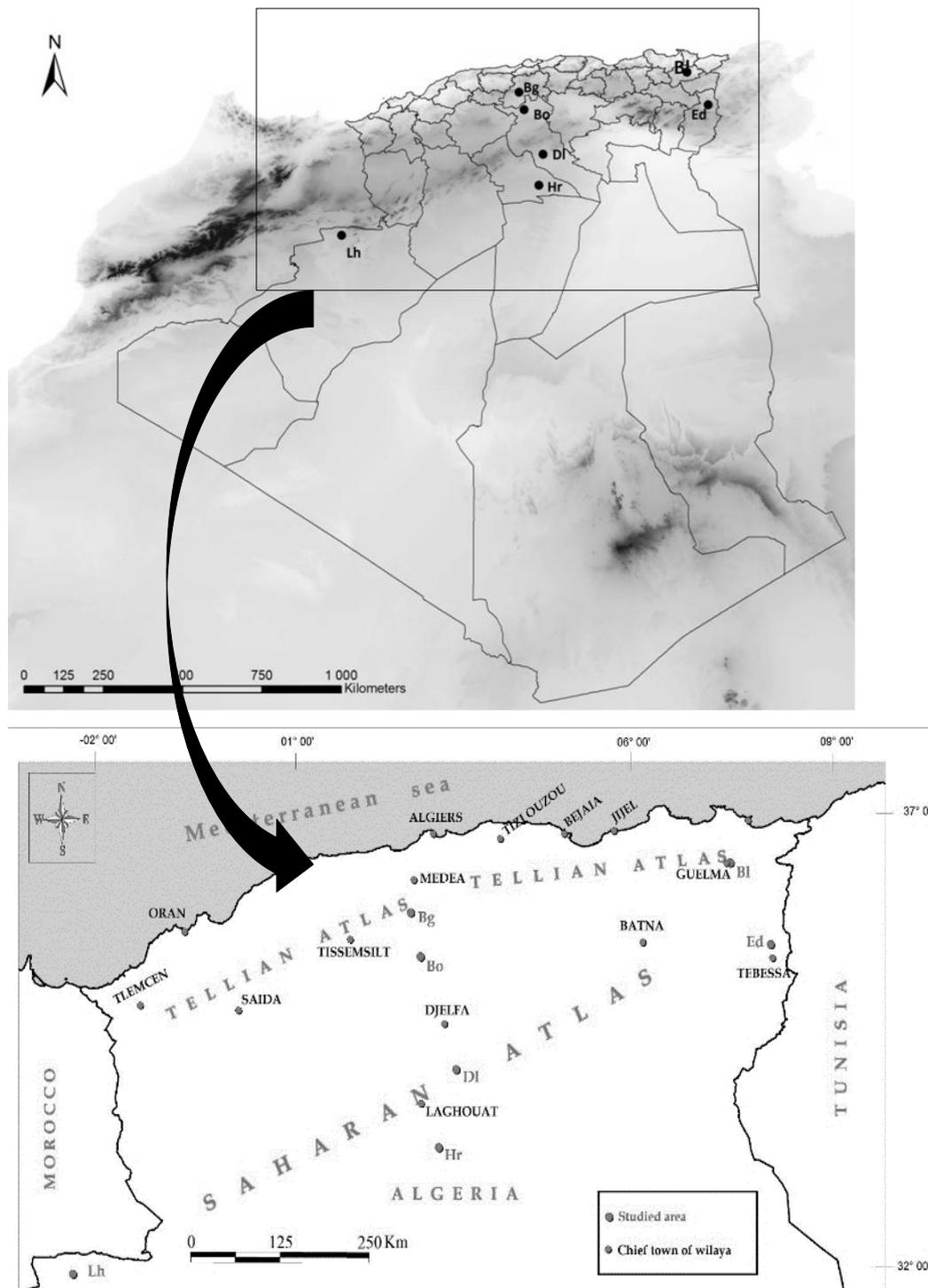


Fig. 1 : Situation administrative des sites d'échantillonnage : Bl, Belkheir ; Ed, Boulhafeddir ; Bg, Boughar ; Bo, Bousedraia ; Dl, Deldoul ; Hr, Hassir'mel et Lh, Lahmer.

II.1.3.1. Les précipitations

Les précipitations sont l'un des facteurs climatiques qui conditionnent le maintien et la répartition du tapis végétal et permettent de déterminer le type de climat (Djebaili, 1978).

II.1.3.1.1. Pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle

Les quantités moyennes de précipitations annuelles et mensuelles de l'ensemble des sites d'échantillonnage sont présentées dans le tableau 1. Les précipitations moyennes annuelles varient entre 75,6mm et 605,94mm, cette variabilité diffère d'une saison à l'autre et d'un site à l'autre. L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Fig.2) pour l'ensemble des sites montrent une variabilité inter-mensuelle et inter-annuelle. Généralement, le maximum pluviométrique est enregistré pendant la période hivernale (78,66mm à Belkheir et 64mm à Boughar). En revanche, les valeurs les plus faibles sont enregistrées durant la période estivale avec 2mm au mois de juillet à Hassi rmel et 2mm au mois d'août à Deldoul. On observe, aussi, une irrégularité pluviométrique qui devient de plus en plus élevée en se dirigeant vers le sud. Les pluies dans les sites sahariens sont très faibles et ne dépassent pas les 13mm enregistrés le mois de mars à Hassi rmel et les 9,8mm enregistré le mois de septembre à Lahmer.

En ce qui concerne, le site le plus pluvieux il s'agit de Belkheir et le plus sec, Lahmer. D'autre part, le mois le plus pluvieux, la prédominance est au mois de janvier au niveau du site de Belkheir dans le nord-est du pays et Boughar, décembre dans la daya de Deldoul, novembre dans les sites steppiques, Eddir et Bousedraia et enfin, mars dans les deux sites du sud saharien, Hassi rmel et Lahmer.

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles en (mm) corrigées pour la période (1985-2015).

Site /Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
Belkhir (Bl)	85,3	68,6	64,2	63,9	48,0	17,9	3,7	15,3	43,4	44,9	72,1	78,7	605,9
El dir (Ed)	34,1	22,4	24,1	33,5	32,8	31,6	15,4	30,4	43,7	42,2	47,3	30,6	371
Boughar (Bg)	64	46	44	35	43	21	3	5	23	37	56	61	438
Bousedraia (Bo)	31	20	23	24	36	21	4	6	19	28	34	30	276
Deldoul (Dl)	22	12	13	15	16	12	3	2	19	20	15	23	172
Hassi rmel (Hr)	9	8	13	10	9	6	2	11	11	12	11	8	110
Lahmer (Lh)	6,1	7,4	8,3	6,7	4,7	8,5	8	4,5	9,8	6,2	5,9	6,7	75,6

II.1.3.1.2. Régimes saisonniers des précipitations

Les régimes saisonniers ont été calculés selon la méthode de MUSSET (1934), à partir du total des pluies de chaque saison ; le classement des sites a été effectué par ordre de pluviosité décroissante en désignant, respectivement, le printemps, l'hiver, l'été et l'automne :

$$\text{Crs} = \text{Ps} \cdot 4 / \text{Pa} \quad \text{où :}$$

Crs : Coefficient relatif saisonnier de MUSSET ;

Ps : Précipitations saisonnières ;

Pa : Précipitations annuelles.

Le Coefficient relatif saisonnier de MUSSET par saison et les précipitations saisonnières pour tous les sites étudiés sont regroupés dans le tableau 2. Deux principaux types de régimes pluviométriques saisonniers ont été enregistrés pour les sept sites étudiés (Fig.3). Le premier se caractérise par un maximum pluviométrique hivernal, cas des sites de Belkheir, Boughar et Deldoul et le deuxième qui se caractérise par un maximum automnal, cas des sites d'Eddir, Hassi rmel et Lahmer.

Les sites de Belkheir et de Boughar s'organisent selon la forme HPAE, ils se caractérisent par un régime pluviométrique hiverno-printanier, avec une dominance des pluies hivernales qui varient en fonction de la latitude et un été sec.

D'autre part, le site de Boussedraia représente la forme PHAE, il se caractérise par deux saisons pluvieuses successives (hiver et printemps) avec une dominance de pluie printanière.

Tandis que, les sites d'Eddir, Hassi rmel, Lahmer et Eddir sont organisés selon les formes AHPE, APHE et AEHP, respectivement. Ils se caractérisent par une pluviosité automnale plus élevée que celles enregistrées en hiver et au printemps.

Enfin, le site de Deldoul qui s'organise selon la forme HAPE avec deux saisons pluvieuses, l'hiver et l'automne.

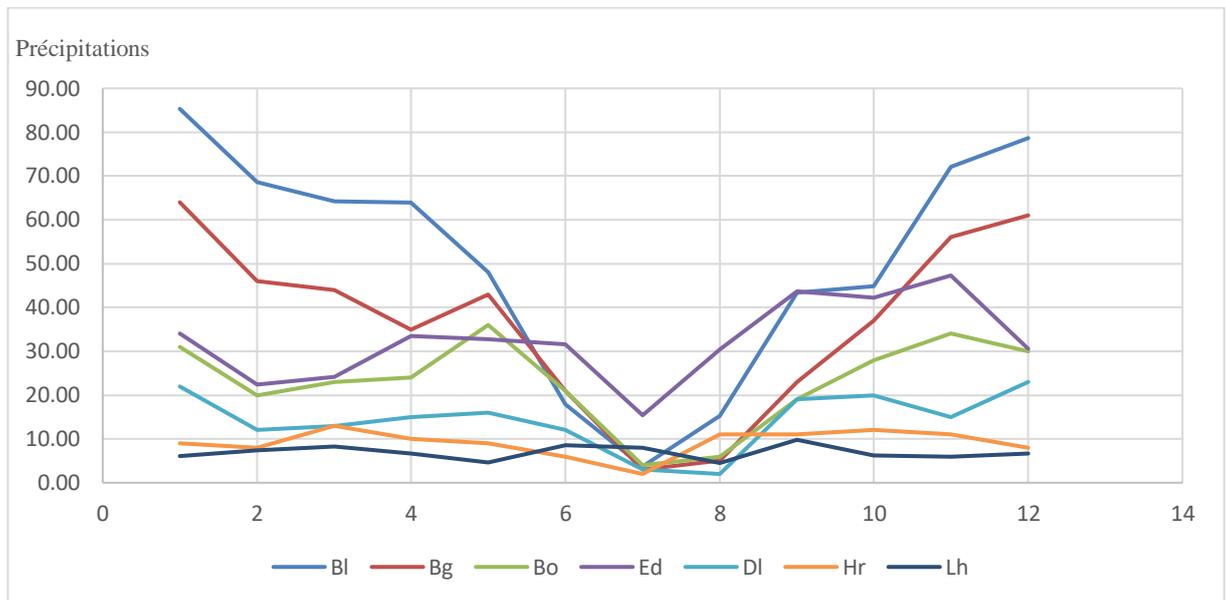


Fig.2 : Variation mensuelle des précipitations en mm des sites étudiés (1985-2015).

Tableau 2 : Répartition des précipitations par saison en mm et le coefficient relatif saisonnier de MUSSET pour les sites d'étude.

Site/Saison	Hiver		Printemps		Eté		Automne		Régime Saisonnier*
	Ps	Crs	Ps	Crs	Ps	Crs	Ps	Crs	
Belkhir (Bl)	232,5	1,05	176,1	1,53	36,95	1,16	160,29	0,24	HPAE
El dir (Ed)	92,5	1,43	90,4	0,99	77,4	0,97	133,2	0,83	AHPE
Bouhar (Bg)	171	1,05	122	1,56	29	1,11	116	0,26	HPAE
Boussedraia (Bo)	81,9	1,17	83	1,15	31	1,20	81	0,44	PHAE
Deldoul (Dl)	57	1,23	44	1,29	17	1	54	0,38	HAPE
Hassirmel (Hr)	23	1,23	32	0,83	19	1,16	34	0,69	APHE
Lahmer (Lh)	20,2	1,15	19,7	1,06	21	1,04	21,9	1,11	AEHP

* : Chaque saison est définie par son initial soit : (A ; Automne, H ; Hiver, P ; Printemps, E ; Eté).

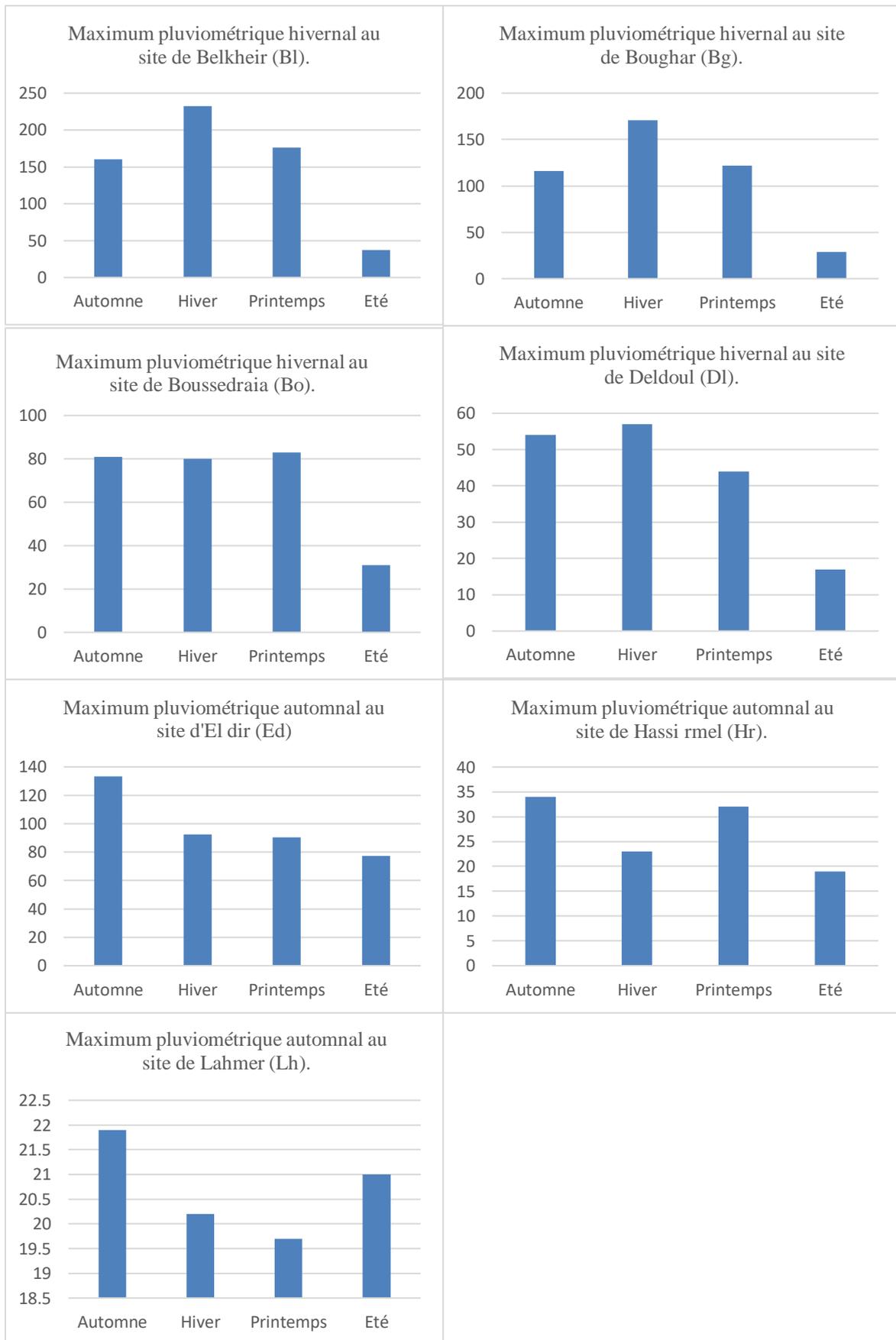


Fig.3 : Régimes pluviométriques saisonniers des sites étudiés.

II.1.3.2. La température

La température est un facteur limitant, qui agit directement sur la vie des plantes et sur leur environnement (Dreux, 1980), contrôle leur fonction physiologique (assimilation chlorophyllienne, photosynthèse et respiration), leur la croissance et développement, leur échange avec le sol et conditionne leur répartition (Ramade, 1984).

II.1.3.2.1. Les températures moyennes mensuelles et annuelles

Pour l'ensemble des sites d'étude, les températures moyennes mensuelles du mois de novembre au mois d'avril sont inférieures aux moyennes annuelles (Tableau 3), les plus fortes diminutions des températures mensuelles sont enregistrées au niveau d'Eddir, Boussedraia, Boughar et Deldoul, respectivement. A partir du mois de mai jusqu'au mois d'octobre des accroissements de température sont enregistrés dans tous les sites étudiés, permettant ainsi de diviser l'année en une période froide et une période chaude. Les mois de juillet et août (saison d'été) représentent les deux mois les plus chauds de l'année pour tous les sites étudiés.

La moyenne mensuelle maximale des températures est enregistrée au mois de juillet à Lahmer (34,4°C) alors que la moyenne mensuelle la plus faible est enregistrée à Eddir en janvier (7,2°C).

Tableau 3: Températures moyennes mensuelles et annuelles en (°C) corrigées pour la période (1985-2015).

Site /Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
Belkheir (Bl)	10,5	10,3	12,8	14,9	19,3	23,8	27,1	27,8	24,4	20,4	14,9	11,3	18,11
Boughar (Bg)	7,6	8,9	11,4	14	17,7	22	26,2	26,5	22,5	17,3	12,3	8,5	16,24
Boussedraia (Bo)	7,7	8,7	10,7	13,1	16,4	20,1	23,9	24,1	21	16,5	11,9	9,1	15,27
Eddir (Ed)	7,2	7,5	11,3	14,3	19,9	24,1	27,3	26,9	22,2	18,2	11,9	8,3	17,10
Deldoul (Dl)	7,8	9,4	12	15,8	20,1	25,5	28,9	27,9	23,5	17,4	11,9	8,4	17,38
Hassirmel (Hr)	8,3	10,1	13,2	17,6	22,5	27,7	31,4	30,4	25,4	18,6	12,7	8,9	18,90
Lahmer (Lh)	10,2	12,1	17	20,9	25,1	30,8	34,4	33,1	28,3	22,4	15,2	10,9	21,80

II.1.3.2.2. Températures moyennes des maxima du mois le plus chaud « M » :

Le maxima thermique « M » est la valeur du mois le plus chaud de l'année, elle est aussi importante que « m » puisqu'elle représente un facteur limitant pour certains végétaux. Les moyennes thermiques du mois le plus chaud de l'année (M), oscillent entre 40,1°C à Hassir'mel et 34,88°C à Belkheir.

II.1.3.2.3. Températures moyennes des minima du mois le plus froid « m » :

Les moyennes des minima du mois le plus froid (m) varient entre 0,5°C à Boussehraia et 3,7°C à Boughar. D'autre part, le mois le plus froid pour la majorité des stations est le mois de janvier (saison d'hiver).

Tableau 4 : Moyennes des Maxima (M) et des Minima (m).

Site d'échantillonnage	M (°C)	m (°C)
Belkheir (Bl)	34,9	3,3
Eddir (Ed)	35,4	2,7
Boughar (Bg)	32,4	3,7
Boussehraia (Bo)	35,8	0,5
Deldoul (Dl)	36,3	1,3
HassiRmel (Hr)	40,1	2,3
Lahmer (Lh)	41	2,5

II.1.3.3. Seuils biocritiques de $T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $T < 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ et repos végétatif hivernal

Les plantes ralentissent leur activité végétative dès que la température moyenne mensuelle est inférieure au seuil biocritique de 10°C (Mitrakos, 1982 ; Voliotis, 1982). Seltzer (1946) a signalé que le risque de gelée blanche commence dans le tell algérien quand la température est inférieure à 10°C.

Pour nos sites d'étude, la période de repos végétatif dure trois mois (décembre, janvier et février) dans les sites de Boughar, de Boussehraia, d'Eddir et de Deldoul et deux mois (décembre et janvier) dans le site de Hassi rmel. En revanche, aucun site ne présente une période où $T < 7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

II.1.3.4. Diagramme ombrothermique

D'après Bagnouls et Gaussen (1953), un mois sec est un mois où le total des précipitations est inférieur ou égal au double des températures enregistrées : $P \leq 2 T$, en région méditerranéenne. En revanche, quand $P > 2T$, le mois est considéré comme humide.

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen nous aide à mettre en évidence les périodes sèches de l'année, il représente deux courbes des variations mensuelles des températures et des précipitations de l'année.

La figure 4 montre les diagrammes ombrothermiques pour les sites étudiés, pour le site de Belkheir, le diagramme ombrothermique fait distinguer deux périodes, l'une froide et humide, s'étalant du mois d'octobre au mois d'avril et l'autre sèche qui s'étale sur cinq mois, de mai à la deuxième quinzaine du mois de septembre.

Pour le site de Boughar, la période sèche s'étale également sur 4 mois, mais cette dernière débute le mois de mars et se décale au mois d'octobre.

Pour le site de Boussedraia, le diagramme ombrothermique montre une période froide qui dure quatre mois (de novembre à mars) et une seconde période, sèche et chaude, de huit mois (de mars jusqu'à la fin du mois d'octobre).

Pour le site d'Eddir, la saison sèche s'étale sur dix mois de l'année, du mois de février au mois d'octobre. De même, à Deldoul, la saison sèche s'étale sur dix mois, de fin janvier à fin novembre.

Cependant, les diagrammes ombrothermiques de Hassi rmel et Lahmer, mettent clairement en évidence la présence d'une saison sèche prolongée, qui s'étale sur tous les mois de l'année, persiste au cours du printemps, été, automne et hiver.

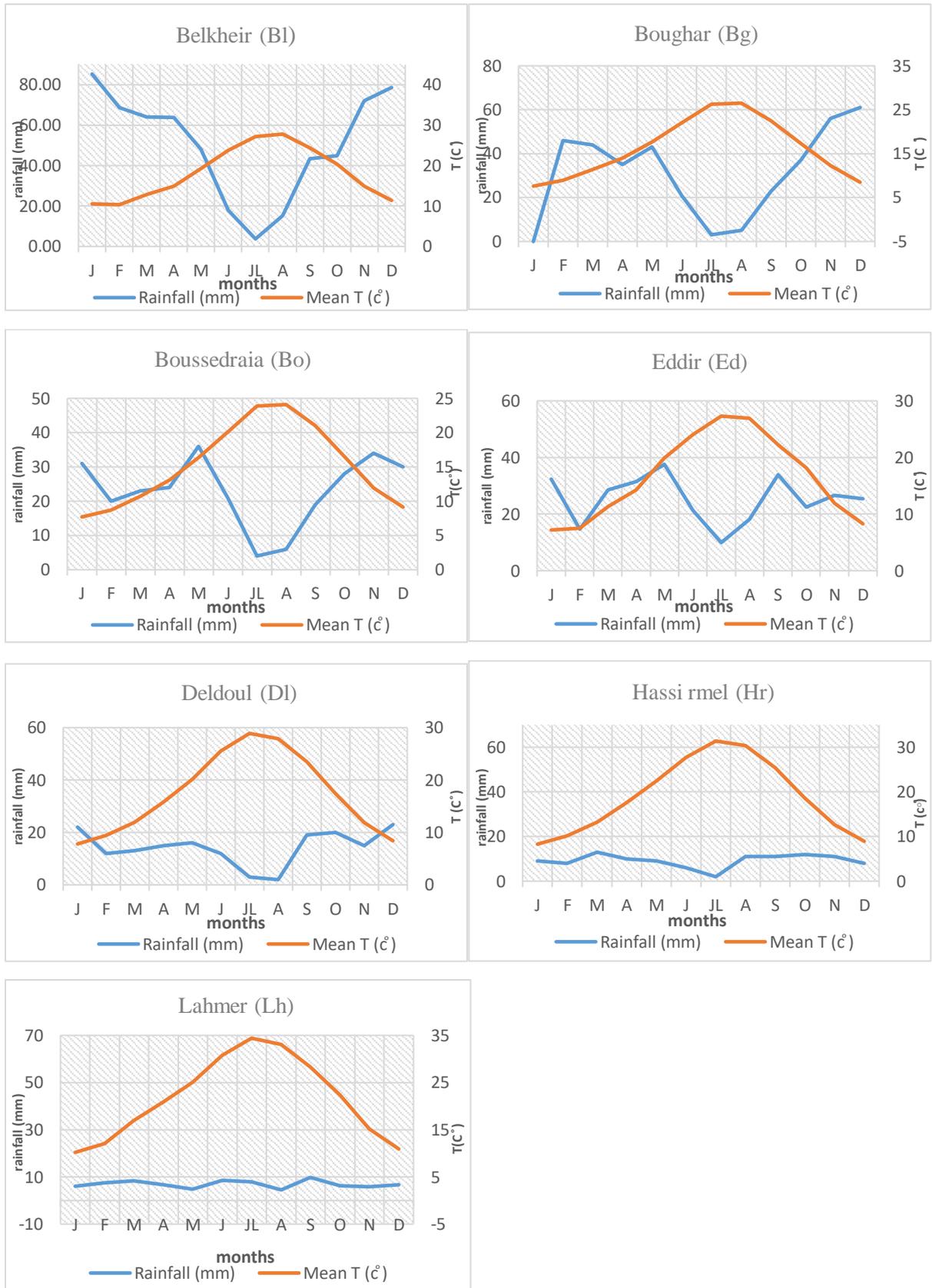


Fig.4 : Représentation des diagrammes ombrothermiques pour l'ensemble des sites étudiés.

II.1.3.5. L'indice d'aridité de De Martonne

La région aride se caractérise par un grave manque d'eau, ayant pour conséquence de freiner, voire empêcher, la croissance et le développement de la végétation (Mokhtari et al., 2013). Plusieurs indices existent dans la littérature ; l'indice de De Martonne (1926), Emberger (1936) et Gaussen (1956).

L'indice d'aridité De Martonne (1926) appelé aussi « indice de sécheresse de De Martonne », est un indicateur du degré annuel du manque d'eau dans une région, il s'exprime comme suit : $I = P / (T + 10)$.

Où :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

T : Température moyenne annuelle en (°C).

Au niveau mondial, De Martonne a proposé cinq grands types de macroclimats allant des zones hyperarides aux zones humides (Mokhtari et al., 2013) :

- $I < 5$, aridité absolue, désert ;
- $I = 5$ à 10 déserts (arides) désert et steppe ;
- $I = 10$ à 20 semi-arides formations herbacées, steppes ou savanes ;
- $I = 20$ à 30 semi-humide, prairies naturelles ;
- $I = 30$ à 40 humide, les arbres jouent un rôle de plus en plus grand dans le paysage ;
- $I \Rightarrow 40$ humide, la forêt est partout, la formation climacique.

Le tableau 5 montre l'indice d'aridité calculé pour les sites étudiés. L'indice de De Martonne le plus élevé est enregistré au site de Belkheir qui est classé comme région humide, ensuite viennent les sites de Boughar, d'Eddir, de Boussehraia et de Deldoul qui sont classés comme semi-arides et finalement, les sites de Hassi rmel et Lahmer, possèdent la valeur la plus faible de l'indice ce qui signifie qu'ils sont les sites les plus arides.

Tableau 5 : Indices d'aridité de De Martonne calculés pour l'ensemble des sites étudiés.

Site	Belkheir (Bl)	Eddir (Ed)	Boughar (Bg)	Boussehraia (Bo)	Deldoul (Dl)	Hassir'mel (Hr)	Lahmer (Lh)
Indice d'aridité	40,45	21,69	20,96	19	11,88	10,82	10,46

II.1.3.6. Amplitude thermique moyenne, indice de continentalité

Selon Emberger (1943), l'amplitude thermique annuelle est un facteur important de la répartition de la flore dans le monde. Il a aussi signalé que la vie des espèces végétales se déroule entre deux pôles thermiques ; la moyenne des minima du mois le plus froid (m) et la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) et que ces deux valeurs de températures extrêmes jouent un rôle important dans la répartition de la végétation.

L'indice de Continentalité, se présente comme suit: $I. C = M - m$.

Où, la valeur de cet indice indiquent les différents types de climats:

- $M-m < 15$: climat insulaire ;
- $15 > M-m < 25$: Climat littoral ;
- $25 > M-m < 35$: Climat semi-continental ;
- $M-m > 35$: Climat continental.

D'après les résultats présentés dans le tableau 6, les sites de Belkheir, Eddir, Boughar, Boussedraia et Deldoul ont un climat semi-continental, caractérisé par une véritable différence entre l'hiver et l'été, les hivers sont froids, les étés chauds, secs et ensoleillés. Tandis que les sites du sud, Hassi rmel et Lahmer sont soumis à un climat de type continental, marqué par une saison estivale chaude et orageuse et une saison hivernale froide et plutôt sèche.

Tableau 6 : Indice de continentalité calculé pour l'ensemble des sites étudiés.

Site	Belkheir (Bl)	Eddir (Ed)	Boughar (Bg)	Boussedraia (Bo)	Deldoul (Dl)	Hassir'mel (Hr)	Lahmer (Lh)
Indice de continentalité	31,5	33,21	31,7	32,4	33,6	37,4	37,3

II.1.3.7. L'indice Xerothermique d'Emberger ou l'indice de la sécheresse estivale

Emberger (1955), a rajouté au Q_2 qui ne tient pas compte de la xéricité, l'indice (S) de l'intensité de la sécheresse estivale, si la valeur du $S < 7$, le climat est considéré comme méditerranéen. L'indice se calcule selon l'équation suivante : $I. X = PE / M$ Où :

PE : est la somme des précipitations moyennes estivales ;

M : la moyenne des températures du mois le plus chaud.

Du point de vue phytogéographique, tous les sites d'échantillonnage sont soumis à un

climat de type méditerranéen (Tableau 7).

Tableau 7 : Indice Xerothermique d'Emberger calculé pour l'ensemble des stations étudiées.

Site	Belkheir (Bl)	Eddir (Ed)	Boughar (Bg)	Boussedraia (Bo)	Deldoul (Dl)	Hassir'mel (Hr)	Lahmer (Lh)
Indice Xérothermique	1,06	2,18	0,89	0,86	0,46	0,47	0,51

II.1.3.8. Quotient pluviothermique et Climagramme d'Emberger

L'indice pluviothermique d'Emberger (Emberger, 1955), est l'un des indices bioclimatiques généralement utilisés en Méditerranée et en Afrique du Nord. Cet indice prend en compte les précipitations annuelles et les moyennes des extrêmes thermiques (du mois le plus chaud et du mois le plus froid) : $Q_2 = K \cdot P / (M - m)$.

Stewart (1968), a donné une constante $K = 3,43$ pour l'Algérie et le Maroc, d'où vient la formule du quotient Q_3 :

$$Q_3 = 3.43 P / (M - m).$$

Où :

Q_3 : Quotient pluviométrique en mm/°C ;

3,43: Constante relative à la région : Algérie-Maroc ;

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm ;

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C ;

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °C.

Emberger a subdivisé l'aire du climagramme en zones caractéristiques par des aridités croissantes de haut en bas en étages bioclimatiques de végétation (Mokhtari et al., 2013) : Etage saharien, étage aride, étage semi-aride, étage sub-humide, étage humide et étage per-humide.

II.1.3.9. Localisation des sites d'échantillonnage dans le climagramme d'Emberger

Selon leur localisation nos sites d'échantillonnage représentent les quatre domaines climatiques d'Algérie (Fig.5):

-Climat subhumide tempéré représenté par la station de Belkheir dans la région nord-est

- du pays ;
- Climat semi-aride tempéré représenté par les sites d'El dir et Boughar situées dans la région steppique du pays ;
 - Climat aride froid représenté par les stations de Bussedraia et climat aride frais représenté par le site de Deldoul, situées dans les hautes plaines steppiques ;
 - Et enfin, le climat saharien frais représenté par les sites très arides de Hassi rmel et Lahmer situées au sud-ouest du pays.

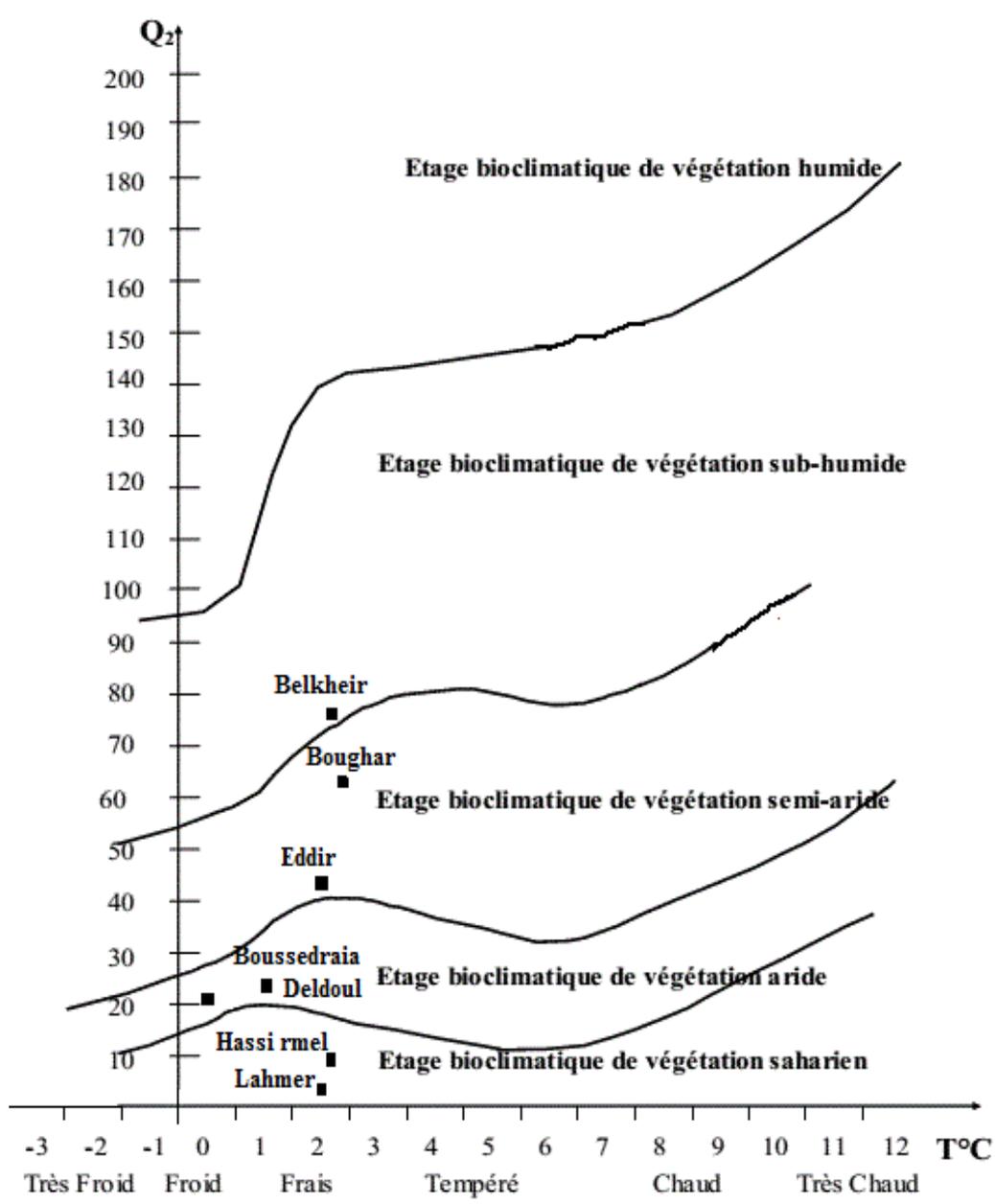


Fig.5 : Classement bioclimatique des sites étudiés sur le climagramme pluviothermique d'EMBERGER.

II.1.4. Synthèse

La synthèse climatique nous a permis de présenter un tableau récapitulatif, résumant les variables écologiques (quantitatif) des stations d'échantillonnage, utilisées dans notre étude pour essayer d'expliquer la variabilité morphologique de *Z. lotus* dans les différentes provenances (Tableau 8).

Tableau 8. Caractéristiques écologiques des stations d'échantillonnage.

Sites d'étude	Latitude	Longitude	Altitude (m)	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q ₃	Bioclimats	Régimes saisonniers	Saison sèche (mois)
Belkhir (Bl)	36°27'N	07°29'E	210	605.9	34.9	3.3	65.9	Subhumide tempéré	HPAE	4
Boughar (Bg)	35°54'N	5°54'E	860	438	35.4	3.7	52.3	Semi-aride tempéré	HPAE	6
El dir (Ed)	35°33'N	0°11'E	818	302.4	35.4	2.7	31.2	Semi-aride frais	AHPE	4.5
Boussedraia (Bo)	35°25'N	2°51'E	737	276	35.8	0.5	18.9	Aride frais	PHAE	6
Deldoul (Dl)	34°10'N	3°37'E	810	172	36.3	1.3	17.5	Aride frais	HAPE	10
HassiRmel (Hr)	33°19'N	03°08'E	808	110	40.1	2.3	10.1	Saharien frais	APHE	12
Lahmer (Lh)	31°55'N	-2°13'E	882	75,6	41	2.5	6.9	Saharien frais	AEHP	12

1. M, moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés Celsius ; m, moyenne des minima du mois le plus froid en degrés Celsius ; P, pluviométrie en mm/an ; Q₃, quotient pluviothermique d'Emberger modifié par Stewart (1969) (Source : O.N.M., Office national de la météorologie d'Alger).
2. Chaque saison est définie par son initial soit : (A ; Automne, H ; Hiver, P ; Printemps, E ; Eté).

II.2. Méthodologie

Dans cette section nous allons aborder toutes les méthodes ainsi que le matériel utilisé dans notre recherche. Le détail est repris plus loin dans le chapitre III (article 1). L'article 1 étant en anglais, nous allons faire en sorte de reprendre les informations les plus importantes dans cette section.

II.2.1. Caractérisation pédologique des sites d'échantillonnage

L'échantillonnage adopté dans cette étude consiste à caractériser les principaux sols qui caractérisent les stations d'échantillonnage. Chaque station est représentée par deux échantillons représentatifs. Les prélèvements ont été effectués sur une profondeur entre 0 cm et 20 cm. Les échantillons de sols prélevés sont séchés à l'air, broyés et tamisés à 2mm.

II.2.1.1. Analyses physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés ont été déterminées à l'aide des techniques standards de pédologie exposées par Aubert (1978) :

- **pH « eau » et pH « KCL »** : mesuré au pH-mètre sur une solution sol/eau à 1/2,5.
- **la conductivité électrique** (CE, exprimée en millisièmes par centimètre (mS/cm)) sur une suspension sol-eau (1/5).

- **Matière organique** quantifiée par la méthode de la perte au feu : la perte de poids d'un échantillon après calcination, est déterminée par incinération d'un gramme de matière fine du sol à l'état sec dans un four à moufle durant cinq heures à une température de 550 °C. Elle est calculée selon la formule suivante : $MO = Qi - Qf$, avec Qi : la quantité initiale et Qf : la quantité finale.

- **Calcaire total**, réalisé à l'aide du Calcimètre de Bernard, c'est-à-dire par mesure du volume de CO_2 dégagé, suite à l'action d'un excès d'acide chlorhydrique sur un poids connu d'échantillon. Le calcul et l'expression des résultats se font par l'intermédiaire de la réaction suivante : $CaCO_3 = (V' \times 0,3 / V \times P) \times 100$.

V , étant le volume de CO_2 produit par 0,3 g de $CaCO_3$ pur et sec ;

V' , le volume de CO_2 produit par 0,3g de $CaCO_3$ contenu dans un poids P de sol ;

Et enfin P , le poids de la prise d'essai de terre en grammes.

- **Humidité résiduelle (HR)** : déterminée par la différence des pesées du sol séché à l'air ambiant et chauffé à 105°C, puis calculée selon la formule suivante :

$$HR = \frac{P_2 - P_3}{P_3 - P_1} \times 100$$

Avec :

- P_1 : poids de la capsule vide ;
 P_2 : poids de la capsule vide + les 10gr de terre fine ;
 P_3 : poids (capsule vide + terre séchée à l'étuve).

- **La granulométrie** est déterminée par tamisage humide (Afnor, 1990). Elle a pour but de déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules et de définir la texture des sols. En fait, les blocs ($> 20\text{cm}$), les cailloux (20 à 2cm), les graviers (2cm à 2mm) sont exclus de l'analyse granulométrique qui ne prend en compte que la fraction inférieure à 2mm appelée terre fine. Les particules sont assemblées en agrégats, les traitements préalables adaptés à la nature des produits agrégeant (calcaire, ciments amorphes, matière organique) désolidarisent les particules. Selon Atterberg (1912), les classes granulométriques de la terre fine sont :

- Les sables grossiers entre 2 mm 200μ ;
- Les sables fins entre 200μ 50μ ;
- Les limons grossiers entre 50μ 20μ ;
- Les limons fins entre 20μ 2μ ;
- Les argiles $< 2\mu$.

Sur un échantillon de terre séché à l'air, broyé et tamisé à 2mm , on assure une destruction des ciments (organique par H_2O_2 et calcaire par HCl), puis le même échantillon subit une dispersion dans une solution alcaline, et le prélèvement s'effectue en déduisant la hauteur de prélèvement par la pipette de Robinson, il suffit de rapporter les pourcentages d'argiles, de limons et de sables sur le triangle des textures.

II.2.2. Récolte du matériel végétal

Les feuilles étudiées proviennent de sept populations naturelles (six pour les fruits car nous avons raté la bonne période d'échantillonnage à Hassirmel à cause d'un décalage dans la phénologie de l'espèce).

Notre choix de sites s'est orienté vers la présence d'une variation dans les étages bioclimatiques et la présence d'un nombre suffisant de sujets, d'autre part, nous avons essayé d'échantillonner dans des terrains à très faible pente afin d'assurer l'homogénéité topographique. La récolte du matériel végétal s'est faite en plusieurs étapes. Les feuilles en juillet, alors que les fruits ont été récoltés vers la fin du mois d'août ou début septembre. Pour chaque population, 25 arbustes ont été choisis aléatoirement, 30 feuilles et 30 fruits

complètement développées ont été prélevés, de chaque arbuste, au total 175 arbustes, 5250 feuilles (pour les 07 stations) et 4500 fruits (pour les 6 stations) ont ainsi été étudiés. Les échantillons récoltés ont tous été séchés au laboratoire à l'air libre et stockés dans des sacs en papier, jusqu'à leur utilisation.

II.2.3. Etude morphologique

Pour les mensurations biométriques des caractères morphologiques pour les feuilles, les fruits, les endocarpes et les graines, nous nous sommes inspirés des descripteurs établis pour les espèces de *Ziziphus mauritiana* (Chege et al., 2021), de pistachiers (I.P.G.R.I., 1997) et pour le Caroubier (Batlle et Tous, 1997), et des études précédentes menées sur la variabilité morphologique du pistachier de l'Atlas (Belhadj, 2007). Un total de vingt-trois variables morphologiques (12 quantitatives et 11 qualitatives), ont ainsi été mesurées (Tableaux 9 et 10).

II.2.3.1. Descripteurs morphologiques des feuilles

Au total, 10 variables morphologiques ont été mesurées pour les 5250 feuilles échantillonnées : sept variables qualitatives (07) : Forme de la feuille (Ff), , forme du pétiole (Fp), marge de la feuille (Fm), forme de la base de la feuille (Fb), forme de l'apex de la feuille (Fa), présence de poils sur les feuilles (P) et présence de cire à la surface de la feuille (Ci) ; et trois variables quantitatives (3): longueur de la feuille en cm (Lnf), largeur de la feuille en cm (Lrf) et longueur du pétiole en cm (Lnp) (Fig.6A).

II.2.3.2. Descripteurs morphologiques des fruits

L'observation a concerné trente fruits non parasités par individu, soit au total 4500 fruits sur l'ensemble des populations de *Z. lotus* étudiées. Cinq variables morphologiques ont été mesurées (5) : trois variables quantitatives et deux variables qualitatives. La longueur en mm (Lnfr) et le largeur en mm (Lrfr) de chaque fruit sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de $\pm 0,1$ mm. La longueur est prise du point d'attache du fruit à la branche jusqu'à l'extrémité du fruit alors que la largeur est mesurée au niveau du plus grand diamètre du fruit, le poids du fruit (Pfr) exprimé en gramme, a été déterminé à l'aide d'une balance Mettler (type PE 160, max = 160 g, min = 0,5 mg \pm 0,1 mg). On a noté aussi la forme (Ffr) ainsi que la couleur du fruit (Cfr) (Fig.6 B).

II.2.3.3. Descripteurs morphologiques de l'endocarpe

Les descripteurs de l'endocarpe mesurés concernent trois variables (3) : deux quantitatives : la longueur en mm (Lne), la largeur en mm (Lre) à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de $\pm 0,1$ mm et une variable qualitative : le nombre de graines par endocarpe (Ng). La mesure a concerné 4500 endocarpes sur l'ensemble des six populations (Fig.6C).

II.2.3.4. Descripteurs morphologiques des graines

Au niveau des graines, nous avons mesuré cinq variables morphologiques (5) : quatre variables quantitatives : la longueur en mm (Lngr), la largeur en mm (Lrgr) et l'épaisseur (Egr) à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de $\pm 0,1$ mm et enfin deux variables qualitatives : la forme (Fgr) et la couleur (Cgr), ont été décrites (Fig.6C). Le poids des graines exprimé en gramme (Pgr) a été également déterminé à l'aide d'une balance Mettler (type PE 160, max = 160 mg, min = 0,5mg $\pm 0,1$ mg).

II.2.3.5. Etude des surfaces épidermiques

II.2.3.5.1. La densité stomatique et la biométrie des stomates

Cinq feuilles saines adultes de chaque pied ont été choisies pour l'étude stomatique. La méthode de l'impression épidermique proposée par Hilu et Randall (1984) a été utilisée pour la mesure de la densité stomatique et la réalisation des mesures biométriques pour les stomates. Le principe de la méthode consiste à réaliser une impression ou un moulage de la surface de l'épiderme foliaire sur une bande adhésive. Du vernis incolore était appliqué directement sur la feuille. Une fois séché, le film obtenu était prélevé, puis examiné au microscope optique, à un grossissement de 40×10 , relié à un ordinateur. Les mesures de dimensions des stomates et la densité stomatique ont été comptées pour dix champs microscopiques, soit un total de 250 observations pour chaque pied (aussi bien pour la face adaxiale que pour la face abaxiale). Les observations effectuées pour les stomates ont porté sur trois variables quantitatives : la longueur du stomate (Lns), la largeur du stomate (Lns) et la densité stomatique (Ds), c'est-à-dire, nombre de stomates par mm^2 de surface foliaire, pour les deux faces foliaires (Tableau 10 et Fig.7). Au total 3500 mesures ont été ainsi effectuées.

II.2.3.5.2. Surfaces foliaires et poils épidermiques au M.E.B.

Pour l'étude des surfaces foliaires, des échantillons de feuilles ont aussi été préparés pour leur observation au microscope électronique à balayage MEB (FEI/Philips XL-30 Field Emission ESEM).

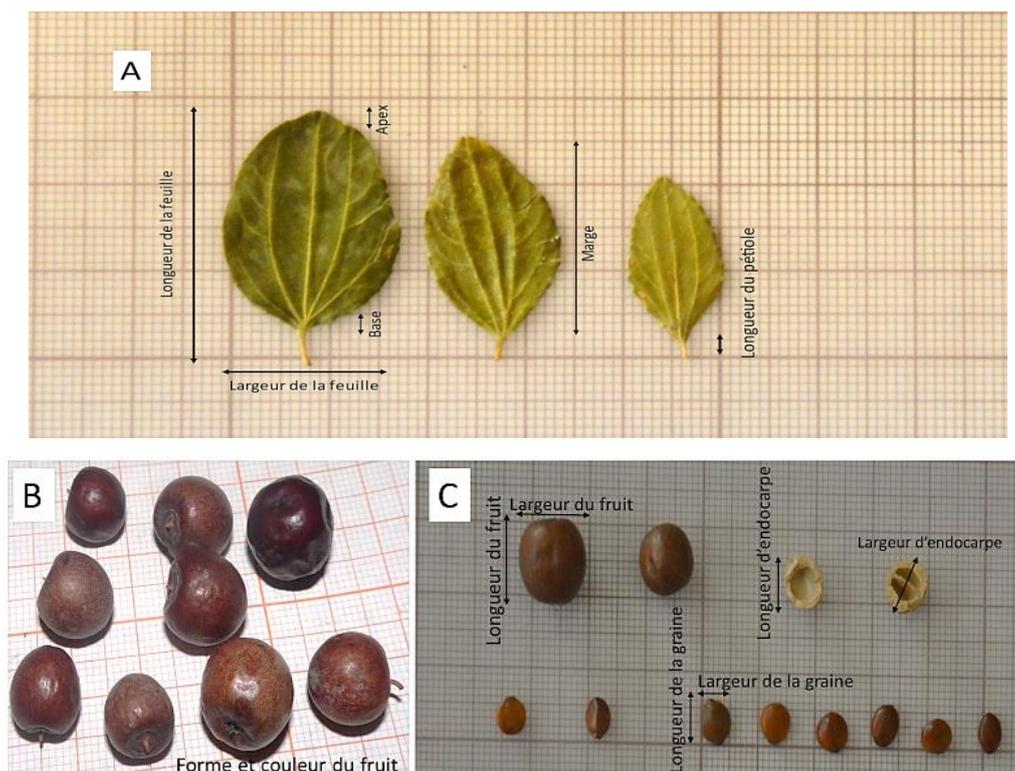


Fig. 6: Parties végétales étudiées : (A) dimensions des feuilles de *Ziziphus lotus*; (B) différentes formes et couleurs du fruit de *Ziziphus lotus* et (C) dimensions des fruits, des endocarpes et des graines de *Ziziphus lotus*.

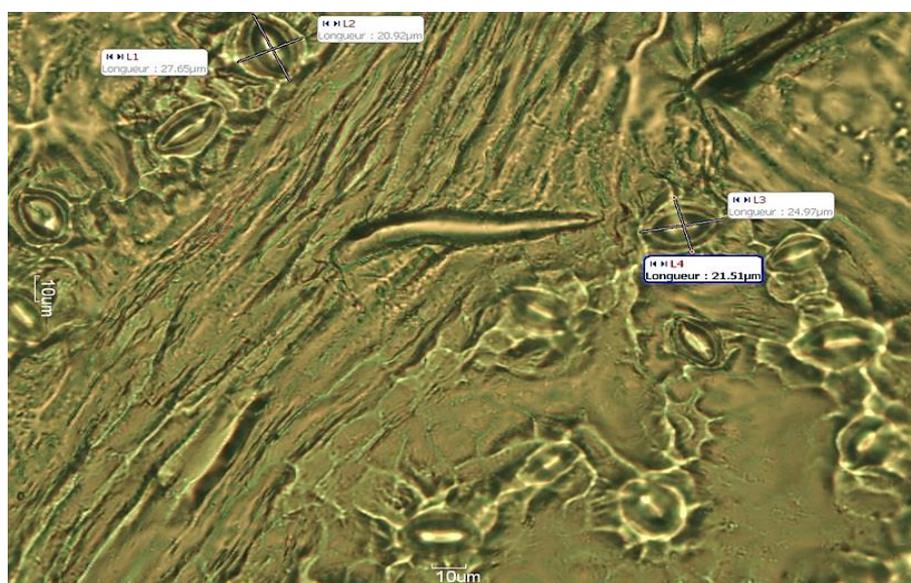


Fig.7 : Mesures biométriques pour les stomates de *Z. lotus* (station de Bousdriaia, Djelfa) au microscope optique (grossissement 400x) relié à un ordinateur à l'aide d'un logiciel d'analyse d'images (Motic Images Plus 2.0).

Trois feuilles de chaque population ont été traitées pendant cinq heures à l'alcool à 90° sous ultrasons, pour les nettoyer des résidus de poussière et de cire, puis séchées à l'air libre.

Trois autres feuilles par population ont été utilisées sans aucun traitement au préalable. Des morceaux de limbe de 0,5cm² sont découpés et ainsi métallisés avant leur observation. Ensuite, trois échantillons par station sont couverts d'une fine couche d'or et placés sur des stubs afin d'être observé au MEB. Les surfaces foliaires adaxiales et abaxiales ont été observées sous différents grossissements et des micrographies numériques ont été prises à différentes échelles. La forme de la marge des feuilles, le type de trichomes, la forme des cellules épidermiques et l'agencement des stomates, la forme de la nervure médiane ainsi que l'occurrence de cire, ont été observés.

Tableau 9. Descripteurs des variables qualitatives mesurées pour les feuilles, les fruits et les graines de *Ziziphus lotus*.

Variables qualitatives	Feuille
	Forme de la feuille (FF) : 1-Lancéolée élargie ; 2-Ovale ; 3-Elancée ; 4-Ronde ovale ; 5- Arrondie.
	Forme du pétiole (FP) : 1-Arrondi ; 2-Aplati ; 3-Arrondi droit sur la face supérieure.
	Forme de la base (FB) : 1-Décrochée ; 2- cunéiforme ; 3-Truncate ; 4-Oblique.
	Forme de l'apex (FA) : 1-Accuminé ; 2- Aigu ; 3- Arrondi ; 4-Tronqué ; 5-Echancré.
	Marge de la feuille (FM) : 1-Faiblement dentée ; 2-Dentée serrulée ; 3-Fortement dentée.
	Présence de cire (CI) : 0-Absence ; 1-rare ; 2-Présence ; 3-trés abondante : sur la face abaxiale
	Présence de poils (P) : 0-Absence ; 1-Rare ; 2-Présence ; 3-Plusieurs : sur la face abaxiale.
	Fruit
	Forme du fruit (Ffr) :1-Globulaire ; 2-Globulaire lenticulaire ; 3-Ovoïde globulaire ; 4- Ovoïde.
	Couleur du fruit (Cfr) :1-Marron clair ; 2-Marron chocolat ; 3-Marron rougeâtre ; 4- Orange
	Nombre de graine par fruit : (1) ; (2) ; (3)
	Graine
	Forme de la graine (Fgr) : Globulaire (1) ; Ovoïde (2) ; Globulaire lenticulaire (3)
Couleur de la graine (Cgr) : Marron rougeâtre (1) ; Marron foncé (2) ; Marron clair (3)	

Tableau 10. Descripteurs des variables quantitatives mesurées pour les feuilles, les fruits, l'endocarpe, les graines et les stomates de *Ziziphus lotus*.

Variables quantitatives	Feuille
	Longueur de la feuille en cm (Lnf).
	Largeur de la feuille en cm (Lrf).
	Rapport (longueur/ largeur) de la feuille (R1)
	Longueur du pétiole en cm (Lnp).
	Stomate
	Longueur du stomate sur la face adaxiale en μm (Lnsd)
	Largeur du stomate sur la face adaxiale en μm (Lrsd)
	Rapport (Longueur/ Largeur) du stomate sur la face adaxiale (R2)
	Densité stomatique en nombre de stomates/ mm^2 de surface foliaire sur la face adaxiale (Dsd)
	Longueur du stomate sur la face abaxiale en μm (Lnsb)
	Largeur du stomate sur la face abaxiale en μm (Lrsb)
	Rapport (Longueur/ Largeur) du stomate sur la face abaxiale (R3)
	Densité stomatique en nombre de stomates/ mm^2 de surface foliaire sur la face abaxiale (Dsb)
	Fruit
	Longueur du fruit en mm (Lnfr)
	Largeur du fruit en mm (Lrfr)
	Rapport Ln/ Lr du fruit (R3)
	Poids de fruit en g (Pfr)
	Endocarpe
	Longueur d'endocarpe en mm (Lne)
	Largeur d'endocarpe en mm (Lre)
	Rapport Ln/ Lr d'endocarpe (R4)
	Graine
	Longueur de la graine en mm (Lngr)
	Largeur de la graine en mm (Lrgr)
Rapport Ln/ Lr de la graine (R5)	
Poids de la graine en g (Pgr)	

II.2.4. Traitement statistique des données

La normalité des données a été vérifiée à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov. Pour les caractères qualitatifs, nous avons calculé les fréquences afin de montrer leur répartition dans les différentes populations.

Ensuite les données collectées sur l'ensemble des variables quantitatives des feuilles et des stomates ont été soumises à une analyse descriptive (la moyenne, l'écart type, le minimum, le maximum et le coefficient de variation ont été calculés).

Le coefficient de corrélation de Pearson a également été calculé pour montrer le degré d'association entre les caractères étudiés.

Une analyse de la variance (ANOVA) à un seul facteur a été abordée pour tester la significativité des différences observées. Cette analyse est ensuite complétée par un test post-hoc de Fisher-Snedecor pour connaître les groupes qui sont différents les uns des autres.

Les corrélations linéaires de Pearson ont été appliquées pour visualiser la liaison entre les variables quantitatives.

Afin d'analyser la variabilité morphologique qui existe au sein et entre les populations étudiées ; une classification ascendante hiérarchique (CAH) et une analyse factorielle discriminante (AFD) ont été effectuées afin de regrouper les individus des populations étudiées selon l'ensemble des variables morphologiques et les variables environnementales (sol et climat).

Toutes ces analyses ont été effectuées avec le logiciel STATISTICA 10.

CHAPITRE III

**DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DE
Ziziphus lotus (L.) Lam., PROVENANT DE
POPULATIONS NATURELLES EN
ALGÉRIE.**

Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats qui ont concerné l'étude de la variabilité morphologique des feuilles (incluant les surfaces épidermiques et les stomates) de l'espèce étudiée à savoir le jujubier sauvage. Ces résultats ont été publiés, en anglais, sous forme d'article scientifique dans la revue *Agrobilgia* sous le titre « **ZIZIPHUS LOTUS (L.) Lam., MORPHOLOGICAL DESCRIPTION FROM WILD POPULATIONS IN ALGERIA** ». L'article est paru dans le numéro 1 du volume 12 de la revue, en 2022.

Pour une meilleure gestion et agencement des résultats nous allons insérer directement l'article tel qu'il a été publié dans la revue. Le résumé en français sera donné avant l'insertion de l'article en anglais. La forme de l'article sera revue selon celle appliquée dans le document pour un souci d'homogénéité. Enfin, la liste des références bibliographiques citée dans l'article sera intégrée dans la section « Références bibliographiques » pour éviter les doublons.

Résumé de l'article

Description du sujet : Le jujubier sauvage (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.) est un arbuste xérophyte appartenant à la famille des Rhamnacées, il se rencontre à l'état sauvage dans les zones arides et semi-arides d'Algérie.

Objectifs et Méthodes : L'objectif de cette étude est d'analyser la variabilité macro et micro-morphologiques des feuilles inter et intra-populations naturelles provenant de différentes régions bioclimatiques en Algérie et d'évaluer l'effet des pressions environnementales sur la morphologie des feuilles et des stomates. Seize (16) variables qualitatives et quantitatives ont été mesurées pour les feuilles et les stomates. Les surfaces épidermiques ont été observées sous Microscope électronique à balayage.

Résultats : Les résultats ont montré une grande variabilité pour toutes les variables quantitatives et qualitatives étudiées. ANOVA a montré une grande variation significative entre et à l'intérieur des populations. La CAH (Ward's linkage) a classé les sept populations en deux groupes pour les feuilles et trois groupes pour les stomates. Les conditions environnementales n'ont pas eu un grand effet sur la variabilité morphologique des feuilles, par contre, les variables des stomates ont été fortement influencées par la variation bioclimatique.

Conclusion : Cette étude est la première à étudier les caractères morphologiques des feuilles et des stomates du jujubier sauvage en Algérie. Nos résultats offrent de nouvelles informations qui peuvent aider à mieux comprendre les réponses éco-morphologiques de cette espèce aux différentes pressions abiotiques.

Mots clés : *Ziziphus lotus*, variabilité, morphologie, populations.

ZIZIPHUS LOTUS (L.) MORPHOLOGICAL DESCRIPTION FROM WILD POPULATIONS IN ALGERIA

HOUMA Imen^{1*}, BELHADJ Safia¹, DERRIDJ Arezki², MEVY Jean Philippe³,
NOTONNIER Roger⁴, TONETTO Alain⁴ and GAUQUELIN Thierry³

1. Agro-veterinary department, Faculty of life science and Nature. Ziane Achour University of Djelfa. Route de Moudjebara. Djelfa. 17000, Algeria.
2. Plant systematics laboratory, Faculty of Agronomical and Biological Sciences. Mouloud Mammeri University of Tizi-Ouzou. 15000, Algeria.
3. Equipe Diversité et Fonctionnement : des Molécules aux Ecosystèmes. Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'écologie (IMBE) – UMR CNRS 7263/IRD 237. Aix-Marseille Université, Centre Saint-Charles – Marseille, France.
4. Aix-Marseille Université, Centrale Marseille, CNRS, Fédération Sciences Chimiques Marseille (FR 1739) - PRATIM, 13000, Marseille, France.

III.1. INTRODUCTION

Rhamnaceae family counts about 55 genera and 900 species (Mabberley, 1987). *Rhamnus*, *Ceanothus* and *Ziziphus* are the main genera in the Rhamnaceae. *Ziziphus* genus counts some 40 tree and shrub species. It is represented in Algeria by three main species: *Z. spina-christi* (L.), *Z. mauritiana* (Lam.) and *Z. lotus* (L.) (Quézel et Santa, 1962). Wild Jujube (*Ziziphus lotus* (L.)), known as *Sedra*, in local language, is a spiny, deciduous and very thorny shrub, usually under 2.5 m in high (Claudine, 2007). Jujube leaves are dentate, ovate and glabrous, with stipular spines (Bayer et Butter, 2000). The fruits, called *Nbeg*, in local language, are brown, globose, sweet and edible (Bayer et Butter, 2000 ; Espiard, 2002). The flowers are small, yellow and bisexual (Baba Aissa, 1999; Claudine, 2007) with a flowering period expanding from June to August while the fruiting period extends from August to September. *Z. lotus* has important medicinal properties; inflammatory, analgesic; antioxidant antispasmodic and antifungal activities have been reported by previous works (Ghedira et al., 1995 ; Lahlou et al., 2002 ; Borgi et Chouchane, 2006 ; Claudine, 2007 ; Borgi et al, 2007 (a) ; Borji et al., 2007 (b) ; Borji et al., 2008; Mouni et al., 2017). Several scientific reports for health benefit and nutritional potential of bioactive compounds from this plant have been reported (Kang Souleymane, 2016). Leaves, fruits and roots are used in traditional medicine as antidiabetic, sedative, bronchitis and antidiarrheal by local populations (Abu-Zarga et al., 1995; Abdel-Zaher et al., 2005; Suksamrarn et al., 2005 ; Claudine, 2007 ; Ghedira, 2013; Rais et al., 2020). Wild jujube bee honey is a highly appreciated product, for its good quality and medicinal use. Excellent against respiratory infections, cough and sore throats (Haderbache et al., 2013; Mekious et al., 2015; Zerrouk et al., 2017), wild jujube honey is sold out the same season and it is considered as one of the most expensive bee honeys (about, 50 American dollars), in Algeria.

Z. lotus is widely distributed in southern Europe and the semi-desert steppes of northern Mediterranean Africa, northern Sahara, central Sahara and minor Asia (Maire, 1933 ; Chopra et al., 1960 ; Ozenda, 1991). In Algeria, it is the most common plant in the arid and the semi-arid environments with dry and very long seasons. The shrub provides a specific micro ecosystem and is a home for several flora and fauna species (Rais et al., 2017). Besides, its use in folk medicine, the plant plays a key role in soil protection against erosion and soil degradation because of its rigorous root system (Laamour et al., 2008). In addition to that, the spiny branches of the plant provide protection (nurse plant) to the juvenile *Pistacia atlantica* (Anacardiaceae) seedlings against animal grazing, which occurs frequently in the daya region where *Z. lotus* is common (Belhadj, 2007 ; Belhadj et al., 2008). Despite its ecological benefits and pharmacological value, *Z. lotus* is often neglected in the reforestation programs. Nowadays, this shrub overcomes a severe degradation due mainly to anthropozoogenic factors combined to severe climatic conditions (Rsaissi et Bouhache, 2002; Rais et al., 2017).

The aim of the present study is to investigate the morphological variability within and among seven *Z. lotus* wild populations and to evaluate the effect of environmental conditions (mainly, soil and bio-climate) on leaves and stomata. Drought is one of the main limiting factors for plants production. Physiological traits such as number and size of stomata are important in selecting for drought resistance in breeding programs (Mehri et al., 2009). The eco-morphological variations recorded in this study may provide a key solution, to the stock holders and local forest administration, in order to promote the reintroduction of this species among other local and resistant species in reforestation programs against the desertification process which undergoes in the steppe and northern Saharan areas in Algeria and North Africa, globally, especially because this plant presents an adaptive capacity to aridity much greater than other tree species from the same ecosystems.

III.2. MATERIAL AND METHODS

III.2.1. Study sites

Z. lotus leaves were collected from seven different populations, widely distributed from northeast to southwest in Algeria (Fig. 1): Belkheir (Bl) and Eldir (Ed) located in the North East part of Algeria, south constantinois, while Boughar (Bg), Bousedraia (Bo), Deldoul (Dl) and Hassi rmel (Hr) are located in the Center, south algerois. Lahmer (Lh) site is located in western part of Algeria, in the south oranie. These seven locations are situated in different climatic zones (Table 1).

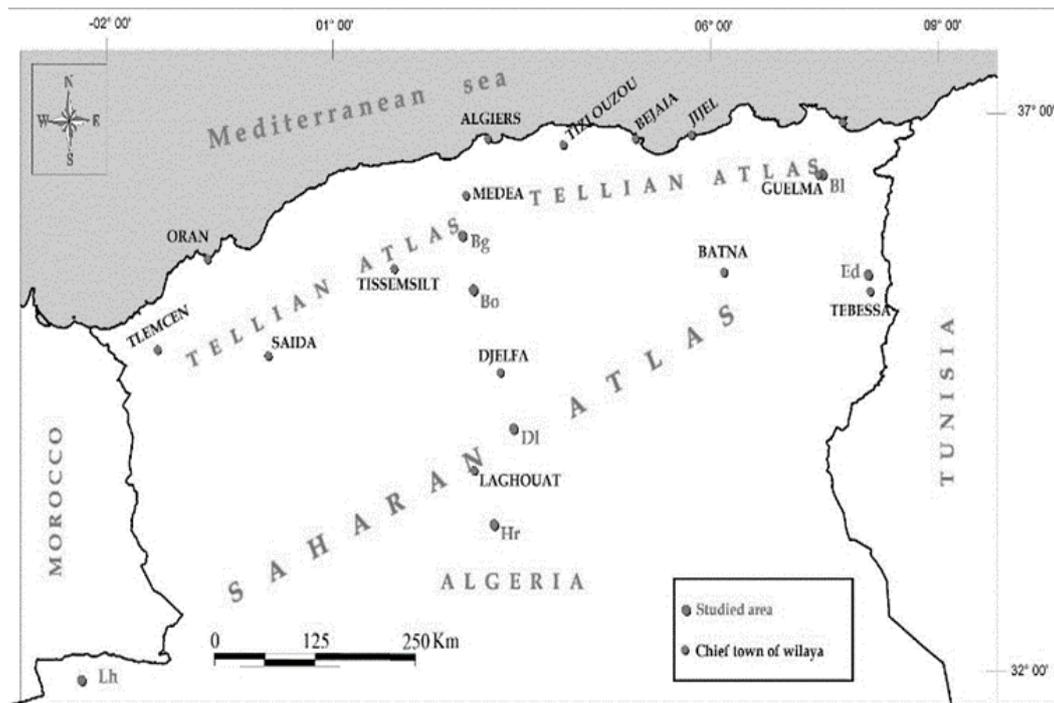


Figure 1: Localization of study sites (Bl: Belkheir; Ed: Eddir; Bg: Boughar; Bo: Boussedraia; Dl: Deldoul; Hr: Hassi rmel; Lh: Lahmer).

Table 1: Location and climatic zone of the study sites.

Study sites	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Rainfall (mm)	M (°C)	m (°C)	Q3	Emberger climate zone ¹	Seasonal Musset type ²	Arid season length (months)
Belkhir (Bl)	36°27'N	07°29'E	210	605.9	34.9	3.3	65.9	Sub-humid temperate	WSpASu	4
Boughar (Bg)	35°54'N	5°54'E	860	438	35.4	3.7	52.3	Semi-arid temperate	WSpASu	6
El dir (Ed)	35°33'N	0°11'E	818	302.4	35.4	2.7	31.2	Semi-arid fresh	AWSpSu	4.5
Boussedraia (Bo)	35°25'N	2°51'E	737	276	35.8	0.5	18.9	Arid fresh	SpWASu	6
Deldoul (Dl)	34°10'N	3°37'E	810	172	36.3	1.3	17.5	Arid fresh	WASpSu	10
Hassi Rmel (Hr)	33°19'N	03°08'E	808	110	40.1	2.3	10.1	Saharian fresh	ASpWSu	12
Lahmer (Lh)	31°55'N	-2°13'E	882	75,6	41	2.5	6.9	Saharian fresh	ASuWSp	12

1. Rainfall. average annual precipitation. M. mean maximum temperature of the warmest month; m. mean minimum temperature of the coldest month.

Q₃: pluviothermic quotient. Source of climatic data: National Office of Meteorology -Algeria, 2. Each season is defined according to the first letter: (A ; Autumn. W ; Winter. Sp ; Spring. Su ; Summer).

III.2.2. Bioclimatic study

For the bioclimatic study two meteorological elements, were taken into account (temperature and precipitation) for laps of time of 30 years (according to the rules of the World

Meteorological Organization). The total precipitation average, the seasonal rainfall regime, the average annual temperature, the average monthly temperature, the dry season, the De Martonne aridity index (De Martonne, 1926), the Continentality Index of Gorbunov (Gorbunov, 1978), the summer drought index, and the Emberger pluviothermic quotient Q_3 (Stewart, 1969) were calculated (Tables 1 and 2).

Table 2: Climate types, aridity index of De Martonne (AI) and continentality index of Gorbunov (CI) of the studied sites.

Sites	Belkheir (Bl)	Eddir (Ed)	Boughar (Bg)	Boussedraia (Bo)	Deldoul (Dl)	Hassi r'mel (Hr)	Lahmer (Lh)
De Martonne	40.4	21.7	20.9	19	11.9	10.8	10.5
AI	Humid	Sub humid		Semi-arid			
Gorbunov CI	31.5	33.2	31.7	32.4	33.6	37.4	37.3
	Semi-continental				Continental		

III.2.3. Soil sampling

Soil samples were collected beneath the shrubs in two replicates for each site, using an auger at depths between 0 and 20 cm. In the laboratory, samples were air-dried, pulverized and sifted through a 2mm sieve. Soil pH, electrical conductivity (EC) (Aubert, 1978), total lime content (Callo et Dupuis, 1980), active lime using Drouineau method (Drouineau, 1942), humidity, organic matter using Walkley & Black method (Walkley et Black, 1934) and soil texture were studied.

III.2.4. Morphological variables

Mature leaves were sampled between August and October, a random sampling of 25 shrubs per site was selected, distance between the individuals did not exceed 20 m. Thirty (30) leaves per plant were randomly collected and conserved in paper bags until use (the sampling totaled 175 shrubs and 5250 leaves). In the laboratory, leaves were dried, and then measured. The characterization of the leaves is performed using the *Pistacia* descriptor of the International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 1997) as well as previous studies conducted on morphological variation of *Pistacia atlantica* (Belhadj, 2007 ; Belhadj et al., 2008). The descriptor for Carob tree (Batlle et Tous, 1997) was useful as well.

Twelve quantitative and qualitative variables were measured. After that, stomata were characterized in a random sample of dehydrated leaves (5 shrubs per site and 10 leaves per shrub) on clear nail polish imprints (Hilu et Randall, 1984 ; Belhadj, 2007 ; Belhadj et al., 2008) taken from abaxial and adaxial leaf surfaces. Stomatal size and density were then calculated on

images taken with a digital camera connected to an optical microscope using Scion Image program for 10 field view per polish imprints of the leaf surface. Eight (8) quantitative variables were described (Table 3).

For the epidermal micromorphology study, leaf samples were prepared with standard methodology for scanning electronic microscope (FEI/Philips XL-30 Field Emission ESEM). Three leaf samples from each population were placed in ethanol (90°) for 5h, then allowed to dry under natural conditions. Three more samples per population were used without pre-treatment. The samples were covered with a thin layer of gold and placed on stubs for their study under SEM. The adaxial and abaxial leaf surfaces were observed under different magnifications.

Table 3: Morphological variables measured in *Z. lotus* leaves and stomata.

Qualitative variables	Leaf shape (L): 1- Broad lanceolate; 2- Ovate ; 3- Elliptic ; 4- Round ovate; 5- Roundish.
	Petiole shape (P) : 1- Rounded ; 2- Flattened ; 3- Rounded straight adaxially.
	Leaf base (B): 1- Attenuate ; 2- Obtuse ; 3- Truncate ; 4-Oblique.
	Leaf apex (A): 1- Acuminate ; 2- Mucronate; 3- Obtuse ; 4- Mucronulate; 5- Retuse.
	Leaf margen (M): 1-Entire ; 2-Serrulate ; 3-Dentate.
	leaf epicuticular wax (W): 0-Absence ; 1- unusual ; 2-remarkable. ; 3- Abundant: on the abaxial surface.
Quantitative variables	Leaf trichomes (T) : 0-Absence ; 1-unusual; 2-remarkable ; 3- numerous: on the abaxial surface.
	Leaf lenght (LL) in cm.
	Leaf width (LW) in cm.
	Leaf Lenght/width ratio(R1).
	Petiole lenght (PL) in cm.
	Stoma lenght on the adaxial surface (DSL) in μm .
	Stoma width on the adaxial surface (DSW) in μm .
	Lenght/width ratio (R2) on the adaxial surface.
	Stomatal density (DSD) (stomata/ mm^2) on the adaxial surface.
	Stoma lenght on the abaxial surface (BSL) in μm .
	Stoma width on the abaxial surface (BSW) in μm .
	Stoma Lenght/width ratio (R3) on the abaxial surface.
	Stomatal density (BSD) stomata/ mm^2 on the abaxial surface.

III.2.5. Statistical analysis

The data were subjected to statistical analysis using Statistica 10 software. Normality and equality of variances were checked out through the Kolmogorov–Smirnov test. Morphometric data were analysed using Tukey’s HSD test. Nested analysis of variance was used to determine the variance level within and among populations (and within each individual). Correlation analysis was performed to reveal relationship between morphological traits and environmental variables. A discriminant analysis (DA) and anascendant hierarchical classification (AHC) using Ward linkage with square Euclidean distance measure were used to evaluate the variability among populations.

III.3.RESULTS

III.3.1. *Bioclimatic data*

The bioclimatic study showed that the rainiest site is Belkheir with 605.9 mm/year of the total average rainfall. The rainiest month is January at Belkheir and Boughar, December at Deldoul, November at Eddir and Boughar and finally March at Hassi rmel and Lahmer. At Belkheir, Boussedraia, Boughar and Deldoul the maximum of cumulative rainfall occurs during the winter season. On the other hand, at Lahmer, Eddir and Hassi rmel fall and summer are the rainiest seasons. The maxima values for temperature were recorded between July and August and the minima values, between December and January, for all the sites.

Based on Emberger's pluviothermal index Q_3 , Belkheir was classified under sub-humid and temperate climate, moreover, Boughar and Eddir are, both, under semi-arid bio-climate with temperate and fresh winter, respectively. Djelfa sites, Boussedraia and Deldoul, are under arid fresh bioclimate. Finally, Hassi rmel and Lahmer sites are under a Saharian bioclimate with fresh winters (Table 1). The ombrothermic diagram showed, for Boussedraia and Boughar sites, a long dry season lasting for six months, while Eddir and Deldoul sites presented even longer dry season (ten months). Hassi rmel and Lahmer were characterized by the longest dry season (12 months). The remaining sites showed a dry season less than six months (Fig. 2 and Table 1).

Environmental conditions varied greatly among sites, The De martonne aridity index, allowed the identification of a humid climate for Belkheir site, a sub humid climate for Eddir and Boughar. The remaining sites, Boussedraia, Deldoul, Hassi rmel and Lahmer were classified under a semi-arid climate. The continentality index of Gorbunov showed that five sites are under semi-continental climate (Belkheir, Eddir, Boughar, Boussedraia and Deldoul) while the two remaining sites (Hassi rmel and Lahmer) are under continental climate (Table 2). Concerning the seasonal type, winter is the rainiest season for BI, Bg, and DI sites, while autumn was the rainiest for Ed, Hr and Lh sites (Table 1).

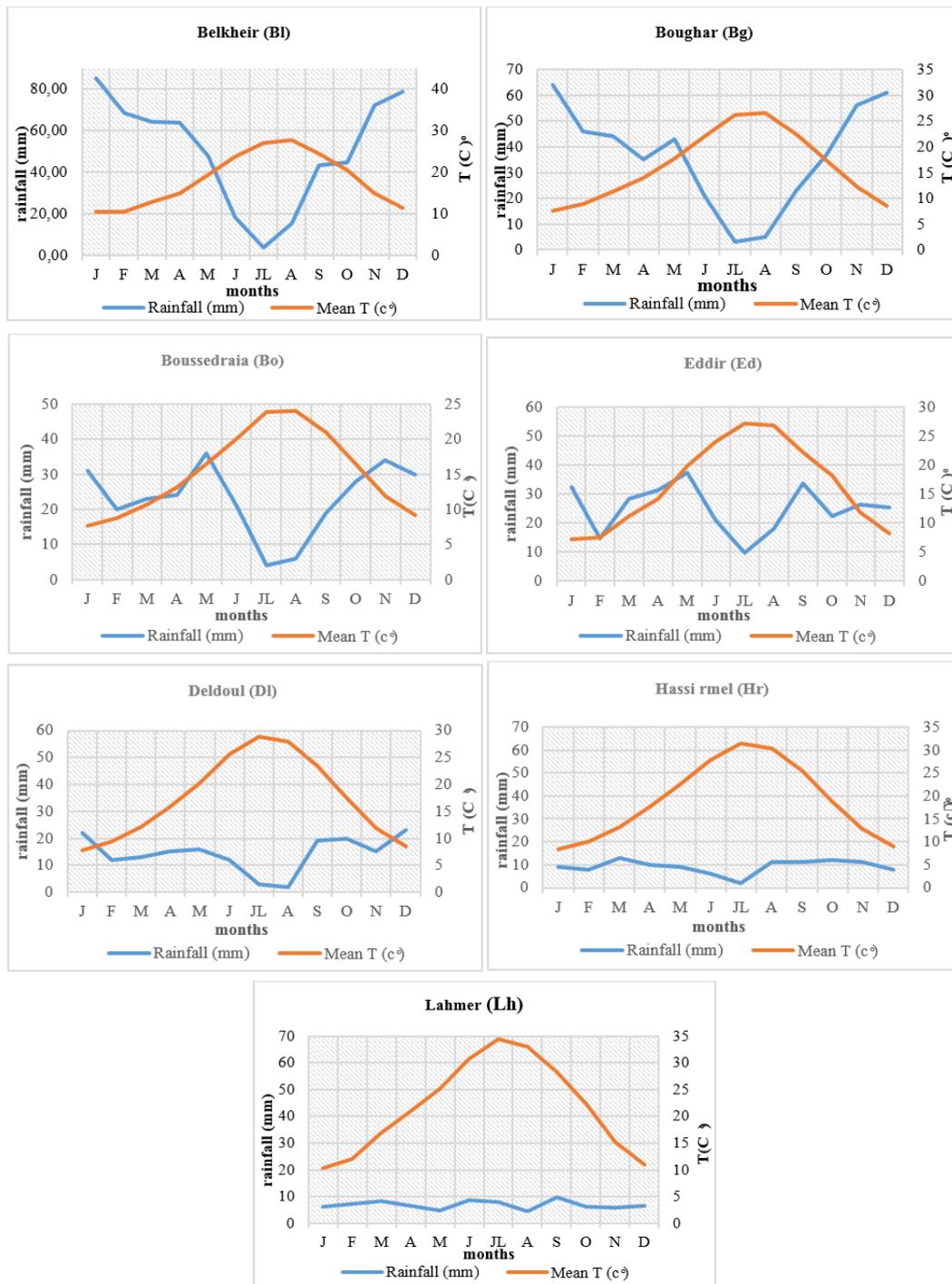


Figure 2: Ombrothermic diagrams of studied sites (Bl: Belkheir; Ed: Eddir; Bg: Boughar; Bo: Boussehraia; Dl: Deldoul; Hr: Hassi rmel; Lh : Lahmer) and their arid season.

III.3.2. Soil analysis

For the soil samples description, Belkheir site is characterized by a clay loamy soil, particularly rich in organic matter with a low electrolyte and limestone fraction, while Boussehraia, Boughar and Eddir soils were composed mostly of sand. However, Deldoul, Hassi rmel and Lahmer soils contained more sand than other components, poor in organic matter with

higher limestone amounts. Soils were slightly to moderately alkaline, the maximal pH value was recorded at Deldoul site (Table 4).

Table 4: Soil properties of the studied sites (Values are means \pm standard deviation).

Study sites	Belkhir (Bl)	Boughar (Bg)	Edir (Ed)	Boussedraia (Bo)	Deldoul (Dl)	Hassi Rmel (Hr)	Lahmer (Lh)
Soil type	Clay loam	Clay loam	Loamy sand	Loamy sand	Sandy loam	Sandy loam	Sandy loam
Soil pH/H ₂ O	7.8 \pm 0.02	7.9 \pm 0.12	8.1 \pm 0.12	8.1 \pm 0.1	8.2 \pm 0.15	8.1 \pm 0.08	7.85 \pm 0.18
Soil EC (mS/cm)	0.8 \pm 0.19	0.8 \pm 0.15	0.6 \pm 0.15	1.2 \pm 0.16	1.3 \pm 0.19	1.5 \pm 0.15	1.2 \pm 0.12
Humidity (%)	1.8 \pm 0.12	1.3 \pm 0.14	0.6 \pm 0.12	0.4 \pm 0.12	0.4 \pm 0.12	0.6 \pm 0.19	0.3 \pm 0.15
Total limestone (%)	7.4 \pm 0.1	13.0 \pm 0.19	15.8 \pm 0.15	20.7 \pm 0.19	20.1 \pm 0.15	17.5 \pm 0.15	7.8 \pm 0.12
Active limestone (%)	0.1 \pm 0.12	3.8 \pm 0.1	4.0 \pm 0.16	4.3 \pm 0.15	3.8 \pm 0.19	3.1 \pm 0.12	1.4 \pm 0.15
Organic matter (%)	2.6 \pm 0.19	1.0 \pm 0.12	1.1 \pm 0.12	1.7 \pm 0.19	0.6 \pm 0.16	0.2 \pm 0.12	0.4 \pm 0.19

III.3.3. Morphological analysis

Concerning the descriptive analysis of the morphological study, significant differences occurred, almost, in all the studied leaf and stoma variables ($p < 0.01$). Boughar site had the longest leaves with a mean value of 2.14 cm, while the largest leaf size was observed at Belkheir site with an average of 1.24 cm. The lowest variation was recorded in petiole length (Table 5).

Z. lotus Leaves are amphistomatic, the stomata are present, both, on the adaxial and abaxial leaf surface. Stomatal size and density showed differences between adaxial and abaxial leaf surfaces. Stomatal length and width on adaxial surfaces were greater than those of the abaxial surfaces, inversely the stomatal density was higher than to the adaxial face. Belkheir presented higher stomatal density values for both leaf surfaces than the other sites, while the highest adaxial stoma size was observed at Boughar (Table 4). Coefficients of variation (Cv), ranging from 5.82% to 52.77%, were higher in Lahmer population for most leaf and stoma measurements. Anova analysis showed highly significant variation ($p < 0.01$) both within and among populations (Table 6), although, no significant variation was observed within leaves of the same shrub for all the measured variables (variance within individuals).

The correlation matrix (Table 7) indicated strong significant correlation between most of the leaves and stomata variables. Significant correlations were recorded between stoma widths on both leaf surfaces ($r = 0.94$; $p < 0.001$) and between stoma length and stoma width on the adaxial surface ($r = 0.93$; $p < 0.001$). Significant and positive correlations were recorded between leaf length and leaf width ($r = 0.83$; $p < 0.01$), between stomatal densities on the abaxial and adaxial surfaces ($r = 0.80$; $p < 0.01$) and between stomatal size and stomatal density on both surfaces. However negative correlation between petiole length and the remaining leaf and stoma characters, were recorded.

Table 5: Quantitative characterization of *Ziziphus lotus* leaves and stomata in the studied sites.

Variables	Belkhir (Bl)	Boughar (Bg)	El dir (Ed)	Deldoul (Dl)	Bousedraia (Bo)	Hassi rmel (Hr)	Lahmer (Lh)	Mean Values
Leaf length (LL) (cm)	2 e ± 0.3 0.8 - 3.2 (16.9)	1.92 b.c ± 0.3 0.9-3.1 (17.11)	1.9 a.b ± 0.3 0.6-3 (18.72)	1.9 c ± 0.2 1.3 - 3.1 (15)	2.1 f ± 0.3 1.1 - 3.3 (19.2)	1.5 d ± 0.3 1 - 2.7 (16.8)	1.8 a ± 0.3 0.6 - 3.1 (18.8)	1.9 ± 0.3 1.1-3.3 (15.9)
Leaf width (LW) (cm)	1.2 c ± 0.3 0.7 - 2.2 (23.6)	1.1 a ± 0.2 0.6 - 2.2 (19.3)	1.1 c ± 0.2 0.5 - 2.6 (20.1)	1.1 a.b ± 0.2 0.5 - 2.2 (20.3)	1.1 a.b ± 0.2 0.5 - 2.2 (22.4)	0.8 d ± 0.1 0.5 - 1.9 (21.7)	1.1 b ± 0.2 0.4 - 2.6 (24.1)	1.1 ± 0.2 0.5 - 2.6 (22.1)
Leaf L/W ratio (R1)	1.6 a ± 0.3 0.4 - 2.5 (22.3)	1.77 a ± 0.3 0.7 - 2 (17.1)	1.6 c ± 0.3 0.5-2.6 (19.5)	1.7 a ± 0.2 1 - 2.6 (14.3)	1.9 b ± 0.3 0.9 - 2 (16.8)	1.9 b ± 0.3 0.1 - 2.2 (20.2)	1.8 d ± 0.3 1.1 - 2 (18.9)	1.7 ± 0.1 0.1 - 2.6 (19.4)
Petiole length (PL) (cm)	0.2 a.b ± 0.08 0.1 - 0.5 (40.9)	0.17 a ± 0.05 0.08 - 0.4 (33.1)	0.2 a.b ± 0.1 0.5 - 1 (47.2)	0.1 a ± 0.06 0.1 - 1.4 (37.8)	0.2 b ± 0.08 0.7 - 1.5 (31.5)	0.2 a.b ± 0.07 0.08 - 0.9 (36.9)	0.2 a.b ± 0.06 0.08 - 1 (29.9)	0.2 ± 0.1 0.1 - 2.5 (48.7)
Adaxial stoma length (DSL)(µm)	28.6 d ± 5 15.3 - 44.5 (17.7)	34.9 f ± 9.4 18.2 - 37.9 (26.9)	31.2 e ± 3.2 20.8 - 38.8 (10.4)	25.6 a ± 3.7 19 - 31.6 (14.5)	21.6 b ± 2.9 13.5 - 29 (13.6)	25.1 c ± 2.3 15.5 - 28.7 (9.2)	27.6 a ± 6.2 12.9 - 44.5 (22.6)	26.2 ± 2.1 12.9-31.6 (8.3)
Adaxial Stoma width (DSW)(µm)	18.9 f ± 2.7 10.6 - 27.3 (14.3)	23.7 h ± 5.2 16.8 - 46.1 (22)	21.7 g ± 2.1 17 - 32.6 (9.7)	18.2 e ± 1.9 14.1 - 25 (10.8)	11.6 d ± 1.8 7 - 19.5 (15.6)	12.4 a ± 2 9.1 - 23 (16.1)	17.4 b ± 5 7 - 46.1 (28.8)	15.4 ± 1.9 11.5 - 23.1 (12.7)
Adaxial Stoma L/W ratio (R2)	1.5 c ± 0.2 0.9 - 2.4 (16.8)	1.4 b ± 0.2 0.9 - 2.2 (17)	1.1 a.b ± 0.09 0.8 - 1.6 (8.1)	1.4 a ± 0.2 0.9 - 1.9 (15.6)	1.8 d ± 0.2 1 - 2.6 (13.6)	2 e ± 0.3 1 - 2.9 (17.5)	1.6 f ± 0.3 0.8 - 2.9 (20.7)	1.7 ± 0.2 0.8 - 2.2 (12.5)
Adaxial stomatal density(DSD) (stomata/µm ²)	120.3 c ± 18.3 73.6 - 152.6 (29.2)	117.4 c ± 23.4 63.1 - 173.6 (19.9)	104.2 a ± 11.5 68.4 - 173.6 (11)	108.1 b ± 10.8 68.4 - 142.1 (10)	110.3 a ± 13 68.4 - 142 (11.8)	83.8 b ± 10.4 57.8 - 100 (12.4)	106.8 d ± 21.3 42.1 - 194.7 (19.9)	103.1 ± 30.1 42.1 - 194.7 (29.2)
Abaxial stoma length (BSL)(µm)	26 b ± 4.1 18.1 - 39.4 (15.7)	25.4 b ± 4.4 17.8 - 44.9 (17.6)	22.6 a ± 2.1 18.9 - 28.8 (9.1)	24 e ± 3.2 18.1 - 31.5 (13.4)	21.2 a ± 2.2 14.8 - 28 (10.7)	23.3 c ± 2.9 15.1 - 29.8 (12.4)	23.5 d ± 3.5 14.8 - 44.9 (15.1)	22.3 ± 2.6 16.5 - 29.2 (11.8)
Abaxial Stoma width (BSW)(µm)	19.6 a ± 3 13 - 29.5 (15.2)	19.4 a ± 2.9 14.3 - 33.2 (15)	19.6 a ± 0.1 13.9 - 22.8 (5.8)	18 e ± 2.1 13.1 - 24.3 (11.9)	13.8 d ± 1.5 9.3 - 19.1 (11.4)	15.2 b ± 1.9 9.6 - 24.7 (12.7)	17.4 c ± 3.1 9.3 - 33.2 (17.8)	16.2 ± 2 11.9 - 23 (12.7)
Abaxial Stoma L/W ratio (R3)	1.3 a ± 0.1 0.9 - 1.7 (12.3)	1.3 a ± 0.1 0.8 - 1.7 (12)	1.4 c ± 0.1 1 - 1.8 (11.1)	1.3 a ± 0.1 1 - 1.8 (12.4)	1.5 d ± 0.1 0.9 - 2 (12.3)	1.5 b ± 0.2 0.9 - 2.2 (15.2)	1.3 b ± 0.2 0.8 - 2.2 (15.8)	1.3 ± 0.1 1 - 2 (12.6)
Abaxial stomatal density(BSD) (stomata/µm ²)	488.1 e ± 28.8 405.2 - 584.2 (14)	413.8 d ± 36 342.1 - 536.8 (8.7)	423.9 b ± 38.1 352.6 - 521 (8.99)	354.8 a ± 27.1 278.9 - 415.7 (7.6)	357.8 b ± 22.9 278.9 - 415.7 (5.9)	318.9 a ± 35 268.4 - 415.7 (6.4)	396 c ± 6.7 268.4 - 584.2 (11)	396.9 ± 59.3 257.8 - 573.6 (16.1)

Mean ± Standard Deviation; The extreme values (the lowest and the highest value) ; C.V. : coefficient of variation (%) ; Fisher test : a.b.c.d.e.f.g.

Table 6: ANOVA test for the leaf and stoma morphological variables within and among *Ziziphus lotus* populations.

		SS	d.f	MS	F	<i>p</i>	Significance
Leaf length (LL)(cm)	Populations	128.38	6	25.68	238.2	0.000000	***
	Individuals	40.20	24	1.68	34.2	0.000000	***
	Leaves	8.10	29	0.28	2.1	0.0004	***
Leaf width (LW)(cm)	Populations	67.47	6	13.49	63.88	0.000000	***
	Individuals	351.34	149	2.49	32.63	0.000000	***
	Leaves	16.93	29	0.58	2.63	0.000004	***
Petiole length (PL)(cm)	Populations	16.71	6	3.34	1.69	0.13	NS
	Individuals	349.29	149	2.34	1.19	0.05	NS
	Leaves	58.6	29	2.02	1.02	0.42	NS
Adaxial stoma length (DSL)(μm)	Populations	29131	6	4855	214.81	0.000000	***
	Individuals	31933	29	1101	51.76	0.000000	***
	Leaves	0.448	4	112	2.87	0.021	*
Adaxial stoma width (DSW)(μm)	Populations	30898.8	6	5149.8	659.55	0.000000	***
	Individuals	30875.4	29	1064.7	134.32	0.000000	***
	Leaves	150.8	4	37.7	1.48	0.20	NS
Adaxial stomatal density (DSD)(stomata/ μm^2)	Populations	21481.9	6	3580.3	107.73	0.000000	***
	Individuals	28704.7	29	9898	33.58	0.000000	***
	Leaves	335.5	4	83.9	1.85	0.11	NS
Abaxial stoma length (BSL)(μm)	Populations	4410.4	6	735.1	70.92	0.000000	***
	Individuals	7728.4	29	266.5	31.1	0.000000	***
	Leaves	280.7	4	70.2	5.52	0.0002	***
Abaxial stoma width (BSW)(μm)	Populations	8439.2	6	1406.5	289.0	0.000000	***
	Individuals	9176.6	29	316.4	70.3	0.000000	***
	Leaves	74.8	4	18.7	1.94	0.12	NS
Abaxial stomatal density (BSD)(stomata/ μm^2)	Populations	4867.2	6	8112.14	5720	0.000000	***
	Individuals	4837.6	29	4837.62	114.7	0.000000	***
	Leaves	1717.7	4	1717.7	1.02	0.39	NS

Table 7: Matrix of correlation between leaf and stoma morphological variables.

	LL	LW	PL	DSL	DSW	DSD	BSL	BSW	BSD	Alt	P	M	m	pH	EC	Hum	Total lime	Active lime	OM
LL	-	0.83*	-0.09	0.39	0.37	0.00	0.45	0.49	0.40	-0.32	0.46	-0.55	-0.31	-0.18	-0.81*	0.22	-0.25	0.32	0.39
LW		-	-0.07	0.60	0.63	0.14	0.63	0.81*	0.54	-0.48	0.65	-0.59	0.09	-0.36	-0.61	0.37	-0.22	0.38	0.53
PL			-	-0.43	-0.59	-0.48	-0.44	-0.43	-0.09	-0.23	-0.16	0.68	-0.09	-0.04	0.1	-0.18	-0.18	-0.4	-0.03
DSL				-	0.93**	0.39	0.62	0.85*	0.50	-0.05	0.67	-0.78*	0.57	-0.45	-0.54	0.5	-0.28	0.44	0.44
DSW					-	0.55	0.62	0.94**	0.60	-0.12	0.68	-0.88*	0.46	-0.34	-0.42	0.47	-0.04	0.65	0.43
DSD						-	0.47	0.52	0.80*	-0.54	0.74	-0.72	0.34	-0.53	-0.31	0.75	-0.17	0.71	0.69
BSL							-	0.72	0.42	-0.54	0.76*	-0.67	0.56	-0.76*	-0.52	0.79*	-0.62	0.11	0.77*
BSW								-	0.67	-0.37	0.77*	-0.82*	0.43	-0.43	-0.43	0.54	-0.1	0.61	0.57
BSD									-	-0.76*	0.93*	-0.68	0.29	-0.67	-0.66	0.76*	-0.38	0.67	0.85*
Alt										-	-0.75	0.28	-0.23	0.74	0.39	-0.76*	0.52	-0.23	-0.88*
P											-	-0.77*	0.5	-0.83*	-0.69	0.91*	-0.56	0.53	0.94*
M												-	-0.21	0.41	0.67	-0.61	0.17	-0.74	-0.59
m													-	-0.71	0	0.62	-0.51	-0.12	0.48
pH														-	0.53	-	0.87*	-0.01	-0.93*
EC															-	-0.57	0.6	-0.34	-0.64
Hum																-	-0.74	0.26	0.96**
Total lime																	-	0.34	-0.72
Active lime																		-	0.3
OM																			-

Level of significance : *. $p < 0.05$; **. $p < 0.01$; ***. $p < 0.001$; NS : Not significant

The first DA of individuals based on leaves characters (Fig. 3a) showed that individuals of Bousseadraia, Boughar, Deldoul, Eddir and most individuals of Belkheir were more similar to each other and formed one cloud. Thus, the DA allowed us to distinguish Hassi rmel population and most individuals of Lahmer from the other populations. Populations were differentiated by leaf length (LL) with partial Wilks'- λ of 0.5998 and 0.5758, respectively. The first HCA dendrogram based on leaves morphological similarity (Fig. 3b) revealed two different clusters. The first group divided onto two subgroups: the first one composed of Bousseadraia population characterized by the highest value of the leaf length and the second subgroup consisted of Boughar, Deldoul, Eddir, Lahmer and Belkheir sites characterized by a medium leaf size. The second group consisted of Hassi rmel populations which had the smallest leaf size.

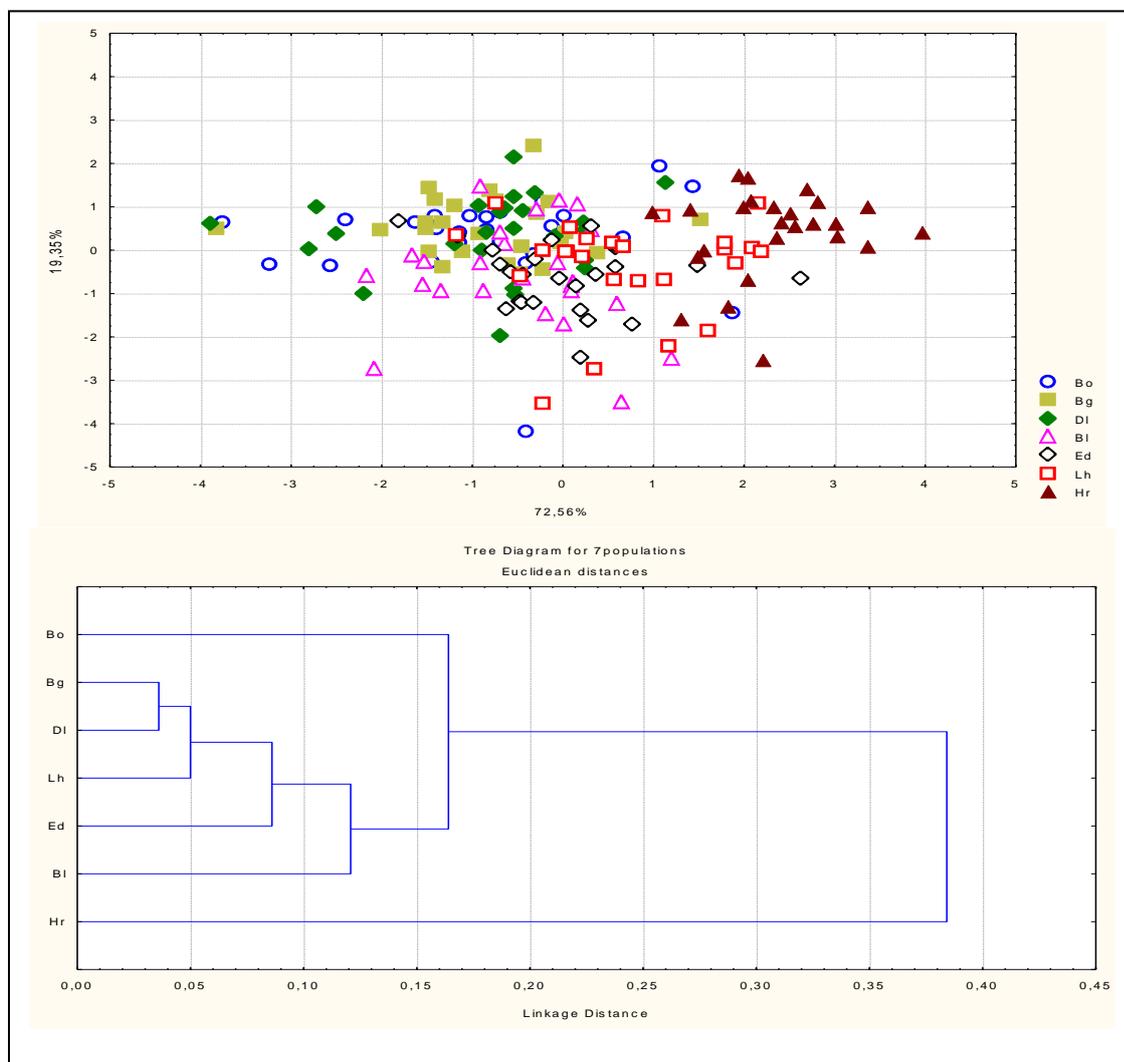


Figure 3: Results of discriminant analysis for *Z. lotus* leaves characters (a) ; Classification of study sites based on leaves morphological data (b) (Bl: Belkheir; Ed: Eddir; Bg: Boughar; Bo: Bousseadraia; Dl: Deldoul; Hr: Hassi rmel; Lh : Lahmer).

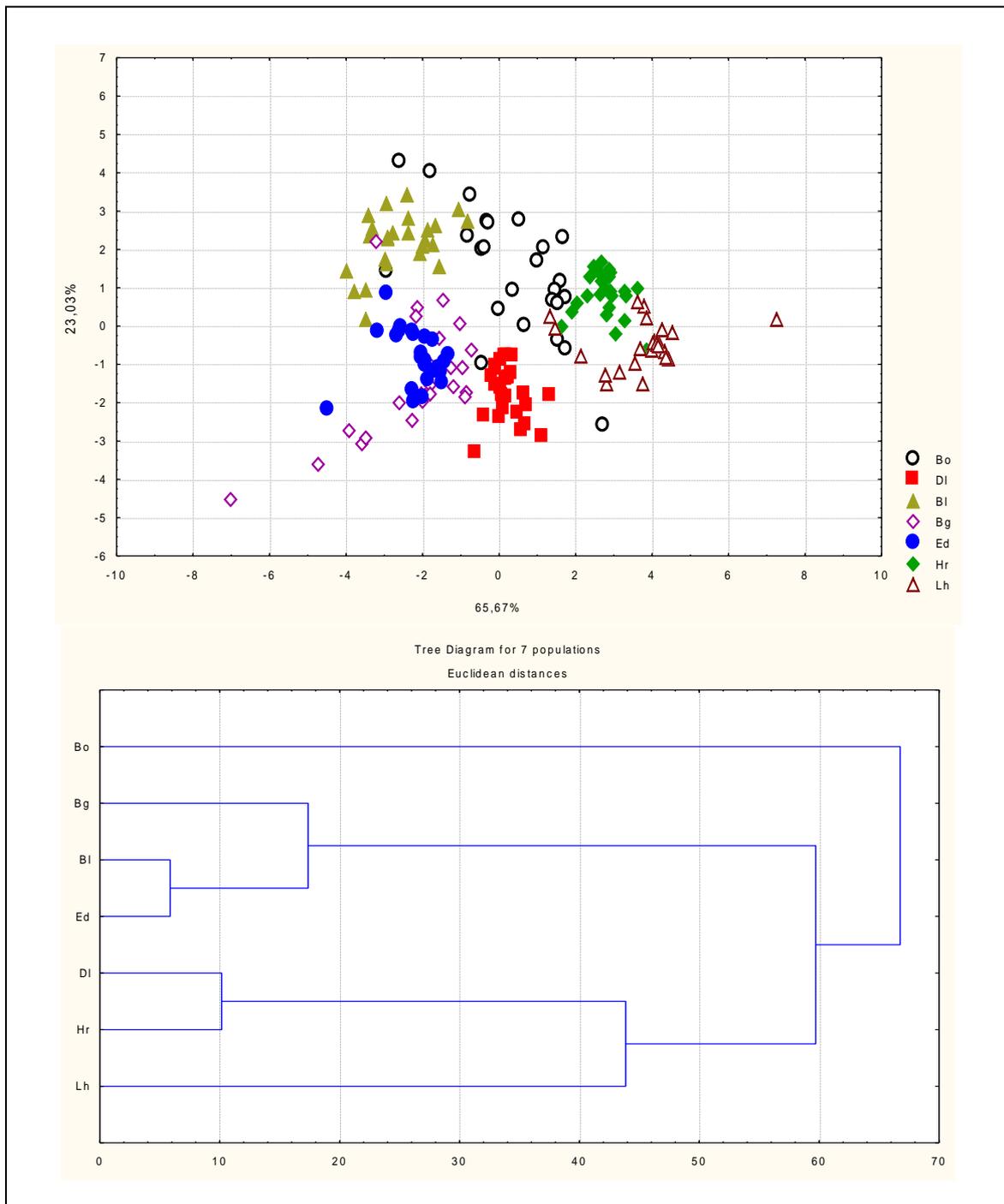
The second DA of individuals based on stomata characters (Figure 4a) showed that individuals of Hassi rmel population were closer to those of Lahmer and Deldoul populations. While, the majority of Boussehraia individuals were closer to those of Belkheir, Eddir and Boughar populations. Groups of populations were differentiated mostly by adaxial stoma length, adaxial stoma width, adaxial stomatal density and abaxial stomatal density (DSL, DSW, DSD and DSB) with partial Wilks' - λ of 0.027, 0.040, 0.030 and 0.063, respectively. The second HCA dendrogram based on the stomatal character's similarity (Fig. 4b) allowed the subdivision of the populations onto three different groups : Boussehraia site formed the first group, the second group divided onto two subgroups (the first one consisted of Boughar population which had the highest stomatal size and the second one consisted of Belkheir and Eddir populations).

The third group, which had the lowest values of stomatal density, is separated onto two subgroups (the first one consisted of Deldoul and Hassi rmel populations and the second one of Lahmer population) The common characteristic between these populations is that they are situated in arid environment with the longest dry season.

For the qualitative leaf characteristics, the results showed differences within and among the different sites. The ovate to round-ovate leaf shape were the most common in Belkheir site, while broad lanceolate to elliptic leaves were recorded in Boughar, Eddir and Boussehraia sites. Ovate leaves are common in Deldoul and Hassi rmel sites while more broad lanceolate to ovate leaves are recorded in Lahmer site. For the petiole, rounded straight adaxially to rounded shapes were recorded in all the sites. However, the most common shapes for the leaf apex recorded in Belkheir, Deldoul, Hassi rmel, Eddir and Lahmer sites were acuminate to mucronate, while the mucronulate shape was the most important in Boussehraia site.

The leaf base was obtuse in five sites (Belkheir, Boughar, Boussehraia, Deldoul and Hassi rmel), and the attenuate shape was recorded in Eddir and Lahmer sites. Moreover, the leafmargins were serrulate to dentate in Eddir and Boussehraia sites and sinuate to entire in the remaining five sites (Table 8. Fig. 5).

Figure 4: Results of discriminant analysis for *Z. lotus* stomata characters (a); Classification of



study sites based on stomata morphological data (b) (Bl: Belkheir; Ed: Eddir; Bg: Boughar; Bo: Bousedraia; Dl: Deldoul; Hr: Hassi mel; Lh: Lahmer).

Table 8: Qualitative variables measured for *Ziziphus lotus* leaves for the studied sites.

Main variables	Sub-variables	Mean for the species (%)
Leaf shape (L)	Broad lanceolate (1)	31.9
	Ovate (2)	39.4
	Elliptic (3)	15.3
	Round ovate (4)	11.4
	Roundish (5)	2.0
Petiole shape (P)	Rounded (1)	42.1
	Flattened (2)	13.4
	Rounded straight adaxially (3)	44.5
Leaf base shape (B)	Attenuate (1)	29.0
	Obtuse (2)	54.6
	Truncate (3)	7.1
	Oblique (4)	9.3
Leaf apex shape (A)	Acuminate (1)	52.1
	Mucronate (2)	22.1
	Obtuse (3)	12.7
	Mucronulate (4)	11.5
	Retuse (5)	10.6
Leaf margin (M)	Entire (1)	28.5
	Serrulate (2)	52.5
	Dentate (3)	19.0
leaf epicuticular wax (W)	Absent (0)	0.03
	Rare (1)	0.00
	Remarkable (2)	35.4
	Abundant on the abaxial surface (3)	64.5
Leaf trichomes (T)	Absence (0)	63.5
	Rare (1)	29.7
	Remarkable (2)	4.9
	Numerous on the abaxial surface (3)	1.8

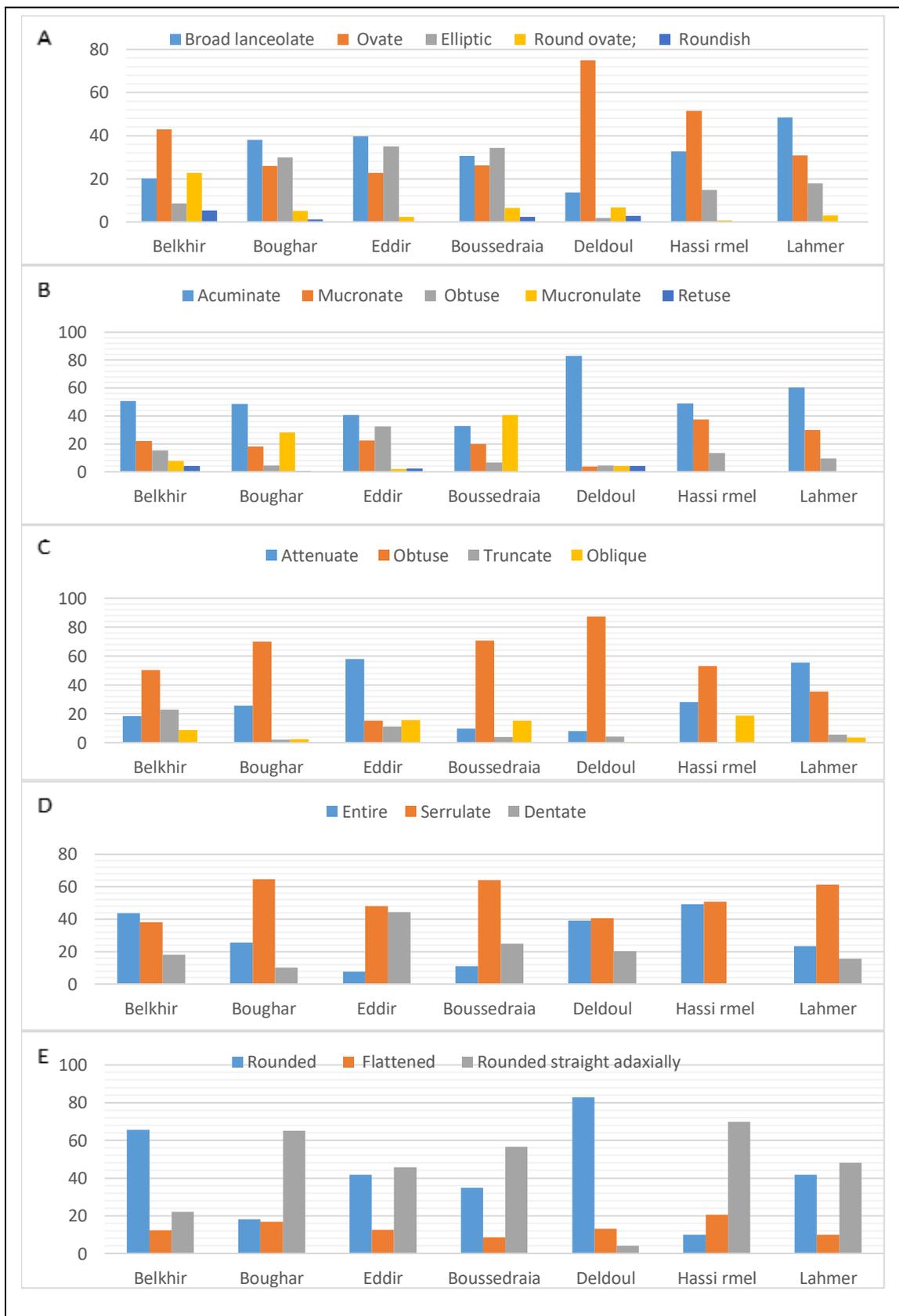


Figure 5: Comparison among provenances of *Z. lotus* leaves in terms of: (A) Leaf shapes, (B) Apex shapes, (C) Base shapes, (D) Margin shapes and petiole shapes (E).

Scanning electron microscope images showed that *Z. lotus* leaf surfaces (abaxial and adaxial) were covered with epicuticular waxes on all samples, moreover, waxes density was higher in Lahmer, Boughar and Eddir sites, with a snowy white appearance covering the epidermis cells and the stomata (Figs 6G and 6H).

On the other hand, the epidermal surfaces in Belkheir site looked glossy (Figs 5E and 5F). Stomata varied in shape, size and distribution between the abaxial and adaxial leaf surfaces.

On the adaxial surface, very few stomata were irregularly arranged on both sides of the main vein (Figs 6A and 6B). While, on the abaxial surface, the stomata were oval shaped and typically larger, distributed over all the abaxial leaf surface (Figs 6C and 6D).

SEM observations allowed the identification of two types of trichomes, however, trichomes were not found on the adaxial surface, they were present on the abaxial surfaces, non-glandular trichomes were observed with low density especially around the veins (Figs 7E and 7F), their density was higher in Boussehraia (Figs 7A and 7B). In contrast, glandular trichomes were rarely observed on the abaxial surface (Figs 7C and 7D).

III.3.4. Morphological and environmental conditions correlations

Significant correlations between stoma traits and environmental variables were recorded (Table 7). Positive correlation was observed between abaxial stomatal density and average annual precipitation ($r=0.93$, $p<0.01$). Abaxial stoma length and width were negatively correlated with mean maximum temperature ($r=0.88$, $p<0.01$; $r=0.82$, $p<0.01$), respectively. While, all variables were negatively correlated with soil pH, soil EC and soil total limestone amounts; also, abaxial stomatal density and abaxial stoma length were positively correlated with organic matter ($r=0.85$, $p<0.01$; $r=0.77$, $p<0.01$), respectively.

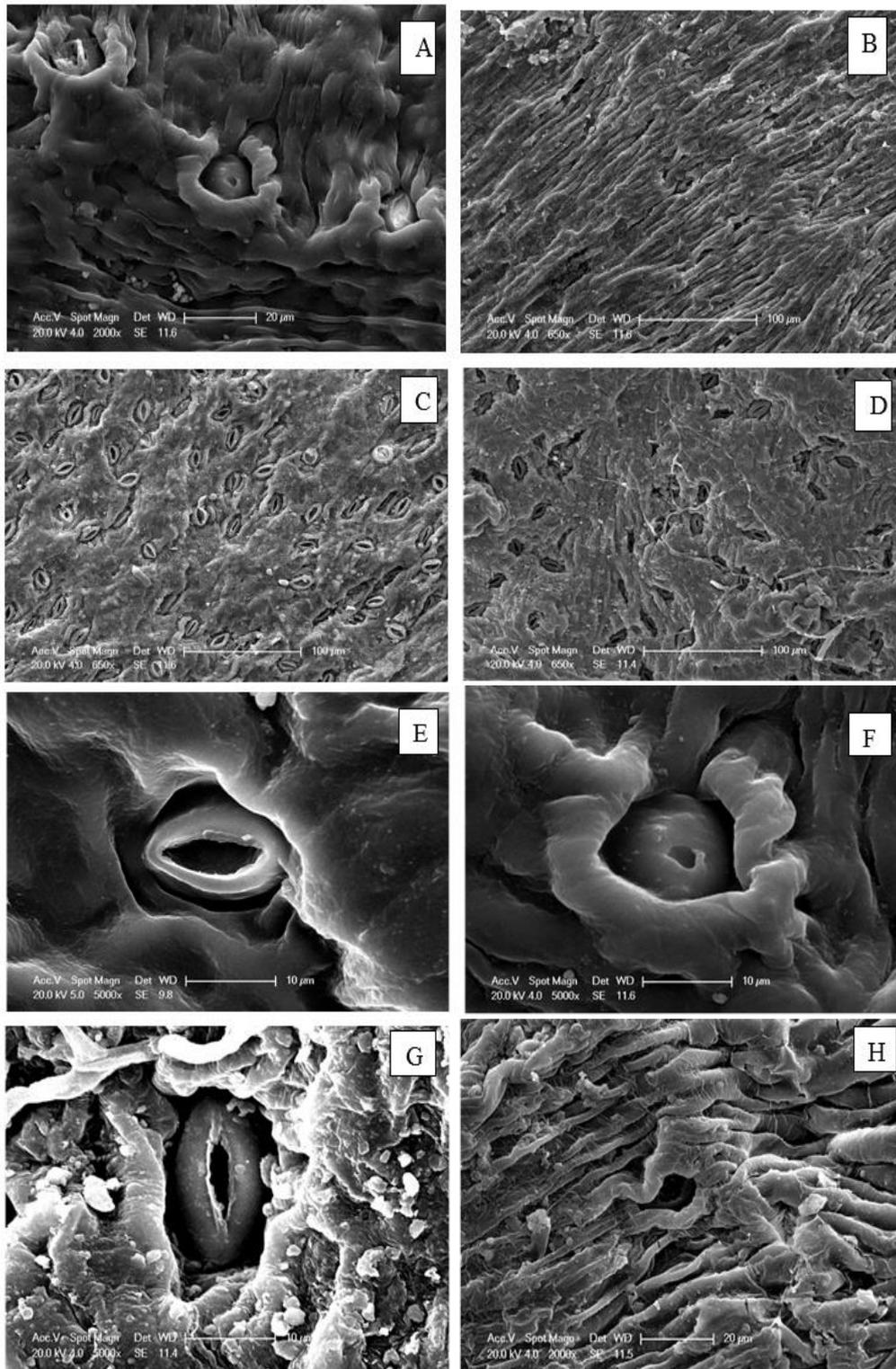


Figure 6: SEM micrographs showing: stomata low density and their distribution on the adaxial surface in (A) Bl and (B) Bo, stomata high density and their distribution on the abaxial surface in (C) Bg and (D) Hr, stomata in Bl (E) on the adaxial surface (F) on the abaxial surface, (G) and (H) waxes.

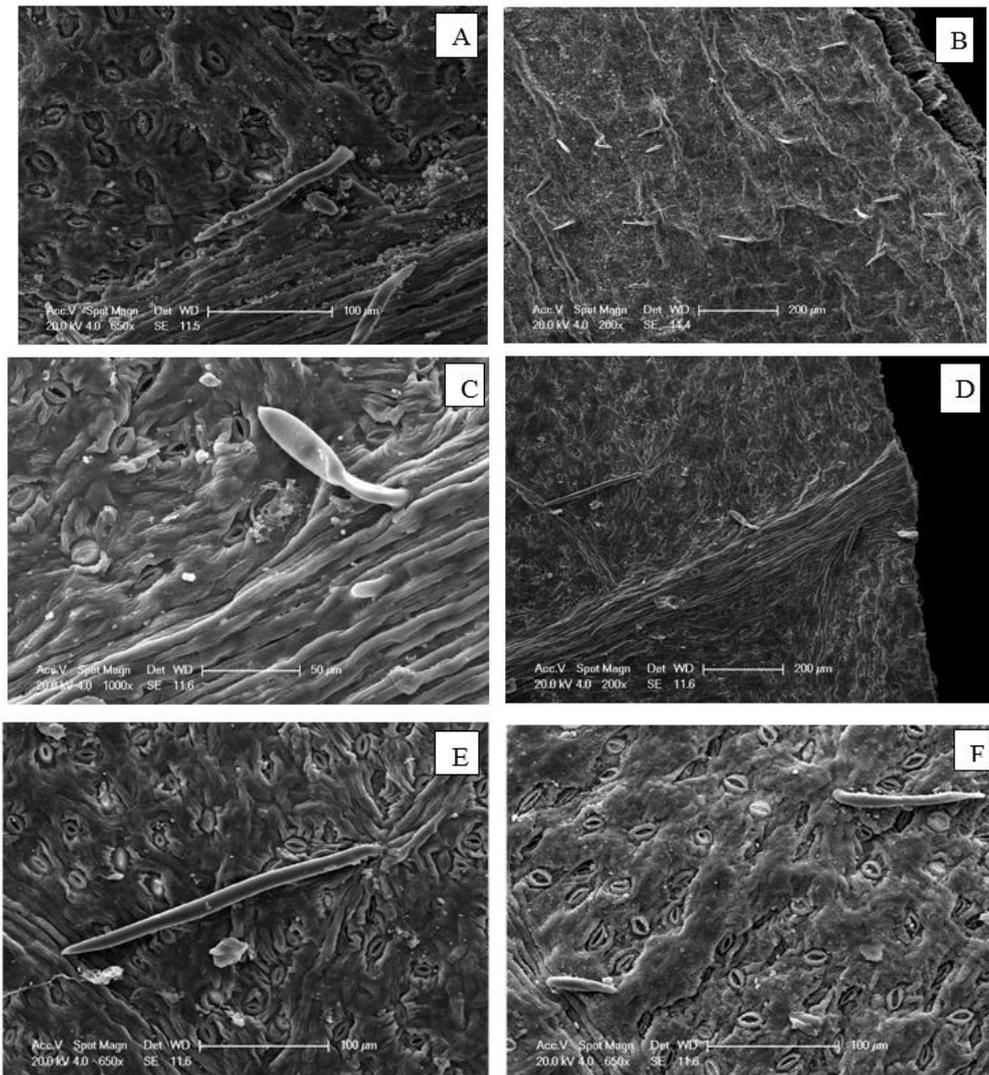


Figure 7: SEM micrographs showing trichomes on leaf surface of *Z. lotus* : (A) and (B) Non-glandular trichomes on the abaxial surface and the adaxial surface in Bo (C) and (D) glandular trichome on the abaxial surface in Bl, (E) and (F) abaxial leaf surface showed high stomatal density and trichomes in Bl and Bg.

III.4. DISCUSSION

The wild jujube occupies a wide geographical distribution which demonstrates its great ability of adaptation to different climates and environmental conditions (Boussaid et al., 2018). It's a good example of plasticity to adapting in arid regions, especially at leaves level (Zouaoui et al., 2013). In this study *Z. lotus* leaves micro and macro morphological variability were evaluated in seven wild populations in Algeria, based on quantitative and qualitative leaf and stoma traits. On the other hand, we investigated the effect of ecological factors on leaf morphology variation (soil and bioclimate conditions). The results revealed a high variability among and within populations. The quantitative traits were significantly correlated with the

variation of ecological conditions, the longest leaves were located in bussedraia (*arid bioclimate*) characterized by lower precipitation and a long dry season, while, the largest leaves were located in Belkheir (*subhumid bioclimate*) characterized by higher precipitation. However, the smallest leaves were located in hassi rmel (Saharan bioclimate) characterized by the longest dry season. Our results are similar to those recorded by Rais et al. (2017), in their study conducted on three *Z. lotus* populations from different bioclimatic zones in morroco, when, the smallest leaves came from the arid region, and the longest ones from the semi-arid region.

Our results reported that the abaxial stomata presented significant differences in size and density in the different populations, this variation induced by environmental conditions, such as precipitation, temperature and soil composition, the longest leaves sampled from Bussedraia site had the smallest stomata, however the leaves of Hassi rmel had the lowest stomata densities, Belkheir had the biggest stomata and the highst stomatal densities in both leaf surfaces. Our results are similar to those recorded by Kang et al. (2008), with the decrease of water content in the habitats, *Ziziphus jujube* var. *spinosa* stomata became smaller gradually, and their density increase gradually. This hypothesis is supported by other studies conducted, in Algeria, on *Z. lotus* fruits diversity and the influence of the environmental conditions in Algeria (Boussaid et al., 2018 ; Dahlia et al., 2019), which revealed that the environment has a considerable effect on the morphological variability among the populations for the majority of the studied traits. Tree elasticity is due to its capacity to develop morphological and physiological adaptation strategies to water stress, especially, these adaptation strategies are based on stomatal control and reduction of leaf size (Gratani et al., 2013).

On the other hand, qualitative traits were not clearly affected by the environmental conditions; hight variation in leaf shape were observed even in each specimen in the same population, Tatari et al. (2016) confirms that climatic conditions have an important impact on the morphological traits of *Z. jujuba* ecotypes. Azam-Ali et al. (2006), reported that the genus *Ziziphus*, presents a hight phenotypic and genotypic diversity within the same population. The differences within the same population might reflect the genotypic effects (Karadeniz., 2002). The observation of *Z. lotus* in different phenological states showed a high variation among and within sites. Variations among sites could be explained by the influence of temperature, soil moisture, photoperiod, exposure, soil texture and drought (Zouaoui et al., 2014).

No information is available in the literature concerning *Z. lotus* stoma and epidermis morphology. Scanning electron microscope images provided supplementary information about the leaf micromorphology. Both adaxial and abaxial leaf surfaces were covered by waxes.

Stomatal densities were higher in the abaxial surface, non-glandular trichomes were observed on the abaxial surface, especially around the veins, but, they were absent on the margins of leaves. In arid environments, xenomorphic plants reduce the leaves size and cover them with trichomes and waxes to reduce loss of water by transpiration (Barboni et al., 2004). Similar results were recorded for plants from the genus *Pistacia*. For instance, *P. atlantica* which occurs in similar environmental conditions as *Z. lotus*, in arid and semi-arid lands (Belhadj et al., 2007).

III.5. CONCLUSION

The current study allows the identification of more morphological characteristics of wild jujube in Algeria (leaf size, petiole, leaf shapes, stoma size, stomata density and leaf epidermis surface). Our results showed a high morphological variability within and among populations for the majority of leaf and stoma traits. The variation was clearly marked by the environmental conditions. The present study may be useful to provide a data base for morphological description of *Ziziphus lotus* and help to understand the different adaptation mechanisms and strategies of the plant in the different habitats.

CHAPITRE IV

**Etude de la variabilité morphologique
des fruits de
Ziziphus lotus (L.) Lam.**

IV.1. Etude de la variabilité des caractères morphologiques qualitatifs

IV.1.1. Forme des fruits

Les fruits de *Ziziphus lotus* sont caractérisés par une variation de la forme. Les populations étudiées présentent les quatre différentes formes à des pourcentages différents (figure 1 et tableau 1). La majorité des fruits sont de forme globulaire (57,94%), la deuxième forme dominante est la globulaire lenticulaire avec 23,9%. A Boussedraia, les fruits sont à 42,54% de forme globulaire lenticulaire.

IV.1.2. Couleur des fruits

Les fruits de jujubier sauvage étaient caractérisés par une hétérogénéité de la couleur (figure 1 et tableau 1). L'ensemble des populations présentent quatre couleurs différentes à des pourcentages variés. La majorité des fruits sont d'un marron chocolat à 44,36%, d'un marron clair à 39,92%, d'un marron rougeâtre à 14,44% et enfin, d'une couleur orange à 0,97%. La couleur marron clair est la plus dominante dans les populations de Boussedraia (64,53%) et Deldoul (56,33%).

IV.1.3. Nombre de graines par fruit

Le nombre de graines par fruit était d'un, deux ou rarement trois pour l'ensemble des populations de jujubier sauvage étudiées (figure 1 et tableau 1). La majorité des fruits contient deux graines (54,6%), 29,1% des fruits contiennent une graine alors que 7,1% contiennent 3 graines.

Les fruits de la population de Boughar contiennent 2 graines à un taux de 91,46%. Alors que 84,26% des fruits provenant de Lahmer et 69,06% des fruits d'Edir, contiennent une seule graine. Nous avons noté la présence d'une troisième graine dans trois populations ; Boughar, Boussedraia et Deldoul.

IV.1.4. Forme des graines

Trois formes de graines ont été enregistrées dans l'ensemble des populations avec une dominance de la forme globulaire lenticulaire (48,3%) (Figure 1 et tableau 1). Seule la population de Boughar a présenté un taux de 85,34% de graines globulaires.

IV.1.5. Couleur des graines

Les graines des populations de jujubier étudiées ont montré une dominance de la couleur marron foncé (58,29%), avec l'importante présence de deux autres couleurs à des pourcentages

différents (figure 1 et tableau 1). A l'exception de la population de Boughar qui s'est caractérisée par une homogénéité de la couleur des graines avec 99,2% de fruits marron foncé.

Tableau 1 : Caractérisation qualitative des fruits, endocarpes et graines des populations de *Ziziphus lotus* étudiées.

Variables	Sub-variables	Moyennes (%)
Forme du fruit (Ffr)	Globulaire (1)	57,94
	Globulaire lenticulaire (2)	23,9
	Ovoïde globulaire (3)	11,97
	Ovoïde (4)	6,14
Couleur du fruit (Cfr)	Marron clair (1)	39,92
	Marron chocolat (2)	44,63
	Marron rougeâtre (3)	14,44
	Orange (4)	0,97
Nombre de graine (Ngr)	Une graine (1)	29.0
	Deux graines (2)	54.6
	Trois graines (3)	7.1
Forme de la graine (Fgr)	Globulaire (1)	37,25
	Ovoïde (2)	24,49
	Globulaire lenticulaire (3)	48,3
Couleur de la graine (Cgr)	Marron rougeâtre (1)	9,82
	Marron foncé (2)	58,29
	Marron clair (3)	31,99

IV.2. Etude de la variabilité des caractères morphologiques quantitatifs

IV. 2.1. Analyse descriptive

La moyenne, l'écart type, l'étendue ainsi que le coefficient de variation des différents variables quantitatives mesurées chez les populations étudiées sont représentés dans le tableau 2.

IV. 2.1.1. Longueur des fruits

Les fruits de *Z. lotus* mesurent en moyenne $11,24 \text{ mm} \pm 1,45$ de longueur et varie entre 6,67mm à Lahmer et 15,97mm à Boughar pour la totalité des provenances. La population de Boughar contient les fruits les plus grands avec une moyenne de $12,63 \text{ mm} \pm 1,1 \text{ mm}$, alors que, la population de Deldoul avait la moyenne la plus basse pour ce trait ($10,21 \text{ mm} \pm 1,08 \text{ mm}$).

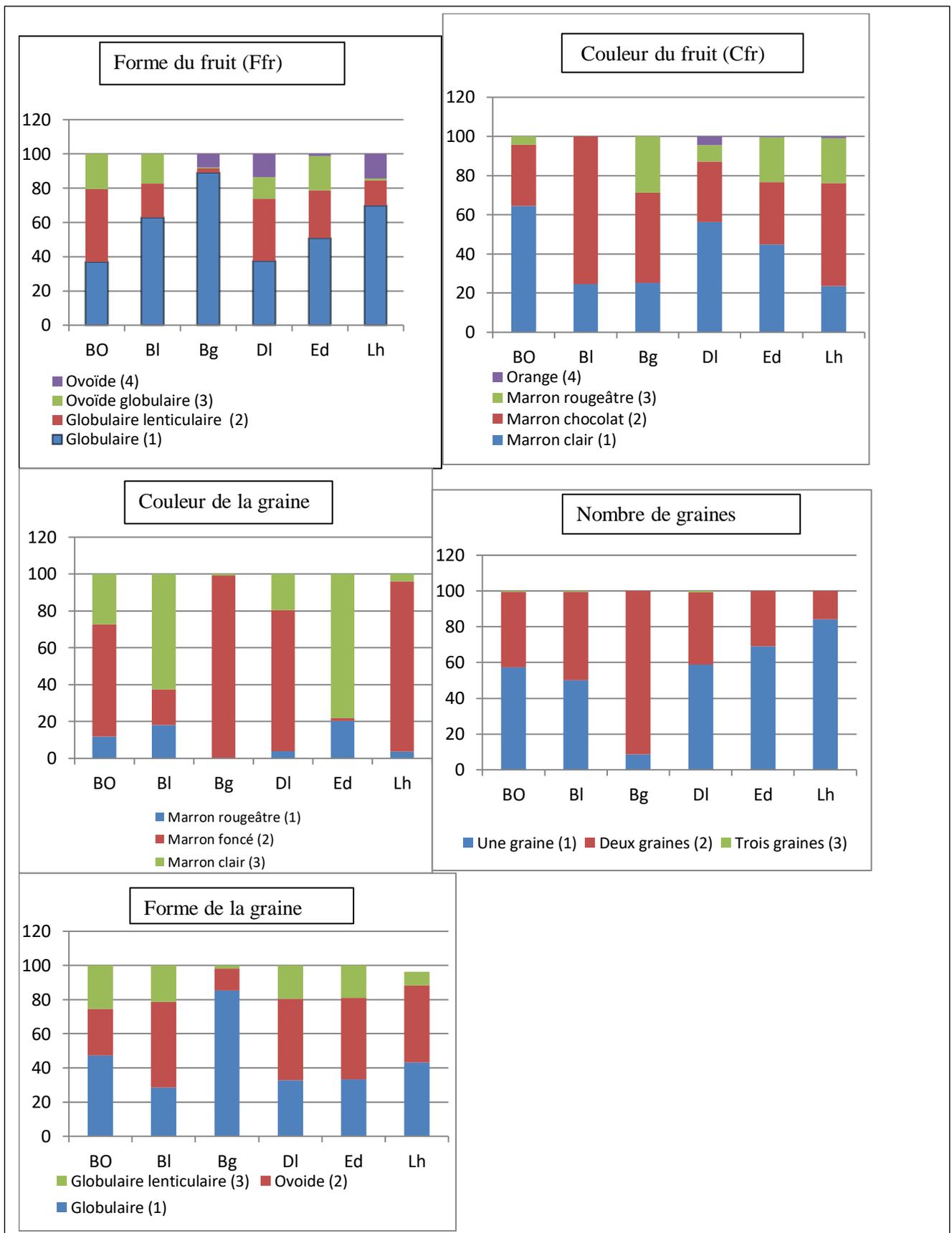


Figure1 : Variation des variables qualitatives des fruits et des graines pour les différentes populations de *Ziziphus lotus*.

IV. 2.1.2. Largeur des fruits

La largeur des fruits est en moyenne de 11,05mm \pm 1,38, les valeurs extrêmes enregistrées pour la largeur varient entre 6,67mm à Edir et 17,75mm à Boussedraia. Les fruits les plus larges sont enregistrés à Boughar avec une moyenne de 11,74mm \pm 1,18 et les plus petits sont observés à Deldoul.

IV. 2.1.3. Poids des fruits

Le poids des fruits du jujubier sauvage pour l'ensemble des provenances est en moyenne de 0,46 g \pm 0,14. Les moyennes enregistrées oscillent entre 0,14g à Eddir et 0,93 g à Lahmer. Les fruits les plus gros sont observés à Boughar et Boussedraia avec une moyenne de 0,54g.

IV. 2.1.4. Longueur de l'endocarpe

La longueur de l'endocarpe pour l'ensemble des populations étudiées est en moyenne de 8,24mm \pm 1,42. Elle varie entre 4,99 mm à Deldoul et 11,75mm à Belkheir. La moyenne la plus élevée est enregistrée à Boughar (8,31mm \pm 0,32).

IV. 2.1.5. Largeur de l'endocarpe

La largeur de l'endocarpe du fruit du jujubier est en moyenne de 7,33mm \pm 0,9. Elle oscille entre 4mm à Boussedraia et 13,58mm à Boughar. La population de Boughar a les endocarpes les plus grands avec une moyenne de 8,29mm \pm 0,71.

IV. 2.1.6. Longueur des graines

Les graines de jujubier mesurent en moyenne 5,43mm \pm 0,5 de longueur pour la totalité des provenances. Les valeurs extrêmes enregistrées pour cette variable oscillent entre 3,15mm à Lahmer et 7,45mm à Belkheir. La population de Boussedraia possède les graines les plus grandes avec une moyenne de 5,71mm.

IV. 2.1.7. Largeur des graines

La largeur des graines est en moyenne de 4,4mm \pm 0,43, les valeurs extrêmes enregistrées pour la largeur varient entre 3,11mm à Belkheir et 7,57mm à Deldoul. Les graines les plus larges sont enregistrées à Boussedraia avec une moyenne de 4,85 \pm 0,54.

IV. 2.1.8. Épaisseur des graines

L'épaisseur des graines est en moyenne de $2,21\text{mm} \pm 0,26$, pour l'ensemble des provenances. Les moyennes enregistrées oscillent entre 1,1mm à Deldoul et 5,59mm à Boussehraia. Les fruits provenant de Boussehraia ont la plus grande valeur pour ce caractère avec une moyenne de $2,27\text{mm} \pm 0,18$.

IV. 2.1.9. Poids des graines

Le poids des graines de *Z. lotus* pour l'ensemble des provenances est en moyenne de $0,027\text{ g} \pm 0,01$. Les moyennes enregistrées oscillent entre 0,01g et 0,048 g enregistrée à Boussehraia. La population de Boussehraia possède la moyenne la plus élevée pour ce caractère avec 0,03g.

La variation exprimée par les coefficients de variation (C.V) pour les variables quantitatives à l'intérieur des populations du jujubier et entre les différentes provenances faible ($\leq 20\%$). Le poids de la graine est le trait morphologique qui présente le maximum de variation inter-provenances (37,23%) (Tableau 2).

Tableau2 : Valeurs des caractères quantitatifs mesurées pour les fruits, les endocarpes et les graines de *Ziziphus lotus*.

Variables	Belkhir (Bl)	Bouhar (Bg)	El dir (Ed)	Deldoul (Dl)	Bousedraia (Bo)	Lahmer (Lh)	Moyennes
Longueur du fruit (Lgfr) (mm)	11,47 ± 1,24 7,67- 13,89 (10,88)	12,63 ± 1,1 10,01- 15,41 (8,76)	10,32 ± 1,01 8,15-13,5 (9,79)	10,21 ± 1,08 6,88- 13,98 (10,6)	11,88± 1,37 7,43 – 15,97 (11,57)	10,92 ± 1,20 6,67- 14,41 (11,06)	11,24*** ± 1,45 6,67-15,97 (12,94)
Largeur du fruit (Lrfr) (mm)	11,06 ± 1,22 7,09 – 13,99 (11,09)	11,74 ± 1,18 8,48 – 14,74 (10,05)	10,61± 1,1 7,68 – 13,77 (10,39)	10,53± 1,13 6,95– 14,66 (10,81)	11,71 ± 1,74 7,2 – 17,57 (14,77)	10,6± 1,19 7,67– 14,41 (11,06)	11,05***± 1,38 6,95-17,57 (12,53)
Poids du fruit (Pfr) (gr)	0,44± 0,12 0,2 – 0,74 (27,7)	0,54 ± 0,21 0,29 – 0,95 (23,26)	0,36 ± 0,09 0,14-0,68 (25,12)	0,41 ± 0,11 0,15 – 0,89 (27,84)	0,54 ± 0,12 0,16 – 0,8 (31,81)	0,45 ± 0,12 0,17 – 0,93 (27,14)	0,46 ***± 0.14 0.14 -0,93 (30,93)
Longueur d'endocarpe (LngE) (mm)	8,72± 0,77 6,23 – 11,75 (8,89)	8,31 ± 0,32 7,21 – 9,66 (13,9)	8,04± 0,71 5,38 – 10,32 (8,91)	7,74 ± 0,88 4,99 – 10,33 (11,46)	8,43 ± 0,8 6,23 – 9,09 (9,56)	8,22 ± 2,98 5,73 – 9,8 (36,23)	8,24***± 1,42 4,99– 11,75 (17,22)
Largeur d'endocarpe (LrgE)(mm)	6,99 ± 0,67 5,31 – 9,95 (9,65)	8,29 ± 0,69 6,7 – 13,58 (8,43)	7,47 ± 0,66 5,58 – 8,78 (8,84)	7,15 ± 0,75 5,24 – 9,42 (10,6)	7,28 ± 0,89 4 – 9,5 (12,33)	6,82 ± 0,88 3,65 – 9,89 (12,93)	7,33*** ± 0,9 4-13,58 (12,3)
Longueur de la graine (LngG)(cm)	5,67 ± 0,45 4,26 – 7,45 (8,06)	5,38 ± 0,3 4,22 – 6,41 (5,7)	5,53 ± 0,39 4,63 – 6,24 (7,07)	5,05 ± 0,54 3,38 – 6,67 (10,84)	5,71 ± 0,5 4,02 – 6,87 (8,91)	5,23 ± 0,51 3,15 – 6,73 (9,91)	5,43*** ± 0,51 3,15 – 7,45 (9,56)
Largeur de la graine (mm)	4,78 ± 0,45 3,11 – 6,37 (9,86)	4,57 ± 0,32 4,7 – 5,7 (7,05)	4,4 ± 0,43 3,89 – 5,44 (9,79)	4,57 ± 0,32 4 – 7,57 (7,05)	4,85 ± 0,54 4,26 – 6,43 (11,14)	4,57 ± 0,31 3,75 – 7,54 (7,15)	4,4 *± 0,43 3,11 – 7,57 (9,79)
Epaisseur de la graine (EpG) (mm)	2,2 ± 0,25 1,12 – 3,52 (11,41)	2,27 ± 0,18 2 -2,92 (8,14)	2,22 ± 0,18 1,79 – 2,85 (8,32)	2,06 ± 0,30 1,1 -5,05 (14,7)	2,25 ± 0,28 1,39 -5,59 (12,74)	2,24 ± 0,26 1,28 -3,79 (11,93)	2,21*** ± 0,26 1,1 – 5,59 (11,77)
Poids de la graine (PG)(gr)	0,02 ± 0,01 0,01 – 0,034 (25,62)	0,026 ± 0,04 0,01 – 0,03 (16,82)	0,025 ± 0,03 0,01 -0,03 (14,83)	0,024 ± 0,01 0,01 – 0,034 (14,43)	0,03 ± 0,06 0,01-0,048 (22,10)	0,026 ± 0,05 0,01 – 0,04 (22,05)	0,027*** ± 0,01 0,01 – 0,048 (37,23)

Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; NS : Non significatif.

IV.3. Analyse de la variance

Les résultats de l'analyse de la variance, ANOVA à un facteur, des caractères morphologiques des fruits, endocarpes et graines sont représentés dans le Tableau 3. L'analyse pour l'ensemble des caractères montre qu'il existe des différences significatives entre les populations, à l'intérieur de la population et entre les fruits du même arbuste. Par ailleurs, la variable épaisseur de la graine ne présente pas de différence significative intra ou inter populationnelle ($p > 0.05$).

Tableau 3 : Anova à un facteur des variables quantitatives des fruits, des endocarpes et des graines du jujubier sauvage.

		SC	D.d.l.	MC	F	p	Significativité
Longueur du fruit (Lgfr)(mm)	Populations	3292,8	5	658,6	474,2	0.000	***
	Individus	3345,9	124	27,0	19,1	0.000	***
	Arbuste	316,3	29	10,9	5,3	0.000	***
Largeur du fruit (Lrfr)(mm)	Populations	1241,4	5	248,3	150,8	0.000	***
	Individus	3907,8	124	31,5	29,1	0.000	***
	Arbuste	456,1	29	15,7	8,6	0.000	***
Poids du fruit (Pfr)(gr)	Populations	18,1404	5	3,6281	222,01	0.000	***
	Individus	40,3373	124	0,3253	27,77	0.000	***
	Arbuste	5,2595	29	0,1814	9,39	0.000	***
Longueur d'endocarpe (LngE)(mm)	Populations	426,8	5	85,4	44,4	0.000	***
	Individus	1059,1	124	8,5	4,7	0.000	***
	Arbuste	167,4	29	5,8	2,9	0.000	***
Largeur d'endocarpe (LrgE)(mm)	Populations	1009,3	5	201,9	341,7	0.000	***
	Individus	1481,8	124	11,9	24,0	0.000	***
	Arbuste	116,2	29	4,0	5,0	0.000	***
Longueur de graine (LngG)(mm)	Populations	250,4	5	50,1	233,3	0,000	***
	Individus	483,2	124	3,9	23,3	0.000	***
	Arbuste	28,9	29	1,0	3,8	0.000	***
Largeur de graine (LrgG)(mm)	Populations	136,14	5	27,23	2,80	0.000	NS
	Individus	1809,08	124	14,59	1,517	0.000	***
	Arbuste	239,70	29	8,27	0,85	0.000	NS
Épaisseur de graine (EpG)(mm)	Populations	21,65	5	4,33	68,6	0.000	***
	Individus	41,59	124	0,34	41,59	0.000	***
	Arbuste	2,10	29	0,07	1,1	0,366	NS
Poids d'une graine (PG)(gr)	Populations	0,021	5	0,0042	43,86	0.000	***
	Individus	0,058	124	0,0004	5,21	0.000	***
	Arbuste	1717,7	29	1717,7	1,02	0,094	NS

IV.4. Matrice des corrélations

La matrice des corrélations des variables quantitatives étudiées est présentée dans le tableau 4. Des corrélations positives et hautement significatives ont été enregistrées entre certains caractères. Les corrélations les plus importantes sont celles qui lient le caractère poids du fruit (Pfr)

à la longueur du fruit (Lgfr) ($r=0,69$) et la largeur du fruit (Lrfr)($r=0,75$). La longueur et la largeur du fruit sont également étroitement liées ($r=0,70$).

Tableau4 : Matrice de corrélation entre les caractères étudiés ($p < ,05000$ N=4500).

	Lgfr	Lrfr	Pfr	LngE	LrgE	LngG	LrgG	EpG	PG
Lgfr	1,00								
Lrfr	0,70*	1,00							
Pfr	0,69*	0,75*	1,00						
LngE	0,17	0,10	0,12	1,00					
LrgE	0,23	0,25	0,24	0,10	1,00				
LngG	0,26	0,21	0,19	0,22	0,09	1,00			
LrgG	-0,01	-0,00	-0,01	-0,02	-0,01	0,04	1,00		
EpG	0,15	0,11	0,11	0,05	0,08	0,14	-0,04	1,00	
PG	0,14	0,14	0,12	0,09	0,04	0,28	0,01	0,21	1,00

IV.5. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Une classification hiérarchique basée sur les variables morphologiques des fruits et des graines, réalisée selon le critère d'agrégation de Ward, a permis de subdiviser les populations de *Ziziphus lotus* étudiées en 3 groupes (Fig.2):

- Le premier groupe est composé uniquement de la population de Boughar qui présente les moyennes les plus élevées pour la longueur du fruit, la largeur du fruit ainsi que le poids du fruit ;
- Le deuxième groupe se compose de deux sous-groupes, le premier représenté par la population de Lahmeret le deuxième regroupe les deux populations de Deldoul et d'Edir. Les fruits provenant de ces trois stations présentent les plus petites dimensions ;
- Le troisième groupe rassemble les populations de Boussedraia et de Belkheir, les dimensions des fruits de ces deux provenances sont proches pour l'ensemble des variables ; longueur des fruits, longueur de l'endocarpe, longueur des graines et largeur des graines.

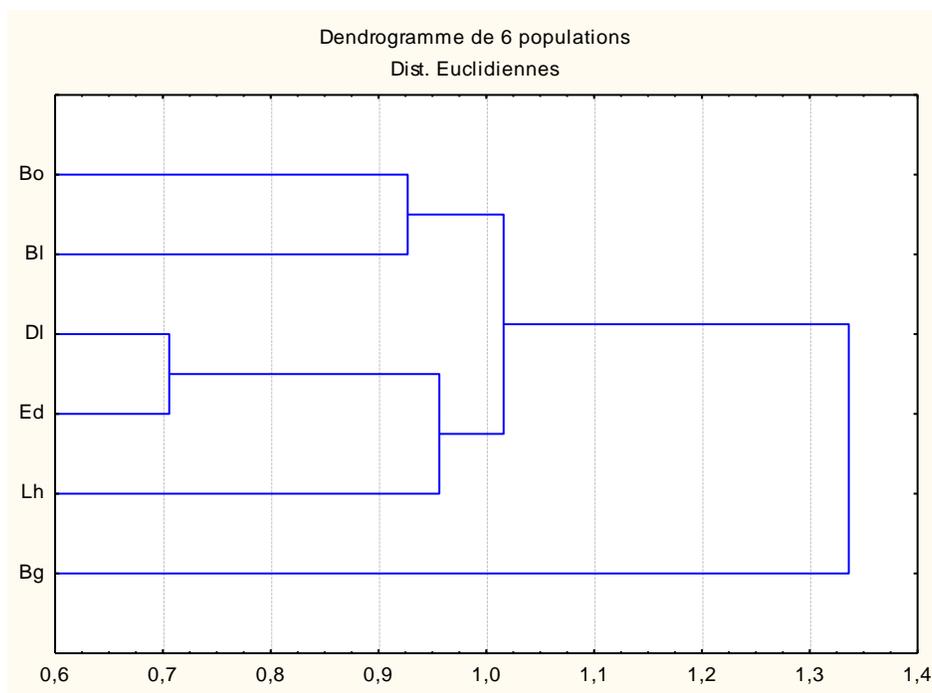


Figure 2: Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique des variables morphologiques des fruits et des grains de *Z.lotus*: (Bl: Belkheir; Ed: Eddir; Bg: Boughar; Bo: Boussedraia; Dl: Deldoull; Lh: Lahmer).

IV. 6. Analyse factorielle discriminante (AFD)

L'analyse factorielle discriminante a été effectuée à partir des neuf variables quantitatives étudiées. Le test de λ -Wilk, a révélé que l'ensemble des variables ont une contribution très hautement significative à la variabilité morphologique observée (Tableau 5).

Tableau 5: test du lambda de λ -Wilk.

Variabes	λ -Wilk	P
LGfr	0,080751	0,000***
LRfr	0,057561	0,001***
Pfr	0,064860	0,000***
LngE	0,061362	0,000***
LrgE	0,084449	0,000***
LngG	0,060248	0,000***
LrgG	0,060663	0,000***
EpG	0,065904	0,000***
PG	0,058360	0,000***
LGfr	0,080751	0,000***

La représentation graphique obtenue par l'AFD sur les axes canoniques 1 et 2 (Fig.3), l'axe 1 représente 68,4% de la variabilité totale. Il permet de distinguer trois groupes de populations : la population de Boughar située dans la partie négative de cet axe, elle se distingue par les plus grands fruits. De l'autre côté, on trouve le deuxième groupe des populations de Deldoul, Eddir et Lahmer, représenté par les plus petites dimensions des fruits. Dans la partie négative de l'axe 2 (31,6% de la variabilité totale), on trouve le troisième groupe composé par les populations de Boussedraia et Belkheir.

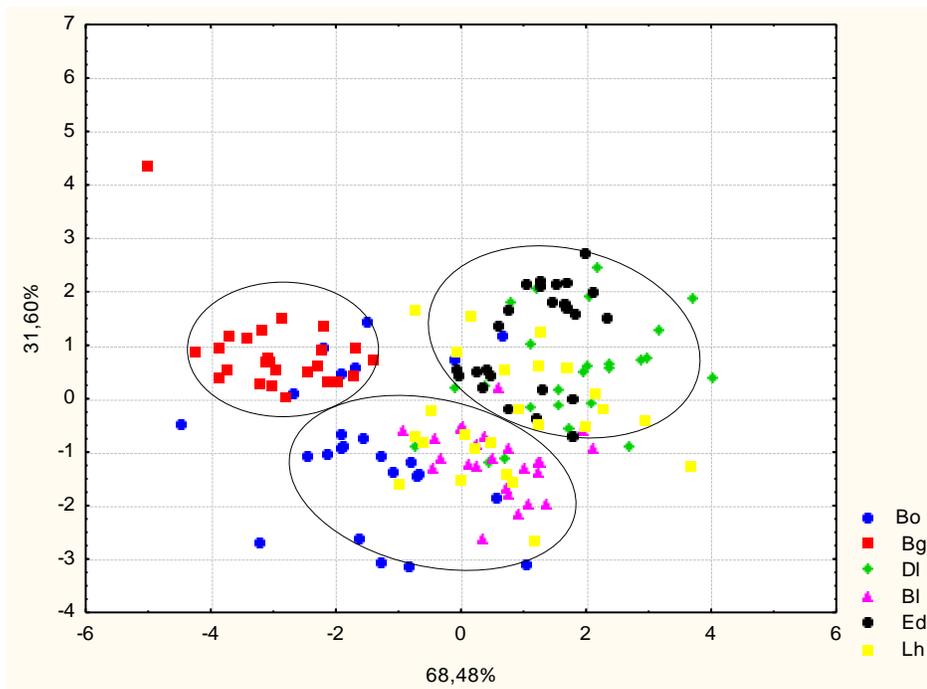


Figure3 : Représentation graphique de l'analyse factorielle discriminante (AFD) des variables quantitatives des fruits et des graines de *Ziziphus lotus* :Bl: Belkheir; Ed: Eddir; Bg: Boughar; Bo: Boussedraia; Dl: Deldoul; Hr: Hassirmel; Lh: Lahmer).

IV.7. Discussion

Cette étude a pu mettre en évidence la présence d'une variabilité morphologique au niveau des fruits, des endocarpes et des graines de *Ziziphus lotus* des six populations naturelles appartenant à des conditions environnementales différentes.

Les fruits de *Z. lotus* mesurent en moyenne 11,24 mm de longueur et 11,05 mm de largeur avec un poids de 0,46 g. Nos résultats concordent avec les travaux de Dahlia et al. (2019) menés sur des différentes populations de jujubier sauvage en Algérie. Nos résultats sont similaires

également à ceux reportés par Boussaid et al. (2018) dans son étude menée sur des populations de *Ziziphus lotus* des régions arides et semi-arides, ils ont enregistré des valeurs extrêmes de 10,61 mm à 12,17 mm pour la longueur du fruit, 9,85 mm à 12,81 mm pour la largeur et 0,43 g à 0,75 g pour le poids. Rais et al. (2017) ont également rapporté des valeurs similaires, dans leur étude de trois populations marocaines de *Z. lotus* spontanée, où les fruits ont entre 11 mm et 11,70 mm de largeur et un poids de 646,16 mg.

Les fruits ont présenté une grande variation intra et inter-populationnelle pour les variables qualitatives, quatre différentes formes et quatre couleurs ont été enregistrées pour l'ensemble des provenances. Pour les graines, trois formes et trois couleurs ont été observées. Nos résultats sont similaires à ceux enregistrés par Dahlia (2019).

L'analyse de la variance montre une grande variation à l'échelle populationnelle, individuels et même entre les échantillons de fruits venants d'un même arbuste. Les écarts importants entre les minima et les maxima des variables quantitatives confirment l'existence d'une grande variabilité morphologique à l'intérieur des populations.

Cette variabilité inter-populationnelle peut être expliquée comme une forme d'adaptation de l'espèce aux différentes conditions environnementales. Les sites de Boughar, Boussedraia et Belkheir présentent les plus grands fruits. Ces trois sites sont caractérisés par une plus forte précipitation pendant la saison hivernale et une saison sèche qui ne dépasse pas les 6 mois. Le mois le plus pluvieux est janvier à Belkheir et Boughar. Le site de Belkheir est caractérisé par un sol de texture limono-argileuse, particulièrement riche en matière organique, tandis que les sols de Boussedraia et Boughar sont composés majoritairement de sable. Alors que, les populations de Deldoul, Edir et Lahmer présentent les fruits les plus petits. Ces provenances se caractérisent par de faibles précipitations à Lahmer, Eddir où l'automne et l'été sont les saisons les plus pluvieuses. Une longue saison sèche (10 mois jusqu'à 12 mois pour Lahmer). Les sols de Deldoul, Eddir et Lahmer contiennent plus de sable que d'autres composants, ils sont pauvres en matière organique et présentent des taux de calcaire plus élevés.

Ziziphus lotus est une espèce dotée d'une plasticité écologique lui permettant de pousser dans des zones à différences climatiques marquées (Laamouri et al., 2008). Une étude de la phénologie de l'espèce dans les zones arides en Tunisie a montré qu'il y a une variation inter-site qui peut s'expliquer par la variation de la température et des réserves d'eau dans le sol (Zouaoui et al., 2014).

Selon Dahlia (2019), l'analyse de la variabilité morphologique à elle seule n'est pas suffisante pour confirmer que ce polymorphisme important observé entre les populations de *Ziziphus lotus* est influencé par l'environnement ou qu'il est dû au génotype lui-même. Dans son étude génétique sur un ensemble de populations de jujubier sauvage en Algérie. Elle a noté que l'estimation des paramètres génétiques des caractères morphologiques, des fruits des neuf populations de *Ziziphus lotus*, montrent que le nombre et le poids des graines présentent des coefficients de variations phénotypique et environnemental élevés avec des coefficients de variation génotypiques faibles indiquant une influence importante de l'environnement sur ces deux variables.

IV. 8. Conclusion

L'analyse morphologique des fruits et des graines des six populations de *Ziziphus lotus* a révélé une forte hétérogénéité morphologique pour l'ensemble des variables qualitatives et quantitatives étudiées. Les analyses multivariées basées sur les variables morphologiques ont classé les populations selon la similarité de leurs conditions écologiques. Ce qui peut être expliqué par l'importance de l'effet environnemental sur la variabilité de cette espèce.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Une étude de la variabilité morphologique au niveau de sept populations naturelles de jujubier sauvage (*Ziziphus lotus*) en Algérie a été menée, lors de ce travail de thèse. Nous avons recherché cette variabilité à l'échelle des feuilles (y compris au niveau des stomates, des trichomes et des surfaces épidermiques), des fruits, des endocarpes et des graines.

La caractérisation morphologique a porté sur des variables qualitatives et quantitatives des différentes parties échantillonnées. Une étude pédologique des sols prélevés au pied des individus échantillonnés a été également menée dans le but de caractériser le substrat. Une synthèse climatique, des différentes stations d'échantillonnage, sur la base des données climatiques récoltées auprès des différentes stations de l'O.N.M., a été réalisée pour mieux cerner l'influence de ces conditions environnementales sur la variation, observée chez les populations de *Z. lotus* étudiés.

L'analyse de la variance, pour la majorité des variables quantitatives étudiées a montré des différences hautement significatives entre les sujets des différentes populations de l'espèce étudiée (variabilité intra- et inter-populations).

Sur le plan qualitatif, les feuilles et les fruits du jujubier sont très polymorphes (avec différentes formes et couleurs).

Sur le plan quantitatif, les coefficients de variation ont montré une grande variabilité à l'intérieur et entre les populations étudiées. L'AFD et la CAH ont montré que les conditions environnementales (sol et climat) sont, en grande partie, responsables de l'hétérogénéité observée chez les populations algériennes du *Ziziphus lotus*. La variabilité intra-populationnelle est plus forte, ceci pourrait être le résultat d'une forte interaction entre le génotype et son milieu.

Les résultats de cette étude constituent une contribution à l'étude de l'influence de l'épigénétique sur le polymorphisme de l'espèce étudiée et peuvent, néanmoins, constituer une nouvelle base de données pouvant aider à mieux comprendre les réponses éco-morphologiques et les différentes formes d'adaptation développés par cette espèce, face aux différentes pressions abiotiques (altitude, sécheresse, températures) et servir de base à des études ultérieures visant à son amélioration et sa valorisation dans les programmes de reboisement et de reforestation des sols dégradés de milieux steppiques, semi-arides et arides, notamment dans son aire de répartition d'origine.

Pour mieux valoriser ce travail, il serait intéressant de le compléter par des études ultérieures visant à élargir la zone d'échantillonnage aux pays voisins afin de rendre compte de cette variabilité et de « dénicher » les types les plus intéressants et les mieux adaptés.

Les autres espèces du même genre (*Z. spina christi* et *Z. mauritania*) devraient aussi bénéficier d'autant d'intérêt afin de les intégrer dans les programmes de restauration, puisque la tendance va vers le réchauffement global où les formes les mieux adaptées sont précieusement recherchées afin de freiner l'aridification des paysages méditerranéens nord-africains et sud-européens. En effet, ces espèces pourraient constituer les végétaux pionniers à la protection des sols contre l'érosion éolienne, la plus redoutable en steppe algérienne.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdeddaim M., Lombarkia O., Bacha A., Fahloul D., Abdeddaim D., Farhat R., Saadoudi M., Noui Y., Lekbir A., 2014.** Biochemical characterization and nutritional properties of *Ziziphus lotus* (L.) Lam., fruits in Aures region, Northeastern of Algeria. *Food Science and Technology*, **15**: 75 - 81.
- Abderrahim B., Harrar A., Gul F., Demirtas I., 2017.** Phenolic Compounds, Antioxidant and Antibacterial Activities of *Ziziphus lotus* (L.) Lam., Leaves Extracts. *Natural Products Journal*, **7** :316–322.
- Abdel-Zaher A.O., Salim Y.S., Assaf M.H., Abdel-hady R.H., 2005.** Antidiabetic activity and toxicity of *Ziziphus spina-christi* leaves. *Journal of Ethnopharmacology*, **101**:129-138.
- Abu-Zarga M., Sabri S., Al-Boudi A., Ajaz S., Sultana N., Rahman A.U., 1995.** New cyclopeptide alkaloids from *Ziziphus lotus*. *Journal of Natural Products*, **58**: 504-511.
- Adeli M., Samavati V., 2015.** Studies on the steady shear flow behavior and chemical properties of water-soluble polysaccharide from *Ziziphus lotus* fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, **72** : 580–587.
- Adzu B., Amos S., Amizan MB., Gamaniel K., 2003.** Evaluation of the antidiarrhoeal effects of *Ziziphus spina-christi* stem bark in rats. *Acta Tropica*, **7**: 245-250.
- Afnor, 1990.** Granulats, analyse granulométrique par tamisage. Norme.18-560.
- Aidoud A., 1983.** Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud oranais : phytomasse, productivité primaire et applications pastorales. Thèse doctorat d'Etat, U.S.T.B.H. Alger, 250 p.
- Ali NA., Julich W-D., Kusnick C., Lindequist U., 2001.** Screening of Yemeni medicinal plants for antibacterial and cytotoxic activities. *J.Ethnopharmacol*, **74** : 173 -179.
- Allali H., Benmehdi H., Dib M.A., Tabti B., Ghalem S., Benabadji N., 2008.** Phytotherapy of diabetes in west Algeria. *Asian Journal of Chemistry*, **2**: 2701-2710.
- Amara M., Benabdeli K., 2020.** Potentialités écologiques de *Ziziphus lotus* et possibilités de développement durable des espaces arides : cas de la région de Naâma (Algérie). *International journal of tropical geology, geography and ecology*, **44**: 269-277.
- Anand K., Singh B., Grand D., Chandan B., Gupta V., 1989.** Effect of *Ziziphus sativa* leaves on blood glucose levels in normal and alloxan diabetic rats. *Journal of Ethno-pharmacology*. **27** :121-127.
- A.P.G. IV, 2016.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **181**: 1–20.
- Ardnt SK., Clifford SC., Popp M., 2001.** *Ziziphus*- a multipurpose fruit tree for arid regions. In: sustainable land-use in deserts. Breckle S.W., Veste M. and Wucherer W., Springer. Heidelberg, Stuttgart, New York, 388-399.
- Asatryan A., Tel-Zur N., 2014.** Intraspecific and interspecific crossability in three *Ziziphus* species (*Rhamnaceae*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, **61**:215–233.
- Aubert G., 1978.** Méthode d'analyse des sols. 2ème Edition, Centre régional de Documentation Pédagogique C.R.D.P., Marseille, 191p.
- Aymonin G.G., 1993.** Guide des arbres et des arbustes. Sélection du Reader's Digest (Ed).Paris, 351p.

- Azam-Ali S., Bonkougou E., Bowe C., deKock C., Godara A., Williams J.T., 2006.** Fruits for the Future 2 : Ber and other jujubes. Ed. Southampton Centre for Underutilised Crops, U.K. 302 p.
- Baba Aissa F., 1999.** Encyclopédie des plantes utilisées. Flore d'Algérie et du Maghreb – Substance végétale, *Edition Librairie Moderne*, Rouiba, p145.
- Bagnouls F., et Gaussen H., 1953a.** Les climats biologiques et leurs classifications. *Ann. Geog.* Pp 220-335.
- Bagnouls F., et Gaussen H., 1953b.** Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* (88), pp: 3-4 et 193-239.
- Bamouh A., 2002.** La lutte chimique contre le jujubier. Programme National de transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA), ed. DERD Rabat, n° 94, p. 1, 4.
- Barboni D., Harrison S., Bartlein P.G., Jalut M., 2004.** Relationships between plant traits and climate in the Mediterranean region: A pollen data analysis, *Journal of Vegetation Science*, **15** : 635 – 646.
- Battle I., et Tous J., 1997.** Carob tree *Ceratonia siliqua* L., Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17, Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Rome: International Plant Genetic Resources Institute. 92 pages.
- Bayer E., et Butter K., 2000.** Guide de la flore méditerranéenne. p280.
- Baytop T., 1984.** Therapy with medicinal plants in Turkey (Past and Present) Nobel Press, Istanbul, Turkey.
- 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.
- Belhadj S., Derridj A., Aigouy T., Gers c., Gauquelin T., Mevy J-P., 2007.** Comparative morphology of leaf epidermis in eight populations of Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf., Anacardiaceae). *Microscopy Research and Technique*, **70** :837-846.
- Belhadj S., Derridj A., Auda Y., Gers c., Gauquelin T., 2008.** Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. *Botany*, **86** : 520-532.
- Benabadji N. et Bouazza M., 2000.** Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Artemisia herba-alba* Asso. dans l'Oranie (Algérie occidentale). *Rev. Sci. Chang. Plan.* Paris, **11** :117-123.
- Benammar, C.; Hichami, A.; Yessoufou, A.; Simonin, A.M.; Belarbi, M.; Allali, H., Khan, N.A., 2010.** *Ziziphus lotus* (L.) Lam. (Desf.) modulates antioxidant activity and human T-cell proliferation. *BMC Complement. Altern. Med*, **10** : 1–9.
- Benammar C., 2011.** Effets antioxydants et immunomodulateurs d'une plante médicinale nord africaine, *Ziziphus lotus* (L.) Lam. (sedra) : étude des différents extraits, Thèse doctorat. Université aboubekrbelkaid Tlemcen. P120.
- Bencheikh N., Bouhrim M., Merrouni I.A., Boutahiri S., Kharchoufa L., Addi M., Tungmunnithum D., Hano C. ; Eto B., Legssyer A., Elachouri M., 2021.** Antihyperlipidemic and Antioxidant Activities of Flavonoid-Rich Extract of *Ziziphus lotus* (L.) Lam. *Fruits. Appl. Sci*, **11** :77-88.

- Benchelah A.C., Bouziane H., Maka M., 2004.** Fleurs du Sahara, arbres et arbustes, voyage au cœur de leurs usages avec les Touaregs du Tassili. *Phytothérapie*, **6** : 191-197.
- 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.
- Bestaoui K., 2001.** Contribution à une étude syntaxonomique et écologique des matorrals de la région de Tlemcen. Mém. Mag. En écologie. Univ .Tlemcen, p173.
- Bhansali A.K., 1975.** Monographic Study of the family *Rhamnaceae* of India. PhD Thesis, University of Jodhpur, India.
- Borgi W., Chouchane N., 2006.** Activité anti-inflammatoire des saponosides des écorces de racines de *Ziziphus lotus* (L.). *Revue des Régions Arides* ,283-286.
- Borgi W., Ghedira K., Chouchane N., 2007a.** Anti-inflammatory and analgesic activities of *Ziziphus lotus* root barks. *Fitoterapia*,**78**:16-19.
- Borgi W., Bouraoui A., Chouchane N., 2007b.** Antiulcerogenic activity of *Ziziphus lotus* (L.) extracts, *Journal of Ethnopharmacology*, **12**: 228-231.
- BorgiW., Recio M-C., Rios J-L., Chouchane N., 2008.**Anti-inflammatory and analgesic activities of flavonoid and saponin fractions from *Ziziphus lotus* (L.) Lam. *South African Journal of Botany*, **14**:320-324.
- Bonnet J., 2001.** Larousse des arbres - Dictionnaire des arbres et des arbustes.512p.
- Bouabida H., Djebbar F., Soltani N., 2012.** Etude systématique et écologique des Moustiques (*Diptera: Culicidae*) dans la région de Tébessa (Algérie). *Entomologie faunistique – Faunistic Entomology*, **65** : 99-103.
- Boussaid M., Taïbi K., Ait Abderrahim L., Ennajah A., 2018.**Genetic diversity of *Ziziphus lotus* natural populations from Algeriabased on fruit morphological markers. *Arid land research and management*, **32** : 184-197.
- Bross J., 2000.** Larousse des arbres et des arbustes. Larousse (Ed). Canada. 576p.
- Burrows I., 2005.** La nature comestible. Delachaux et Neistlé (Ed). Paris, 144p.
- Callo G., Dupuis M., 1980.** Le calcaire actif des sols et sa signification. Dull, Afes. 17-26.
- CatoireC ., Zwang H ., Bouet C., 1999.** Les jujubiers ou le *Ziziphus* fruits oubliés. n°1.91 p.
- Chaumont M. et Paquin C., 1971.** Carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500 000. Alger, Soc. Hist. Afr. Nord, 4 p.
- Chehma A., 2006.** Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien. Laboratoire de protections des écosystèmes en zones arides et semi arides. Université d'Ouargla. Ed Dar El Houda, 146p.
- Chege J., Muchugi A., Jamnadass R., Cognetti de Martiis S., Cerutti A.L., Alercia A., Prasad H., Kang'ethe S., 2021.** Key descriptors for *Ziziphus mauritiana* (jujube). World Agroforestry, Nairobi, Kenya and the Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- 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.
- 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.
- Claudine R., 2007.** Le nom de l'arbre : le grenadier, le caroubier, le jujubier, le pistachier et

l'arbousier. Actes sud le Majan, 1^{er} édition France, p. 45-62.

Dahlia F., Benito C. & Boussaid M., 2019. Genetic diversity of fruits in wild jujube (*Ziziphus lotus* (L.) Lam., Desf.) natural populations from Algeria. *Agriculture & Forestry*. 65 (1) : 165-183.

Dahlia F., 2019. Analyse de la variabilité des fruits de quelques populations de jujubier sauvage (*Ziziphus lotus* (L.) Lam., Desf.) en Algérie. Thèse doctorat. Université Ibn Khaldoun –Tiaret. P241.

Dahmani M., 1984. Contribution à l'étude des groupements à chêne vert (*Quercus rotundifolia* L.) des monts de Tlemcen (Ouest Algérien) : Approche phytosociologique et phytoécologique. Thèse de Doctorat troisième cycle. Université d'Aix Marseille III, 238p.

De Martonne, E., 1926. Une nouvelle fonction climatologique indice d'aridité La météo. 449-459.

DGF, 2015. Direction générale des forêts, BenAknoun, Alger.

Djebaili S., 1978. Recherche phytosociologique sur la végétation des hautes plaines steppiques de l'Atlas Saharien. Thèse. Doct. Univ. Sci. Tech. Lang. Dox Montpellier, 229p.

Dreux P., 1980 – Précis d'écologie. Ed. Presses Universitaires de France. Paris, 231p.

Drouineau G., 1942. Dosage rapide du calcaire actif des sols. Nouvelles données sur la répartition et la nature des fractions calcaires. *Annales Agron*, 12 : 441-450.

El Cadi H., Bouzidi H.E.L., Selama G., El Cadi A., Ramdan B., Oulad Y., Majdoub E., Alibrando F., Dugo P., Mondello L., 2020. Physico-Chemical and Phytochemical Characterization of Moroccan Wild Jujube "*Ziziphus lotus* (L.)" Fruit Crude Extract and Fractions. *Molecules*, 25 : 5237.

El Hachimi F., El Antari A., Boujnah M., Bendrisse A., Alfaiz C., 2014. Comparaison des huiles des graines et de la teneur en acides gras de différentes populations marocaines de jujubier, de grenadier et de figuier de barbarie. *J. Mater. Environ. Sci.*, 6 : 1488-1502.

Emberger L., 1936. Remarques critiques sur les étages de végétation dans les montagnes marocaines. *Bull. Soc. Bot. Suisse*. Vol. Jub. Inst. Rübél, 46 : 614- 631.

Emberger L., 1939. Aperçu général sur la végétation du Maroc : commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1:1.500.000. Morocco: Société des sciences naturelles et physiques du Maroc. 14,40.157.

Emberger L., 1943. Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en France. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 78(3), pp 159-180.

Emberger L., 1952. Sur le Quotient pluviothermique des climats. *C.R. Sci* ; n°234, Paris pp : 2508-2511.

Emberger L., 1955. Une classification biogéographique des climats. *Rech. Trav. Lov. Géol. Bot. Zool. Fax. Sci. Montpellier*, 47p.

Emberger L., 1955. Une classification des climats du point de vue phytogéographique. *Bull. Sci. Hist. Nat. Toulouse*, pp : 97-124.

Emberger L., 1960. Les Végétaux vasculaires, Paris. P 595.

Espiard E., 2002. Introduction à la transformation industrielle des fruits. Tec et doc(Ed). 360p.

Gast M., Chaker S., 2004. « Jujubier », in 26 / *Judaïsme – Kabylie*, Aix-en-Provence, Edisud (« Volumes », no 26).

Gausson H., 1956. L'étude des climats par les courbes ombrothermiques : application à la

- cartographie. *In* : L'information géographique, volume 20, n°5, 1956. pp. 191-193.
- 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*. **J.6** : 32–42.
- Ghedira K., Chemli R., Caron C., Nuzillard J-M., Zeches M., Le Men-Olivier L., 1995.** Four cyclopeptide alkaloids from *Ziziphus lotus*. *Phytochemistry* , **38**:767-772.
- Ghedira K., 2013.** *Ziziphus lotus* (L.) Desf. (*Rhamnaceae*) : jujubier sauvage. *Phytothérapie*, **11** : 149-153.
- Gnahoua G., Louppe D., 2003.** Le jujubier de la hyène. : <https://hal.archives-ouvertes.fr/cirad-00429284/document>
- Gorbunov A.P., 1978.** Permafrost investigations in high-mountain regions. *Arctic and Alpine Research*, **10**: 283–294.
- Gratani L., Varone L., Ricotta C., Catoni R., 2013.** Mediterranean shrub lands carbon sequestration: environmental and economic benefits. *Mitig. Adapt. Strat. Global Change*, **43**: 1167–1182.
- 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.
- Haderbache L., Bousdira M., Mohammedi A., 2013.** *Ziziphus lotus* and *Euphorbia bupleuroides* Algerian honeys. *Journal World Applied sciences*. **24**: 1536-1543.
- Hammi K.M., Jdey A., Abdelly C., Majdoub, H.; Ksouri, R. 2015.** Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidant compound from Tunisian *Ziziphus lotus* fruits using response surface methodology. *Food Chem*, **18** : 80–89.
- Hammi K.M., Essid R., Khadraoui N., Ksouri R., Majdoub H., Tabbene O., 2022.** Antimicrobial, antioxidant and antileishmanial activities of *Ziziphus lotus* leaves. *Archives of Microbiology* .204:119.
- Hammiche V., 2014.** Traitement de la toux à travers la pharmacopée traditionnelle kabyle. *Phytothérapie* : 1-14.
- Hilu K.W. et Randall J.L., 1984.** Convenient method for study in grass leaf epidermis. *Taxon*, **33**: 413- 415.
- IPGRI, 1997.** Descripteurs du pistachier (*Pistacia vera* L.). Institut international des ressources phylogénétiques, Rome, Italie, 53p.
- Kabour A., Hani A., Mekkaoui A., Chebbah L., 2010.** Évaluation et gestion des ressources hydriques dans une zone aride.cas de la ville de Bechar (Sud-Ouest Algérien). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 09, pp. 7-19.
- Kahouadji A., Tijane M., 2018.** Determination of phenol content and evaluation of *in vitro* litholytic effects on urolithiasis of moroccan *Ziziphus lotus* (L.) Lam., extract. *Phytotherapie*, **16** :14 - 19.
- 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).
- Kang D., Lihui H., Pengfei M., Xuezhai W., Runcheng B., 2008.** Comparison on Characters of

Leaf Anatomy of *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* in Different Geography Environment. *Scientia Silvae Sinicae*, **44** : 135-139.

Kaouche S., Boudina M., et Ghezali S., 2012. Évaluation des contraintes zootechniques de développement de l'élevage bovin laitier en Algérie : cas de la wilaya de Médéa. *Nature & Technologie*, **6** : 85- 92.

Karadeniz T., 2002. Selection of native 'Cornelian' cherries grown in Turkey. *Journal of American Pomological Society*. **56** :164–67.

Kawaguetti K., Kim K-W., 1940. Constituents of the seeds of *Ziziphus vulgaris* Lam. var. *spinosa* Bunge. *J.pharm.Soc. Japan*, 352, *chem. Abstr*, p 38-399.

Kheloufi A., Mansouri L-M., Laib K., 2020. Effect of cold stratification on seed germination of the multipurpose fruit shrub, *Ziziphus lotus* (L.) Lam. (Rhamnaceae). *Cercetăr iAgronomică în Moldova (Agronomic Research in Moldavia)*, **53**: 152-159.

Khouchlaa A., Talbaoui A., El Yahyaoui El Idrissi A., Bouyahya A., Ait Lahsen S., Koussa M., Bouziane T., 2018. Apport du SIG a la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans la région de Djelfa, Algérie. *Journal Scientifique Libanais*, **19**: 31-46.

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*. Pp 47.

Laamouri A., 2005. Description pomologique et essais de germination sexuée de trois espèces de jujubier en Tunisie. *Les Annales de l'INRGREF*, numéro spécial, **7** : 99-114.

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 M., El Mahi M., Hamamouchi J., 2002. Evaluation des activités antifongiques et molluscide de *Ziziphus lotus* (L.) Desf. du Maroc. *Journal des annales pharmaceutiques française*, **60**:410-414.

Lahsissene H., Kahouadji A., Tijane M., Hseini S., 2009. Catalogue des plantes médicinales utilisées dans la région de Zaër (Maroc occidental). *LEJEUNIA, Revue de Botanique* [En ligne], N° 186.

Latifi S., Chaab S., 2017. Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines, selon les méthodes DRASTIC et GOD, dans la plaine alluviale de Guelma, Nord-Est Algérien. *Rev. Sci. Technol.*, **34**: 48 -62.

Lapie G. et Maige A., 1914. Flore forestière de l'Algérie. Paris. 360p.

Le Crouéour G., Thépenier P., Richard B., Petermann C., Ghédira K., Zèches Hanrot M., 2002. Lotusine G: a new cyclopeptide alkaloid from *Ziziphus lotus*. *Fitoterapia*, **73** :63- 68.

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.

Letaief T., Garzoli S., Ovidi E., Tiezzi A., Jeribi C., Abderrabba M., Mejri J., 2021. Organ dependency variation of the chemical composition of *Ziziphus lotus* volatile fractions. *European*

Journal of Biological Research, **11**: 501-508.

Li J-W., Ding S-D., Ding X-L., 2005. Comparison of antioxidant capacities of extracts from five cultivars of Chinese jujube. *Process Biochemistry*, **40**:3607-3613.

Liu P., Liu M.J., Zhao Z.H., Liu X.Y., Yang L., Wu Y.L., 2009. Agronomic diversity of Sour Jujube (*Ziziphus acidojujuba*) in China. *Acta Horticultura*, **840** :203-208.

Liu M-J., Cheng J-R., 1994. A taxonomic study on Chinese Jujube and Wild Jujube. *Journal of Hebei Agricultural University*, **17**, pp. 1-10.

Mabberley D. I., 1987. The Plant Book. *Univ. Press, Cambridge*, New York, pp 465-470.

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., Neffati M., 2011. The Influence of Water-Deficit Stress on Growth, Water Relations and Solute Accumulation in Wild Jujube (*Ziziphus lotus*). *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, **1** : 63-72.

Maraghni, M, Gorai, M., 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.

Mekious S., Houman Z., Bruneau E., Masseaux C., Guillet A., Hance T., 2015. Caractérisation des miels produits dans la région steppique de Djelfa en Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, **19** : 219-229.

Mehri N., Fotovat R., Saba J., Jabbari F., 2009. Variation of stomata dimensions and densities in tolerant and susceptible wheat cultivars under drought stress, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, **7**:167-170.

Merzag M., 2018. Dynamique environnementale des zones steppiques à Djelfa (Algérie). Caractérisation par télédétection des changements du couvert végétal et des processus d'ensablement. Thèse de doctorat, université de Lyon. P325.

Mokhtari N., Mrabet R., Lebailly P., Bock L., 2013. Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, **2**: 50-66.

Monjauze A., 1968. Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Du N.* **56** : 1–127.

Mouni S., 2008. Etude de la fraction glucidique des fruits de *Celtis australis* L., *Crataegus azarolus* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Elaeagnus angustifolia* L., et *Ziziphus lotus* (L.) Lam., Mémoire de Magistère en Agronomie, Université de Batna. P104.

Mouni S., Hambaba L., Abdeddaim M., Lekbir A., Bacha A., Boudraa S., Zidani S., 2017. Nutritional composition, physical properties and sensory evaluation of biscuit produced from jujubes (Fruits of *Ziziphus lotus* (L.) Lam.) *Annals. Food Science and Technology*, **18** : 395-403.

Mitrakos K., 1982. Winter low temperatures in Mediterranean-type ecosystems. *Ecol. Medt.*, **2** : 95-102.

Musset R., 1953. Les régimes pluviométriques saisonniers dans l'Ouest de la France et particulièrement en Normandie. *Bull Soc Linn de Normandie*, **s8, t7** : 49–65.

Nazif, N.M., 2002. Phytoconstituents of *Ziziphus spina-christi* L. fruits and their anti –microbial

activity. *Food Chem.*, **76** : 77 -81.

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.

ONM, 2015 : Office National de Météorologie. Ministère des Transports. Algérie.

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.

Ouédraogo M., A. Nikiema., 1997. «Domestication de *Ziziphus mauritiana* Lam. : Etude de l'aire de distribution au Burkina Faso et mise au point de quelques techniques de propagation» Atelier Panafricain sur *Ziziphus mauritiana*; Bamako; Mali; 11p.

Ourzeddine W., Fadel H., Mechehoud Y., Chalchat J-c., Figueredo G., Chalard P., Benayache F., Benayache S., 2017. Chemical composition and antioxidant activity of the fruit essential oil of *Ziziphus lotus* (L.) Desf. (*Rhamnaceae*). *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*; **2**:228-232.

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.

Paris R., Dillemann G., 1960. Les plantes médicinales des régions arides .UNESCO (Ed). Paris. 99p.

Pouget M., 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroise. *ORSTOM*. Paris, 569 p.

Punt W., Marks A., Hoen P.P., 2003. Rhamnaceae : The Northwest European Pollen Flora. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **123** :57-66.

Quezel P., Santa S., 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et régions désertiques méridionales. Tome 2. CNRS, Paris ,565p.

Rabaa C., 2007. Le grenadier, le caroubier, le jujubier, le pistachier et l'arbousier : Le nom de l'arbre. Ed. Actes sud le Majan (1ère édition), France. Pp : 45-62.

Rached W., Barros L., Ziani B.E.C., Bennaceur M., Calhella R.C., Heleno S.A., Alves M.J., Marouf A., Ferreira., 2019. I.C.F.R.HPLC-DAD-ESI-MS/MS screening of phytochemical compound and the bioactive properties of different plant parts of: *Ziziphus lotus* (L.) Desf. *Food Funct.*, **10** :5898–5909.

Rais C., Lazraq A., Houhou M., Elhanafi L., Fennane A., Ghadraoui L., Mansouri I., Louahlia S., 2017. Morphometrics and morphological comparative study of three natural populations of *Ziziphus Lotus*. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, **8** : 1558 – 1564.

Rais C., Slimani C., Benidir M., Elhanafi L., Zeouk I., Errachidi F., El Ghadraoui L., Louahlia S., 2020. Seeds of *Ziziphus lotus*: *In Vivo* Healing Properties of the Vegetable Oil. *The Scientific World Journal*, 8 p.

Ramade F., 1984. Ecology of Natural Resources. John Wiley & Sons, New York.

- Reich L., 1991.** Uncommon fruits worthy of attention. Reading. Mass. Addison-Wesley, pp. 139-146.
- Renault J.H., Ghedira K., Thepenier P., Lavaud K., Zeches-Hanrot M., Le Men-Olivier L., 1997.** Dammarane Saponins from *Ziziphus lotus*. *Phytochemistry*, **44** : 1321-1327.
- Rezzoug C., Remini B., Hamoudi S., 2016.** L'irrigation moderne dans l'oasis Lahmar (Bechar, Algérie). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°25, pp. 259-267.
- Richardson J-E., Fay M-F., Cronk Q-CB., Bowman D., Chase M-W., 2000 a.** A Phylogenetic Analysis of Rhamnaceae using rbcL and trnL-F Plastid DNA Sequences. *American Journal of Botany*, **87** :1309-1324.
- Richardson J-E., Fay M-F., Cronk Q-CB., Chase M-W., 2000b.** A revision of the tribal classification of Rhamnaceae. *Kew Bulletin*. **55**:311–340.
- Root T.L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C., Pounds J.A., 2003,** Fingerprints of global warming on wild animals and plants, *Nature*, 421, pp. 57-60.
- Rsaissi N., EL Kamili, Bencharki B., Hillali L., & Bouhache M., 2013.** Antimicrobial activity of fruits extracts of the wild jujube "*Ziziphus Lotus* (L.) Desf. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, **4**: 1521- 1528.
- Rsaissi N., Bouhache M., 2002.** La lutte chimique contre le jujubier .Programme National de transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA), DERD (Ed).n0 94.Rabat ,4p.
- Saadoudi M., Hambaba L., Abdeddaim M., Lekbir A., Bacha A., Boudraa S., Zidani S., 2017.** Nutritional composition, physical properties and sensory evaluation of biscuit produced from jujubes (fruits of *Ziziphus lotus* (L.) Lam.). *Annals. Food Science and Technology*, **18**: 395 – 401.
- Salemkour N., Benchouk K., Nouasria D., KheriefNacereddine S., Belhamra M., 2013.** Effets de la mise en repos sur les caractéristiques floristiques et pastorale des parcours steppiques de la région de Laghouat (Algérie). *Journal Algérien des Régions Arides*. **12** :103-114.
- Salhi S., Fadli M., Zidane L., Douira A., 2010.** Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroa*.**31**: 133-146.
- Seltzer P., Lasserre A., Grandjean A., Auberty R., Fourey A., 1946.** Le climat de l'Algérie, Impr." La Typo-litho" et J. Carbonel.
- Souleymane A-A., 2016.** Potential Benefits of Jujube (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.) Bioactive Compounds for Nutrition and Health. *Journal of Nutrition and Metabolism*, **6**:1-13.
- Stewart P., 1969.** « Quostient pluviothermique et dégradation biosphérique ». *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 59, pp. 23-36.
- Suessenguth., C. 1953.** Vitaceae. In: Engler A. & K. Prantl, Die naturlichen Pflanzen familien 20d, 235-329, Dunker & Humblot, Berlin.
- Suksamrarn S., Suwannapoch N., Aunchai N., Kuno M., Ratananukul P., Haritakum R., Jansakul C., Ruchirawat S., 2005.** Ziziphine N, O, P, new antiplasmodial cyclopeptide alkaloids from *Ziziphus oenoplia* var. *brunoniana*. *Tetrahedron*, **61**:1175-1180.
- Su P., LiuScientia X., 2005.** Photosynthetic characteristics of linze jujube in conditions of high temperature and irradiation. *Horticulturae*, **104**:339–350.
- Tardío J., Sánchez-Mata M.C., Morales R., Molina M., García-Herrera P., Morales P., DíezMarqués C., Fernández-Ruiz V., Cámara M., Pardo-de-Santayana M.,**

- MatallanaGonzález M.C., Ruiz-Rodríguez B.M., Sánchez-Mata D., Torija-Isasa M.E, GuilGuerrero J.L. and Boussalah N., 2016.** Chapter 13. Ethnobotanical and Food Composition Monographs of Selected Mediterranean Wild Edible Plants : Mediterranean Wild Edible Plants, M. de C. Sánchez-Mata, J. Tardío (eds.), Springer Science+Business Media New York, pp : 273 – 470
- Tatari M., Ghasemi A., Mousavi A, 2016.** Genetic diversity in Jujube germplasm (*Ziziphus jujuba* Mill.) based on morphological and pomological traits in Isfahan province, Iran. *Crop Breeding Journal*, **6**: 79-85.
- Thorne R-E., 1992.** Classification and geography of flowering plants. *Botanical Review*. **58**: 225-348.
- Viliotis D., 1982** .Relation of the climate to the latitudinal situation and altitudinal zonation. *Ecol. Medit.*, VIII, **4**: 165-175.
- Von Maydell H-JV., 1990.** Arbres et arbustes du Sahel: leur caractéristiques et leurs utilisations. 180 p.
- Walkley A., Black I.A., 1934.** An Examination of the Degtareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, **37** :29-38.
- Waston L., and Dallwitz M-J., 1992.**The families of flowering plants. Heart Disease Risk Factor Study. *Am J Clin Nutr*, **77**:133-8.
- Wojdyło A., Carbonell-Barrachina A.A., Legua P., Hernández F., 2016.**Phenolic composition, ascorbic acid content, and anti-oxidant capacity of Spanish jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) fruits. *Food Chemistry*, **201**: 307-314.
- Zarroug Y., Sriti J., Sfyahi D., Slimi B., Alloucha W., Zayani K., Hammami K., Sowalhia M., Kharrat M., 2021.** Effect of addition of Tunisian *Ziziphus lotus* (L.) Lam., fruits on nutritional and sensory qualities of cookies. *Italian Journal of Food Science*, **33**: 84-97.
- Zeghaba N et Laraba A. 2018.** The principal components analysis (PCA) to evaluate the quality of water of the Bouhamdaneriver, Guelma (North-East Algerian). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, **10** :383-395.
- Zerrouk S., SejoMC., Escuredo O., Rodríguez M.S., 2017.** Characterization of *Ziziphus lotus* (jujube) honey produced in Algeria. *Journal of Apicultural Research*, **57** :166-174.
- Zouaoui R., Ksontini M. Ferchichi A., 2013.** Effet de l'intensité de la contrainte hydrique sur la germination de *Ziziphus lotus* (L.) Lam., des régions arides de la Tunisie. *Algerian journal of arid environment*, **3** : 35-49.
- Zouaoui, R., M. Ksontini, and A. Ferchichi. 2014.** Comparative phenological study of *Ziziphus lotus* (L.) Lam. in the arid area of Tunisia. *Pakistan Journal of Botany*, **46** :1611–20.