

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques
et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

De fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Écologie Forestière,
Spécialité : diversité, dynamique et adaptation.

Thème

Effets de l'altitude sur certains caractères foliaires de *Pistacia*
lentiscus à la région de M'chedallah W. Bouira

Présenté par :

M^r Hocine Fahim

Devant le jury :

Président : M^{me} KROUCHI F. M.C.A., à l'U.M.M.T.O.

Promoteur : D^r AIT SAID S. M.C.A., à l'U.M.M.T.O.

Examinatrice : M^{me} Hamidouche Ch. M.A.A. à l'U.M.M.T.O.

Octobre 2017

Remerciements

Je tiens à exprimer mes profondes reconnaissances à monsieur Ait Saïd Samir, maitre de conférence classe « A », pour m'avoir proposé ce sujet et dirigé tout au long de mon travail, pour ses orientations et pour sa disponibilité.

Mes reconnaissances et remerciement vont à madame Krouchi Fazia maitre de conférence classe « A », à l'université de Tizi- Ouzou, pour avoir accepté de présider notre juré. Ses orientations et sa disponibilité nous sont plus que bénéfiques.

Mes sincères remerciements vont à madame Hamidouche Chafia, maître assistante à l'université de Tizi-Ouzou, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de juger ce travail, pour sa disponibilité et son altruisme. Son aide et ses orientations m'ont été d'une grande importance tout au long de ma formation.

Mes plus profonds et sincères remerciements vont à madame KADI-BENANE et à madame ADJOUAD qui m'ont permis de travailler au sein du laboratoire de recherche ; leur conseils et soutien m'ont beaucoup aidé.

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude et mes plus profonds remerciements à tous les enseignants, mes camarades étudiants avec qui j'ai passé deux années qui resteront gravées dans ma mémoire.

Je salue et remercie les ingénieurs des différents laboratoires qui m'ont beaucoup aidé, pour leur sympathie et leur présence pour nous.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes enseignants, spécialement à madame Krouchi F., à tous ceux que je connais, mes enseignants, mes amis et ma famille. A ceux qui font partie de notre vie quotidienne ou qui ne sont plus là, et qui sont gravés dans notre mémoire.

Liste des figures

Figure 1 : Aire de répartition de la famille des anacardiées dans le monde (Alyafi, 1979).	5
Figure 2 : Aire de répartition du <i>Pistacia lentiscus</i> dans le monde (Alyafi, 1979).	5
Figure 3 : Feuilles et fruits de <i>Pistacia lentiscus</i> (Septembre 2017).....	7
Figure 4 : Situation géographique de la zone d'étude. (modifiée).....	10
Figure 5 : Biométrie foliaire chez <i>P.lentiscus</i> L	13
Figure 6 : paramètres anatomiques mesurés au niveau d'une coupe transversale d'une feuille de <i>P. atlantica</i> Desf. Observée au microscope photonique « Motic », GX400, coloration au carmino-vert.....	14
Figure 7 : Une foliole de <i>P. lentiscus</i> mesurée avec logiciel Mesurim Pro V.3.4	15
Figure 8 : Mesure des dimensions stomatiques sous logiciel Motic Image Plus V.2.0 ML	16
Figure 9 : Densité stomatique au champs de vision estimée sous logiciel Mesurim Pro V.3.4.....	16
Figure 10 : Histogrammes de distribution des feuilles selon : A : le potentiel hydrique, B : le poids spécifique.	19
Figure 11 : Histogrammes de distribution des feuilles selon les paramètres morphologiques. A : longueur des feuilles ; B : largeur des feuilles ; C : longueur du rachis ; D : longueur du pétiole	21
Figure 12 : Histogrammes de distribution des feuilles selon : A : la longueur du cylindre central ; B : la largeur du cylindre central.....	23
Figure 13 : Histogrammes de distribution des feuilles selon l'épaisseur de la cuticule supérieure.....	23
Figure 14 : Histogrammes de distribution des feuilles selon les paramètres anatomiques.....	24
Figure 15 : Histogrammes de distribution des feuilles selon les dimensions stomatiques.	27
Figure 16 : Histogrammes de distribution des feuilles selon les densités stomatiques.	28
Figure 17 : Histogrammes de distribution des feuilles selon la teneur en proline libre	28
Figure 18 : Cercles de corrélation des variables	32
Figure 19 : Analyse en composantes principales. Plan factoriel 1-2	33
Figure 20 : Analyse en composantes principales. Plan factoriel 1-3	33

Liste des tableaux

Tab.01 : Caractères botaniques et dendrologiques du lentisque	6
Tab.02 : Principales données climatiques et bioclimatiques de la région de Bouira	9
Tab.03 : Les principales données écologiques des stations d'échantillonnage	11
Tab.04 : Variables morphologiques mesurées pour les feuilles.....	12
Tab.05 : Les variables anatomiques mesurées sous microscope photonique Leica	13
Tab.06 : Caractéristiques hydriques des feuilles	19
Tab.07 : Caractéristiques des variables morphologiques.....	20
Tab.08 : Caractéristiques des variables anatomiques, stomatiques et de la teneur en proline.....	29
Tab.09 : Corrélations entre les variables quantitatives mesurées pour les feuilles de Pistacia lentiscus.....	31
Tab.10 : Valeurs propres et pourcentages d'inertie de l'ACP.	32

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre I : Généralités sur l'espèce	
I Présentation de l'espèce	3
II Systématique	4
III Aire de répartition géographique	4
1. Le genre <i>Pistacia</i>	4
2. Aire de répartition du lentisque	4
IV Caractères botaniques et dendrologiques de l'espèce	5
V Ecologie de l'espèce	7
1. La température	7
2. Exigences altitudinales	7
3. Phénologie et régime de reproduction du lentisque	8
Chapitre 2 : Matériel et Méthodes	
I. Echantillonnage	9
1. Zone d'étude	9
2. Récolte du matériel végétal et manipulations au laboratoire	11
II. Expérimentation :	12
1. Mesure du potentiel hydrique des feuilles	12
2. Etude morpho-anatomique.....	12
a. La biométrie foliaire	12
b. L'anatomie de la feuille	13
3. Mesure du poids spécifique	14
4. Mesure des dimensions stomatiques et des densités stomatiques	15
5. Extraction et dosage de la proline	17
6. Traitement statistique des données	17
Chapitre 3 : Résultats et discussion	
I. Résultats	19
1. Le potentiel hydrique et le poids spécifique des feuilles.....	19
2. Les paramètres morphologiques :	20
3. Paramètres anatomiques	22
4. L'étude stomatique	26
5. La teneur en proline libre des feuilles	28
6. Corrélation entre les variables quantitatives mesurées pour les feuilles.....	30
7. L'analyse en composantes principales des données. (ACP)	31
II. Discussion	34
Conclusion	37
Référence bibliographiques.....	38

Introduction Générale

Les écosystèmes forestiers du bassin méditerranéen sont soumis à de nombreux aléas comme les changements d'usage des terres induits par les activités humaines ainsi que les différents stress abiotiques. Ces derniers, à court ou à long terme peuvent affecter l'écophysiologie des plantes et limiter ainsi leur production (Filella *et al.*, 1997). L'altitude est l'un parmi les facteurs de stress abiotiques qui est associé à des altérations de plusieurs facteurs environnementaux tels la température de l'air, les précipitations, l'exposition aux vents, la lumière, les rayonnements UV. B, la fertilité des sols, la densité de l'ozone et la pression partielle de CO₂. La combinaison de ces facteurs exerce une pression sur les plantes, qui s'exprime par des changements, non seulement dans leur morphologie et leur anatomie, mais aussi dans leur physiologie et leur productivité (Kofidis *et al.*, 2003).

Le genre *Pistacia*, de la famille des Anacardiaceae, comporte quinze espèces toutes dioïques, possédant une haute diversité génétique (Kozhoridze *et al.*, 2015). En Algérie, il est représenté par quatre espèces : *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus*, *Pistacia vera* et *Pistacia atlantica*.

La variation des caractères morpho-anatomique, physiologique et phytochimique des feuilles des espèces du genre *Pistacia* en relation avec les conditions environnementales du milieu a été évoquée par plusieurs auteurs en fonction de l'âge (Alvarez *et al.*, 2007 ; de Lima Vieira *et al.*, 2014), la saisonnalité, la température et l'latitude (Filella *et al.*, 1997 ; Flexas *et al.*, 2000 ; Kofidis *et al.*, 2003 ; Varon et Gratani, 2007), l'écologie (Watika et Bhat, 2001), la salinité (Tattini *et al.*, 2006 ; Ait Said *et al.*, 2011a), la provenance géographique (bioclimats) (Belhadj *et al.*, 2007 ; Belhadj *et al.*, 2008 ; Ait Said *et al.*, 2011), les rayonnements UV.B et de l'altitude (Kakani *et al.*, 2003 ; Kofidis *et al.*, 2003 ; Dosek *et al.*, 2007 ; Macek *et al.*, 2009 ; Murai *et al.*, 2009 ; Yin *et al.*, 2009).

Pistacia lentiscus est une espèce circum-méditerranéenne considéré comme l'une des espèces les plus tolérantes aussi bien à la sécheresse (Gratani, 1995 ; Filella *et al.*, 1998 ; Vilagrosa *et al.*, 2003 ; Tattini *et al.*, 2006 ; Ozturk *et al.*, 2010) qu'à la salinité (Armas et Pugnaire, 2009 ; Barazani et Golan-Goldhirsh, 2009). Il est très recommandé dans les reboisements des zones arides (Cortina *et al.*, 2008). Son aire de répartition très large s'explique par sa grande plasticité phénotypique (Varone *et al.*, 2007).

Introduction Générale

Le lentisque est un arbuste de moyenne altitude (Castro-Díez *et al.*, 1998). Dans ce contexte, il est important de pouvoir comprendre comment les plants de lentisque peuvent s'adapter en condition stressantes d'altitude. Toutefois, si le profil chimique ciblé des plantes en condition de ce stress altitudinal a été étudié (Ait Said *et al.*, 2011), l'analyse des caractères morpho-anatomique et physiologique sont très peu explorées, du moins pour bon nombre d'espèces sauvages *in situ*.

Le présent travail est structuré comme suit :

- Une introduction générale dans laquelle la problématique du travail est posée
- Un premier chapitre qui comprend des rappels bibliographiques sur l'espèce étudiée ainsi que la thématique abordée
- Un deuxième chapitre : matériel et méthodes qui décrit avec détail le mode d'échantillonnage ainsi que toutes les techniques d'analyse de laboratoire utilisées
- Dans le dernier chapitre, les résultats obtenus sont représentés en formats graphiques et analysés statistiquement puis discutés à la lumière d'autres travaux ayant relation directe avec notre thématique de recherche.

Chapitre I

I. Présentation de l'espèce :

Le lentisque (*Pistacia lentiscus* L.), est une espèce dioïque appartenant au genre *Pistacia* de la famille des Anacardiacees (Barra *et al.*, 2007). Le genre *Pistacia* comporte au moins onze espèces toutes dioïques possédant une haute diversité génétique due au caractère dioïque, aux mécanismes de pollinisation et à une forte hétérozygotie (Kozhoridze *et al.*, 2015). En Algérie, il est représenté par quatre espèces, en l'occurrence ; *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus*, *Pistacia vera* et *Pistacia atlantica* (Quezel et Santa, 1962).

Pistacia lentiscus L. est un arbuste sclérophylle originaire de la région méditerranéenne et du Moyen Orient (Verdū et Garcia-Fayos, 1998 ; Charef *et al.*, 2008), très largement répandue (Fernandez *et al.*, 2000). Il repousse vigoureusement de la souche et se présente à l'état de buissons épais (Lapie et Maige, 1950).

C'est une espèce thermophile qui croît aussi bien dans les zones chaudes à basse altitude et dans des endroits protégés ensoleillés à moyenne altitude (Castro-Diez *et al.*, 1998). Elle présente une large répartition et occupe des habitats variables (Wang *et al.*, 2001), due à grande plasticité phénotypique (Roman *et al.*, 2005). C'est une espèce rustique à feuilles persistantes, résistant aussi bien à la sécheresse qu'à la salinité, avec une aptitude à germer et à repousser après feu et après coupes. De par son rôle protecteur du sol contre l'érosion, il est d'une importance potentielle dans les programmes de reboisement et de restauration des zones dégradées (Mulas *et al.*, 1998 ; Verdū et Garcia-Fayos, 1998). Aussi, il est aussi utilisé comme porte greffe du *Pistacia vera* (Kafkas et Karimi, 2011).

C'est une espèce qui est connue et utilisée depuis l'antiquité et à nos jours, pour ses propriétés médicinales. Les huiles essentielles de ses parties aériennes et sa résine sont utilisées en industrie agro-alimentaire, pharmaceutique et en parfumerie (Zrira *et al.*, 2003 ; Hafsi *et al.*, 2015). Les feuilles sont pourvues d'activités anti-inflammatoire, antibactérienne, antifongique, antipyrétique, antimicrobiennes et anti-oxydantes tant appréciables (Fernandez *et al.*, 2000 ; Barra *et al.*, 2007 ; Hassani et Djelloul, 2008 ; Ahmadi *et al.*, 2009 ; Hafsi *et al.*, 2015). L'huile grasse obtenue par expression des fruits de lentisque est utilisée dans le traitement des petites blessures, brûlures légères et érythèmes. Elle est aussi employée par voie orale contre les problèmes respiratoires d'origine allergique et les ulcères de l'estomac (Fernandez *et al.*, 2000 ; Hassani et Djelloul, 2008 ; Boukeloua, 2009), comme anti-diarrhéique et comme constituant des aliments de bétails (Charef *et al.*, 2008).

II. Systématique

Yi *et al.* (2008), ont classé le genre *Pistacia* en deux sections en se basant sur selon le caractère caduque ou persistance des feuilles qui sont : *Terebinthus* et *Lentiscus*. Selon cette classification, *Pistacia lentiscus* appartient à la section de *Lentiscus*, avec *P. weinmannifolia*, *P. mexicana* et *P. texana* .

Règne : *Plantae*

Embranchement : *Spermatophyta(Angiospermae)*

Classe : *Dicotyledones*

Ordre : *Sapindales*

Famille : *Anacardiaceae(Pistaciaceae)*

Genre : *Pistacia*

Espèce : *Pistacia lentiscus*L. (Boukeloua,2009).

III. Aire de répartition géographique :

1. Le genre *Pistacia* :

Les espèces du genre *Pistacia* sont essentiellement distribuées autours bassin méditerranéen, à l'Asie centrale (Yi *et al.*,2008).(Fig.01)La distribution mondiale de ce genre est limitée entre les latitudes 10° Nord et 45° Nord (Kozhoridze *et al.*,2015).

2. Aire de répartition du lentisque :

L'aire du lentisque s'étend sur tout le bassin méditerranéen (Verdū et García-Fayos, 2002) et se rencontre dans les Iles Canaries et au Portugal (**Fig. 02**). En Algérie, il occupe l'étage thermo-méditerranéen. Sa limite méridionale se situe aux environs de Saida et sa présence au sud de l'Atlas saharien n'est pas signalée (Ait Said *et al.*,2009). Il pousse dans les régions côtières (Mecherara-Idjeri *et al.*,2008), et il est fréquent dans le Tell où il forme un des éléments principaux des broussailles (Lapie et Maige, 1950). Toutefois, il est aussi présent dans les régions sub-sahariennes, à des altitudes allant jusqu'à 1500m (Mecherara-Idjeri *et al.*,2008).

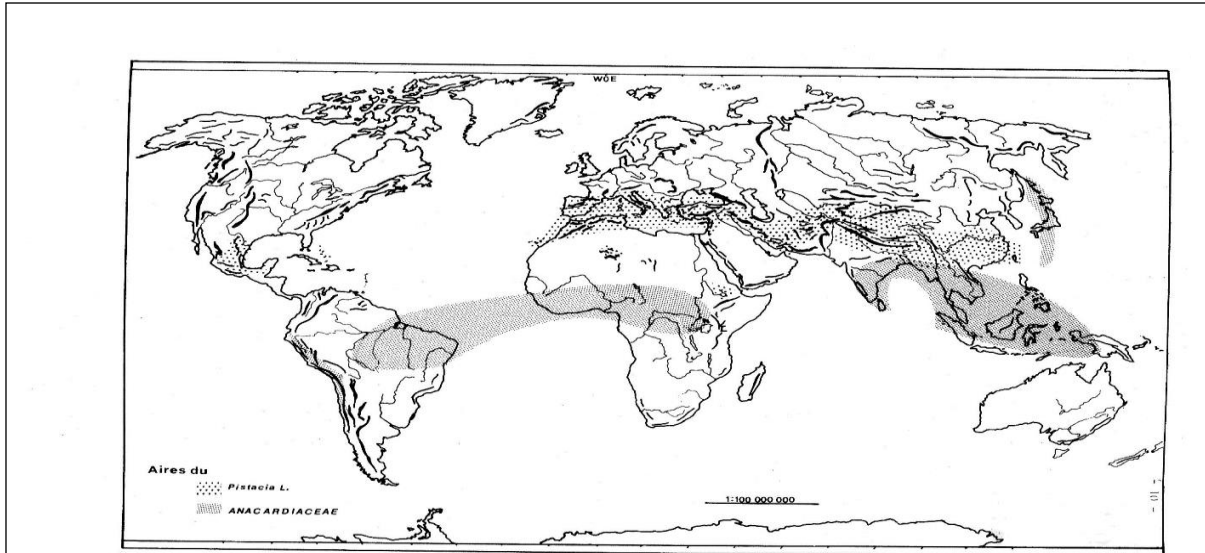


Fig.01. Aire de répartition de la famille des anacardiacées dans le monde (Alyafi, 1979).

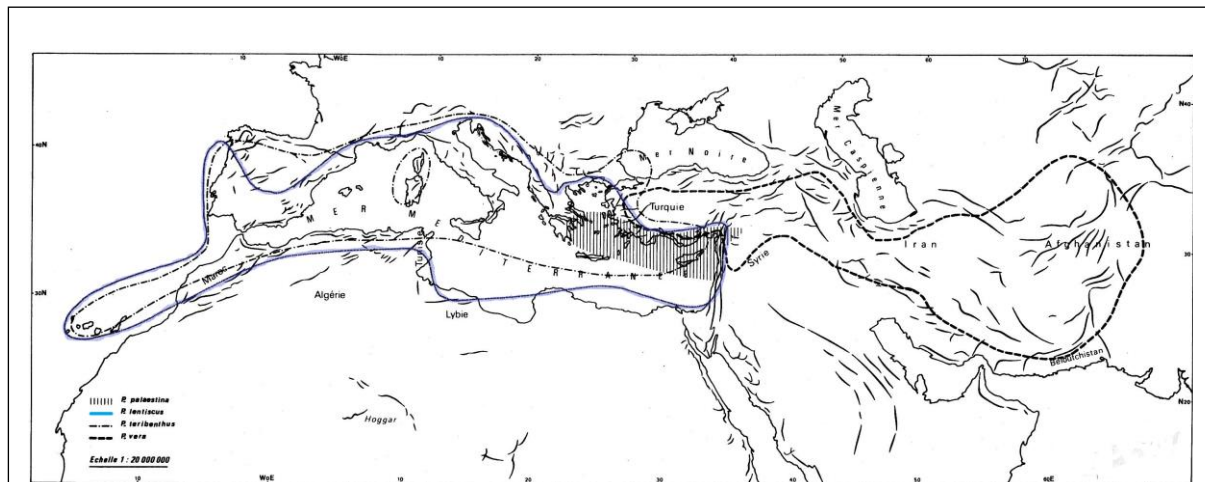


Fig.02 : Aire de répartition du *Pistacia lentiscus* dans le monde (Alyafi, 1979).

IV. Caractères botaniques et dendrologiques de l'espèce :

Certains caractères sont décrits dans le tableau **Tab. 01** et des images sont rapportées dans la figure **Fig.03**.

Tab.01 : Caractères botaniques et dendrologiques du lentisque.

Eléments	Caractéristiques
Le port	Généralement de 2 à 3 mètres , pouvant atteindre 6 mètres dans des endroits humides et protégés (Munné-Boch et Penuelas, 2003), ramifié dès la base (Quezel et Santa, 1963), et buissonnant.
Le bois et la résine	Son bois est connu pour sa robustesse et la finesse de sa texture, très appréciée en ébénisterie. Sa résine, exsudant du tronc et des branches, est de couleur jaune claire, fortement aromatique qui durcit au contact de l'air, appelée mastic ou gomme (Boukeloua,2009).
L'écorce	Brun rougeâtre (Fellak, 2002).
Les feuilles	<p>Les feuilles sont toujours imparipennées, caduques en hiver vert pales (Quezel et Santa, 1963), composées, alternes, pétiolées et à folioles entières (Fellak ,2002), d'une longévité supérieure à une année (Munné-Boch et Penuelás, 2003). Le pétiole est luisant, le rachis est bordé de deux ailes vertes et foncées. Les folioles sont étroites, d'un nombre paire coriaces, d'un vert sombre luisant, glabre persistant pendant l'hiver. Les nervures sont plates et bien visibles. Le feuillage est très ramifié et persistant (Fellak ,2002).</p> <p>Sur le plan anatomique, les feuilles du lentisque sont dorsiventrals de type C₃, ayant deux couches de parenchyme palissadique. Deux types d'oxalates de calcium (cubiques et en oursins) sont présents essentiellement dans le collenchyme et dans le parenchyme lacunaire (Ait Said <i>et al.</i>,2009).</p>
Les fleurs	Les fleurs sont actinomorphes, dépourvues de corolles et sessiles. Le périanthe se compose de 3 à 5 sépales. Le pistil se compose de 1 à 3 carpelles, et un style court avec 3 stigmates (Grundwagt, 1976).
Les fruits	Les fruits sont des drupes peu charnues, à un seul noyau, de couleur rouges qui devient noire à maturité (Fellak ,2002), ayant 3 à 4 mm de diamètre, de forme

	ovoïde-globuleuse et quelque peu comprimé. (Grundwagt, 1976).
--	---



Fig.03 : Feuilles et fruits de *Pistacia lentiscus* (Septembre 2017).

V. Ecologie de l'espèce :

1. La température :

Les espèces de la section *Lentiscus* survivent à des températures allant de -8°C à 41°C . *Pistacia lentiscus* est la plus tolérante et peut survivre à des températures extrêmes pouvant atteindre 45°C (Kozhoridze, 2015). Tout en affichant une distribution thermophile, elle est aussi résistante à de très basses températures hivernales (Palacio *et al.*, 2005).

2. Exigences altitudinales

Le lentisque est une espèce de moyenne altitude (Castro-Diez *etal.*, 1998 ; Palacio *et al.*, 2005). Il pousse dans les régions littorales à basses altitudes et il peut aller jusqu'à 1500 m d'altitude dans les régions sub-sahariennes (Mecherara-Idjeri *et al.*, 2008).

3. Phénologie et régime de reproduction du lentisque :

Pistacia lentiscus est l'un des arbustes les plus dispersés par les vertébrés dans le bassin méditerranéen (Quezel, 1981, in Garcia-Fayos et Verdu, 1998), et la dissémination des graines est assurée particulièrement par les oiseaux (Garcia-Fayos et Verdu, 2002).

Elle affiche un développement séquentiel de ses phénophases, prolongeant son activité phénologique pendant la plus grande partie de l'année (Mecherara-Idjeri et *al.*,2008).Les stades bourgeonnement, floraison et l'anthèse ont lieu au début du printemps, puis on assiste à l'ouverture et l'extension des bourgeons végétatifs et à la fin, en été et en automne s'effectue la floraison et la fructification (Milla *et al.*, 2005). Les plantes mâles terminent leur cycle phénologique plusieurs semaines avant les plantes femelles (Palacio *etal.*,2005).

Chapitre II

I. Echantillonnage :

1. Zone d'étude

Notre échantillonnage a été réalisé dans la forêt de l'Oued Sahel, à proximité des villages Beni Hémmad, Saharidj et Thamourth-Ouzemour dans la Daira de M'chedallah, à 40 km à l'Est de la wilaya de Bouira. Les données climatiques de cette dernière (période : 2000-2009) sont rapportées dans le tableau (**Tab.02**)

Tab.02 : Principales données climatiques et bioclimatiques de la région de Bouira

P (mm)	M(°c)	m(°c)	Q2	Etage bioclimatique	Durée de la période sèche
565,73	36,17	3,54	59,64	Semi-aride, variante à hiver tempéré.	4 mois et 3 semaines (dernière semaine du mois d'avril / mi-septembre)

P : Moyennes des précipitations annuelles ; M : Températures moyennes des maxima du mois le plus chaud ; m : Températures moyennes des minima du mois le plus froid ; Q2 : quotient pluviométrique d'Emberger ; étage bioclimatique après projection de la station sur le climagramme pluviométrique d'Emberger.

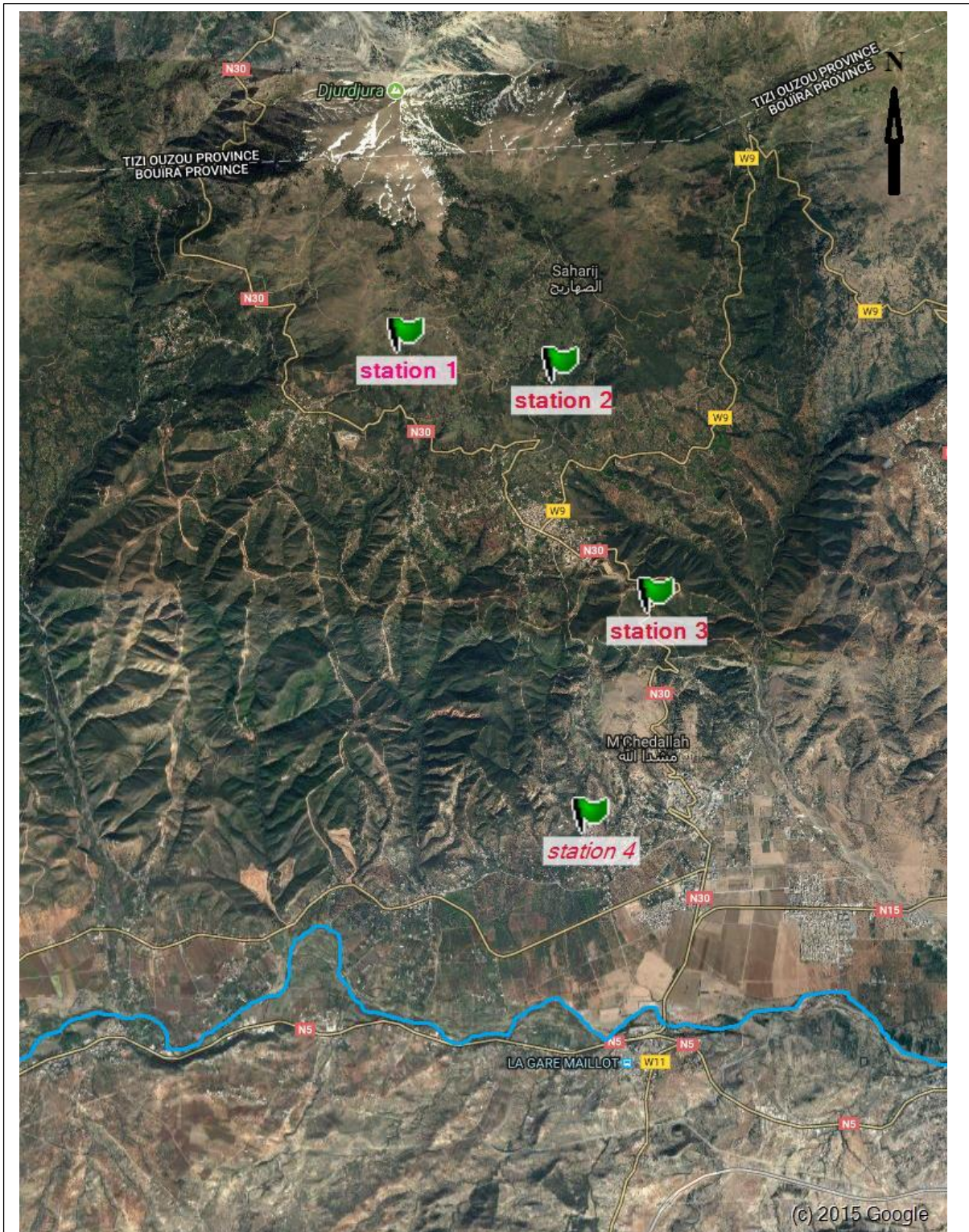
Durée de sécheresse de Bagnauls et Gausson $P=2T$.

Quatre stations sont choisies dans cette forêt, le long d'un gradient altitudinal croissant (**Fig.04**). La station 1 (St01) dite Ath Hemmadh est située entre 1070-1180 m d'altitude. Elle est localisée dans une formation pré-forestière issue de la dégradation de la chênaie verte à une exposition Est-sud. La végétation forme une strate arbustive très dense, ne dépassant pas une hauteur d'un mètre et demi, dominée par les deux espèces ; *Calicotomespinosa* et *Genistatricuspidata*. Elle est limitée du côté nord par la cédraie de Tala Rana, et du côté sud par le village Beni Hammad.

La station 2 (St02) (Mekhchem) est localisée entre 870-930m d'altitude dans une formation forestière à chêne vert à couvert végétal ouvert et à une exposition Est-sud.

Les stations 3 et 4 ; (St03) (Aachayvo) St04 (Thamourth ouzemour) ; sont localisées au niveau de l'étage du pin d'Alep. Ces peuplements sont bien venants, avec un recouvrement de 70%, dans une tranche altitudinale allant de 500 à 800 m, sur substrat calcaire marneux avec une pente de 20% et une exposition nord-ouest (kadik, 1983 in Meddour,2010). Ils sont soumis aux passages répétés des incendies qui compromettent sérieusement leur pérennité (**Meddour,2010**).

Les principales données écologiques des stations et les espèces du cortège floristiques identifiées sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.



— : Oued Sahel

St1 : station à plus haute altitude St4 : Station à plus basse altitude.

Fig.04 : Situation géographique de la zone d'étude. (modifiée)

Source : Terra Incognita 2.42.

Tab.03 : Les principales données écologiques des stations d'échantillonnage.

Station	Tranche altitudinale (m)	Coordonnées géographiques	Pente	Exposition
ST4 :Thamourthouzemour	400-450	36°	Terrain plat	Sud-Est
St3 :Aachayvo	650-700	36°23'N/004°15'E	Moyenne	Est
St2 :Mekhchem	870-930	36°24'N/004°15'E	Faible	Est –nord
St1 :Ath Hemmadh	1070-1180	36°24'N/004°13'E	moyenne	Est

Tab.03 : (suite).

Station	Cortège floristique
ST4 :Thamourthouzemour	<i>Asparagus acutifolius</i> , <i>Ceratoniasiliqua</i> , <i>Juniperusoxycedrus</i> , <i>Pinus halepensis</i> , <i>Pistacialenstiscus</i> , <i>Rosmarinusofficinalis</i> , <i>Olea europea</i> , <i>Ziziphus lotus</i> .
St3 :Aachayvo	<i>Rosmarinusofficinalis</i> , <i>Pistacialenstiscus</i> , <i>Pinus halepensis</i> , <i>Ziziphus lotus</i> .
St2 :Mekhchem	<i>Ampelodesmosmauritanicus</i> , <i>Asphodelusramosus</i> , <i>Olea europea</i> , <i>Pistacialenstiscus</i> , <i>Quercus ilex</i> ,
St1 :Ath Hemmadh	<i>Ampelodesmosmauritanicus</i> , <i>Asperula hirsuta</i> , <i>Asphodelusramosus</i> , <i>Calicotumspinosa</i> , <i>Pistacialenstiscus</i> , <i>Quercus ilex</i> ,

2. Récolte du matériel végétal et manipulations au laboratoire

Notre travail fait suite aux travaux antérieurs réalisés par Ait Said *et al.*, (2011) qui ont montré que l'altitude influence directement sur la teneur en composés terpéniques des feuilles de lentisque. Notre objectif est d'appréhender l'effet de l'altitude sur certaines caractéristiques foliaires du lentisque.

Pour cela, des feuilles sont récoltées durant le mois d'avril, dans les quatre directions de l'arbre sur des arbres femelles pour éviter l'effet de sexe, très répondu chez les espèces dioïques (Milla *et al.*, 2005 ; Ait Said *et al.*, 2013).

Dix pieds de lentisque sont sélectionnés dans chaque station. A noter qu'au niveau des trois premières stations, les pieds présentent des tailles très variables, d'une hauteur pouvant atteindre trois mètres. Au niveau de la quatrième station, les pieds échantillonnés avaient une taille moins importante que celle des trois autres stations. La végétation composant cette station était essentiellement d'une seule strate arbustive, ne dépassant pas un mètre et demi de hauteur, dominée par *Calicotomespinosa* et *Genistatricuspidata*. Aussi, la parcelle qu'on a parcourue était beaucoup plus importante, et le lentisque était moins présent et très éparse, où le sex-ratio dioïque était en faveur des pieds mâles.

Une partie de ces feuilles est séchées en herbier. Elle a fait objet de mesures :

1. Morphologiques (biométrie foliaire) ;
2. Du poids spécifique ;
3. Anatomiques ;
4. De la teneur en proline libre.

Une autre partie qui, aussitôt prélevée est conservée et pesée, puis séchée dans une étuve pour déterminer le potentiel hydrique des feuilles.

Dans chacune des quatre stations, nous avons choisi dix (10) arbres femelles et sur chacun d'eux, nous avons prélevé dix feuilles dans les quatre directions de l'arbre ; au total quarante (40) arbres ont été échantillonnés et quatre cents (400) feuilles ont été récoltées.

II. Expérimentation :

1. Mesure du potentiel hydrique des feuilles :

Les feuilles fraîches du lentisque sont enveloppées et gardées au froid sont pesées aussitôt sorties du frigo avec une balance de précision à un millième. Ensuite, les mêmes feuilles sont étuvées pendant 48h à 45°C, et pesées par la même balance. La valeur du potentiel hydrique est obtenue par la formule suivante :

$$\text{Phy} \quad (\%) = \frac{(\text{Pf} - \text{Pse})}{\text{Pf}} \times 100$$

Phy. : Potentiel hydrique ; **Pf** : poids frais (g) et **Pse** : poids sec (g).

2. Etude morpho-anatomique

a. La biométrie foliaire :

Pour la biométrie foliaire, nous avons mesuré 10 feuilles par arbre à raison de 100 feuilles par station. A l'aide d'un pied à coulisse d'une précision d'un centième, nous avons mesuré la longueur et largeur des feuilles, longueur du rachis et celle du pétiole. Le tableau **Tab.04** et la figure **Fig.05** rapportent les variables morphologiques mesurées.

Tab.04 : Variables morphologiques mesurées pour les feuilles.

Variables mesurées pour les feuilles	Codification	unités
Longueur de la feuille	(Lf)	Cm
Largeur de la feuille	(lf)	Cm
Longueur du rachis	(Lr)	Cm
Longueur du pétiole	(Lp)	Cm

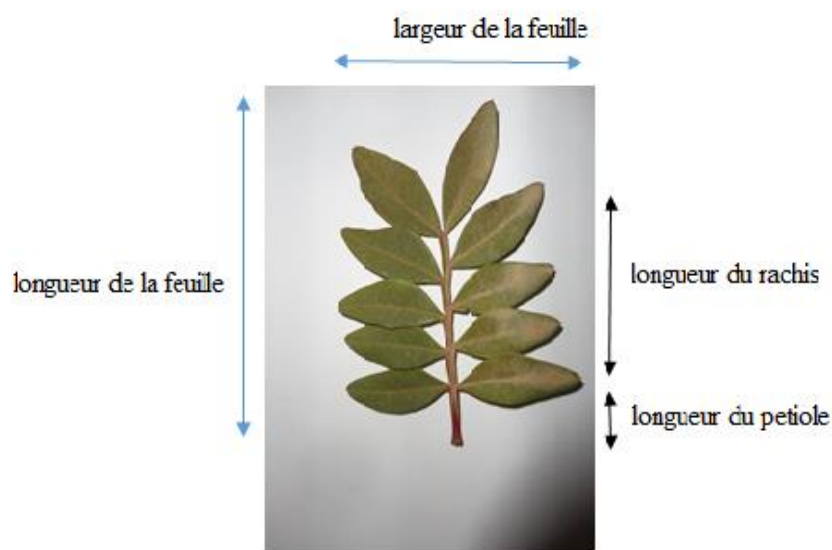


Fig.05 : Biométrie foliaire chez *P.lentiscus* L.

b. L'anatomie de la feuille :

Sur le plan anatomique, les feuilles du lentisque sont dorsiventrales de type C3, ayant deux couches de parenchyme palissadique (Ait Said *et al.*,2009).

Les folioles de lentisque sont d'abord réhydratées dans de l'eau bouillonnante. Des coupes transversales à main levée sont réalisées au niveau de la partie médiane des feuilles, à raison de trois coupes par feuilles. Au total, trente coupes par station et cent vingt coupes pour l'ensemble des stations ont été réalisées. Ces coupes sont colorées avec la technique de la double coloration classique carmino – vert d'iode. Des photographies de ces coupes sont prises au microscope photonique (leica) aux différents grossissements (Fig. 7). Les épaisseurs des différentes variables anatomiques sont mesurées à l'aide d'un micromètre oculaire (**Tab.06**)

Tab.05 : Les variables anatomiques mesurées sous microscope photonique Leica.

Variables anatomiques mesurées	codification	unités
Longueur du cylindre centrale	(Lcc)	µm
Largeur du cylindre centrale	(Lcc).	µm
Epaisseur de la cuticule supérieure	(Ecs)	µm
Epaisseur de l'épiderme supérieur	(Epsu)	µm
Epaisseur du parenchyme palissadique	(Epp)	µm
Epaisseur du parenchyme lacunaire	(Epl)	µm
Epaisseur de l'épiderme inférieur	(Epin)	µm
Epaisseur de la cuticule inférieure	(Ecin)	µm
La somme des mesures des épaisseurs de ces paramètres constitue l'épaisseur de la feuille	(Ef)	µm

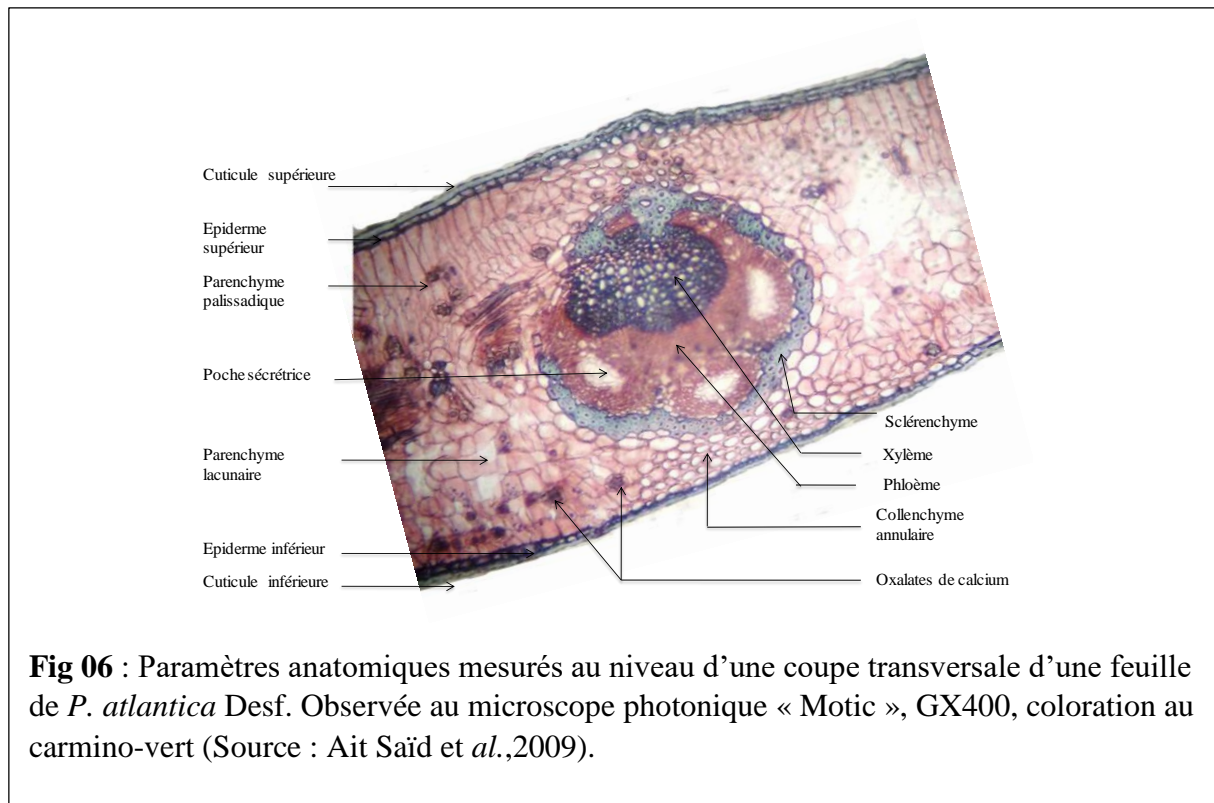


Fig 06 : Paramètres anatomiques mesurés au niveau d'une coupe transversale d'une feuille de *P. atlantica* Desf. Observée au microscope photonique « Motic », GX400, coloration au carmino-vert (Source : Ait Saïd et al.,2009).

3. Mesure du poids spécifique :

Pour les mesures du poids spécifique, nous nous sommes basés sur la formule décrite par Lima Vieira *et al.* (2014), pour quatre espèces ligneuses.

Cette méthode consiste à mesurer la surface foliaire (**Sf**) et le poids sec (**Pse**) de chaque foliole, et de calculer le poids spécifique (**PS**) selon la formule suivante :

$$\text{Poids spécifique (PS)} = \text{Surface foliaire (Sf)} / \text{poids sec (Pse)} \text{ (cm}^2\text{/g)}$$

Nous avons estimé le poids spécifique de trois feuilles par arbre, à raison d'une foliole par feuille, pour les dix arbres échantillonnés au niveau de chaque station. Au total, cent vingt mesures sont réalisées pour l'ensemble des quatre stations.

Pour mesurer la surface foliaire, nous avons utilisé des photos prises pour chaque foliole en utilisant le même appareil photo numérique, de marque Sony, pour ensuite mesurer la surface sous logiciel Mesurim pro version 3.4. La figure **Fig.07** montre une photo traitée avec le logiciel Mesurim.

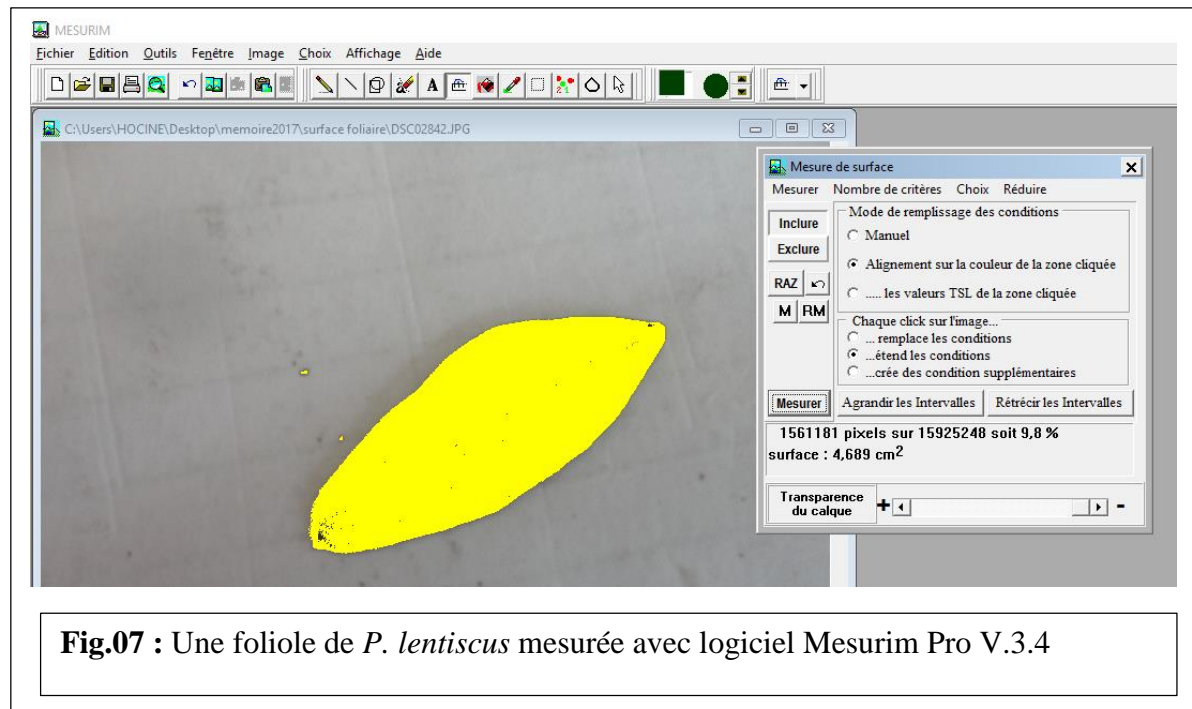


Fig.07 : Une foliole de *P. lentiscus* mesurée avec logiciel Mesurim Pro V.3.4

4. Mesure des dimensions stomatiques et des densités stomatiques :

Pour les dimensions stomatiques, nous avons calculé les densités et mesuré les dimensions des stomates de dix feuilles par arbre à raison de cinq stomates par foliole et d'une foliole par feuille, et ce pour les dix arbres échantillonnés dans chaque station ; au total cinq cent stomates par station ont été mesurés. Pour se faire, nous avons réalisé des captures sur des lames préparées.

La préparation des lames s'est basée sur la technique du vernis à ongle. Elle consiste à étaler du vernis transparent sur la partie inférieure des folioles et laisser sécher à l'air libre. À l'aide de papier adhésif transparent, nous enlevons l'empreinte de la foliole qui sera collée par la suite sur une lame étiquetée. L'observation est faite sous le même microscope au grossissement X400. À l'aide d'un appareil à photos numérique, nous avons réalisé des photos pour les lames préparées. Nous avons compté le nombre de stomates par champs de vision du microscope, puis en mesurant la surface du champ de visions à l'aide d'un micromètre oculaire, nous avons rapporté la densité stomatique à une surface de 1mm²

Pour mesurer les stomates, nous avons utilisé un appareil à photos Motic adapté au microscope, doté d'un logiciel Motic image plus, version 2.0 ML, qui nous a permis de mesurer la longueur et la largeur de cinq stomates par folioles.

La **Fig.08** montre des stomates mesurés sous logiciel Motic image plus 2.0ML.

Aussi, pour le calcul des densités stomatiques aux champs de visions, nous avons utilisé le logiciel Mesurim Pro.V.3.4. La **Fig. 09** montre un champs une photo d'un champ de vision du microscope traitée avec logiciel Mesurim pro

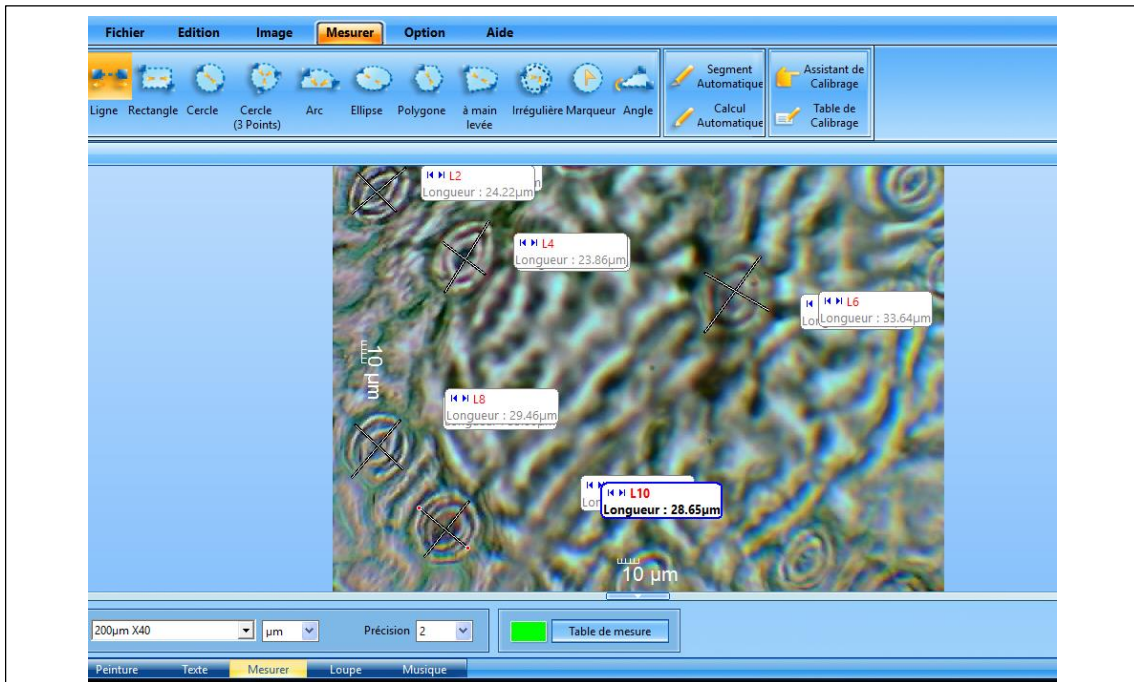


Fig.08 : Mesure des dimensions stomatiques sous logiciel Motic Image Plus V.2.0 ML

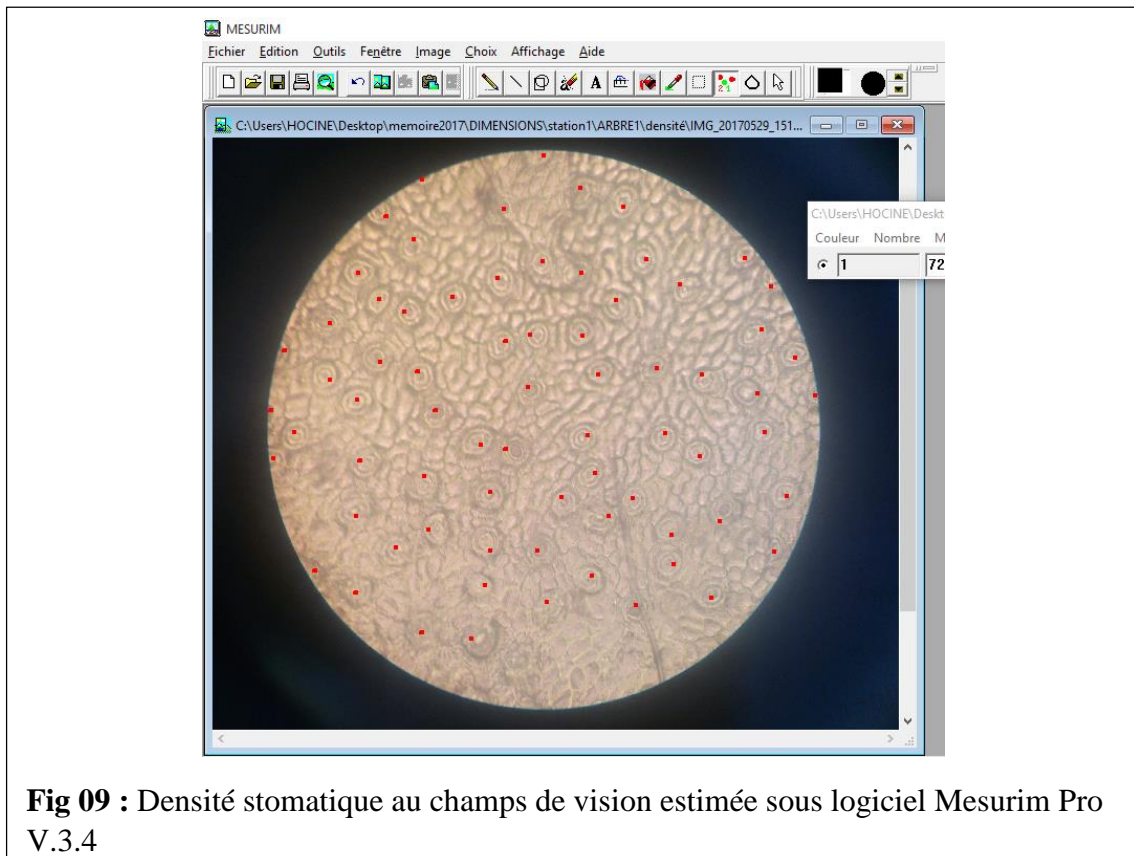


Fig 09 : Densité stomatique au champs de vision estimée sous logiciel Mesurim Pro V.3.4

5. Extraction et dosage de la proline :

L'extraction et le dosage de la proline sont réalisés selon la méthode de Troll et Lindsley (1955) ; modifiée par Bates *et al.* (1973) (Ait saidi et Saidani, 2016).

L'extraction est faite à partir de matière végétale sèche. Des feuilles sèches de l'herbier sont d'abord broyées par un appareil à café, puis par un mortier pour obtenir une poudre fine qui sera conservée dans des flacons hermétiquement fermés.

Réactif à la ninhydrine :

Pour la préparation du réactif, une quantité de 1.25g de ninhydrine est dissoute dans 30 ml d'acide acétique et 20 ml de d'acide orthophosphorique, mise à agitation jusqu'à dissolution de la poudre. Le réactif est conservé à l'abri de la lumière.

Dosage et extraction de la proline :

Une masse de 0,2 g (pour chaque essai) est mise à macération dans 10 ml de méthanol, dans un tube à essai hermétiquement fermés et chauffés au bain-marie à 85°C pendant une heure. Après refroidissement, on prélève 1ml de l'extrait auquel on ajoute 1 ml d'acide acétique concentré et 1ml de réactif à la Ninhydrine. L'échantillon est porté à ébullition pendant 30 mn et une coloration rose apparaît. Après refroidissement, on additionne 5ml de benzène et une pincée de sulfate de sodium NaSO₄ pour éliminer toute trace d'eau dans l'échantillon.

Deux phases se forment :

1. Phase supérieure benzénique contenant la proline ;
2. Phase inférieure aqueuse éliminée.

Les densités optiques des échantillons sont lues à une longueur d'onde de 515nm au spectromètre.

La courbe étalon utilisée est celle réalisée par Ait Saidi et Brahmi (2016), pour le même spectromètre, à partir d'une solution mère de 1mg et ayant la formule suivante : $Y=2,3113X$

6. Traitement statistique des données :

Pour analyser les données des différentes variables mesurées, nous avons eu recours au logiciel Excel et xlstat. L'analyse descriptive et le calcul de paramètres statistiques simples tels que la moyenne, maximum, minimum, écart-type et le coefficient de variation ont été réalisés. La distribution des feuilles en classes de valeur pour chaque variable est illustrée par des histogrammes.

Pour analyser les variations entre les stations, nous avons procédé à des traitements analytiques des données soit par un test paramétrique, ANOVA à un seul facteur, lorsque les conditions de son application sont vérifiées, ou dans le cas contraire par un test non paramétrique, Kruskal-Wallis sous logiciel Xlstat.

Les conditions d'application de l'Anova sont :

1. La vérification de la normalité par le test de Shapiro- Wilk ;
2. La vérification de l'égalité des variances par le test de Bartlett.

Quand les résultats des tests de normalité de Shapiro et d'égalité des variances de Bartlett donnent chacun une P-valeur supérieure à 5 %, cela implique que les conditions d'application d'une analyse de la variance sont vérifiées.

Quand la normalité et l'égalité des variances ne sont pas vérifiées par ces tests (les valeurs de P-value inférieures à 5 %), les conditions d'application l'analyse de la variance ne sont pas réunies, nous avons alors opté pour le test non paramétrique de Kruskal– Wallis.

La corrélation est jugée utile pour souligner les différentes liaisons qui pourraient exister entre les variables. Les coefficients de corrélation obtenus nous renseignent sur l'intensité de ces relations.

L'analyse en composantes principales nous permettra de suivre la distribution des individus au niveau des différentes stations. Nous l'avons réalisé sous logiciel Xlstat 2016.

Chapitre III

I. Résultats :

1. Le potentiel hydrique et le poids spécifique des feuilles :

a. La teneur en eau des feuilles est en moyenne de 47,887% ; elle est la plus faible (15,354%) à St02 et la plus haute (71,485%) à St 01. Le coefficient de variation est d’une valeur de 25,8%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St04 (42,046± 5,41) %, et la plus grande valeur est enregistrée à St01 (51,870± 13,065) % (voir **Tab.06**). L’histogramme de la distribution des feuilles en classe de teneur en eau (**Fig.10 A**) montre une distribution irrégulière des teneurs en eau selon les classes. Les classes (30- 40) %, (40-50) % et (50-60) % sont les plus représentées avec des fréquences respectives de 22,5%, 25% et 27,5 %.

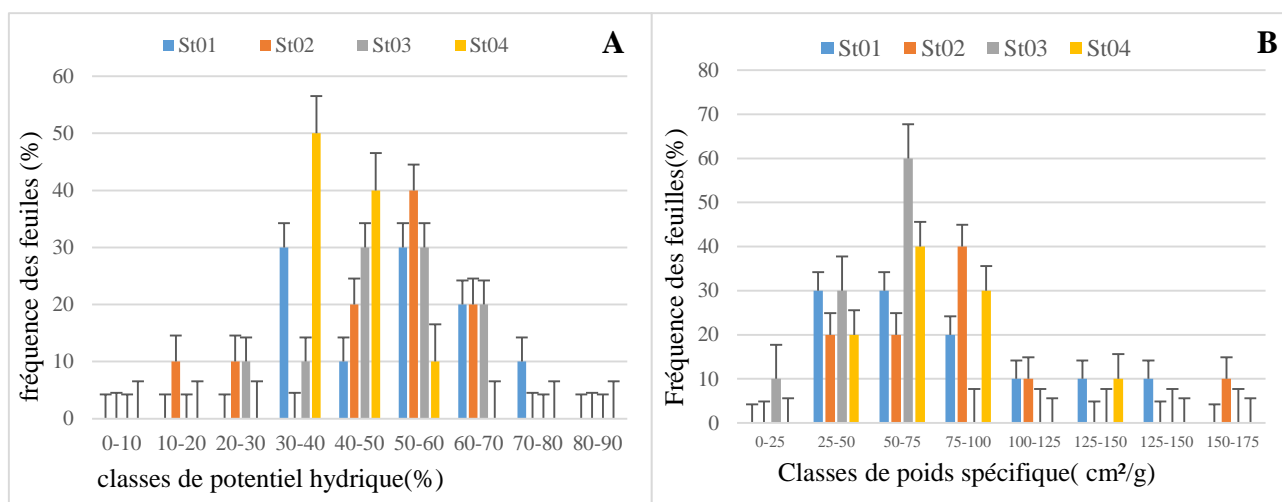


Fig.10 : Histogrammes de distribution des feuilles selon :
A : le potentiel hydrique, **B :** le poids spécifique.

Le test de normalité de Shapiro- Wilk a montré que la distribution ne suit pas une loi normale, donc les conditions d’application du test Anova ne sont pas vérifiées. Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences non significatives pour l’ensemble des individus et des stations. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner font ressortir un groupe homogène pour toute les stations.

Tab.06 : Caractéristiques hydriques des feuilles

Caractères	St01	St02	St03	St04
Phy.(%)	51,87a ±13,065 34,654 – 71,485 (23,9)	47,353a ±16,177 15,354 – 66,882 (32,4)	50,280a ±12,473 27,504 – 68,119 (23,5)	42,046a ±5,41 36,421 – 50,122 (12,2)
PS (cm²/g)	69,566a ±33,667 255,673 – 138,797 (45,9)	84,7a±44,128 31,236 – 190,342 (49,4)	48,918a±14,425 17,541 – 67,489 (28)	74,457a±28,038 44,499 – 132,547 (35,7)

Note : Moyenne± écart type ; étendue, minimum – maximum ; (C.V.) : valeur du coefficient de variation ; séparation des groupes.

b. Les résultats obtenus révèlent que le poids spécifique moyen pour l’ensemble des populations étudiées est de 70,088 cm²/g avec des valeurs extrêmes allant de 17,541 cm²/g enregistrée (St03) à 190,342 cm²/g (St02). Le coefficient de variation enregistré est de l’ordre de 47,2%. (**Tab.05**).

La distribution des classes de poids spécifiques des feuilles semble être irrégulière (**Fig.11 B**). Les classes (25- 50) cm²/g, (50-75) cm²/g et (75-100) cm²/g sont les plus représentées avec des fréquences respectives de 25%, 37,5% et 22,5%.

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences non significatives pour l'ensemble des individus et des stations.

2. Les paramètres morphologiques :

a. Les résultats de la morphologie foliaire montrent clairement des différences significatives des variables longueur et largeur des feuilles en fonction des stations. Les moyennes sont de 7,5 et 4,57cm et les coefficients de variation de l'ordre de 14,20 et 17,9%, respectivement pour les deux variables. Les histogrammes de la distribution des fréquences révèlent que les classes sont (7 - 8) cm sont les plus représentatives de la longueur des feuilles (**Fig.11 A**). La même tendance est observée pour les classes (4- 5) cm pour la variable largeur des feuilles (**Fig. 11 B**).

Tab.07 : Caractéristiques des variables morphologiques.

Caractères	St01	St02	St03	St04
Lf (cm)	7,17a ±1,19	7,43a ±0,95	7,36a ±0,96	8,03b±0,94
	5,17 – 10,2	5,69 – 10,46	4,74 – 9,97	10,44 – 5,37
	(16,5)	(12,8)	(13,1)	(11,7)
lf (cm)	4,31a ±0,78	4,9b ±0,93	4,26a ±0,59	4,81b ±0,73
	2,85 – 6,88	2,54 – 7,19	2,79 – 5,85	2,9 – 6,84
	(18,1)	(18,9)	(13,8)	(15,2)
Lr (cm)	3,66a ±0,96	3,8a ±0,82	3,88a ±0,83	4,25b ±0,84
	2,02 – 5,86	2,04 – 6,36	1,76 – 6,29	2,54 – 6,66
	(26,2)	(21,6)	(21,5)	(19,7)
Lp (cm)	1,35ab ±0,23	1,31a ±0,23	1,27a ±0,21	1,45b ±3,23
	0,79 – 2,22	0,86 – 1,92	0,85 – 1,90	0,91 – 2,19
	(17,4)	(17,3)	(16,6)	(22,2)

Note : Moyenne± écart type ; étendue, minimum – maximum ; (C.V.) : valeur du coefficient de variation ; séparation des groupes.

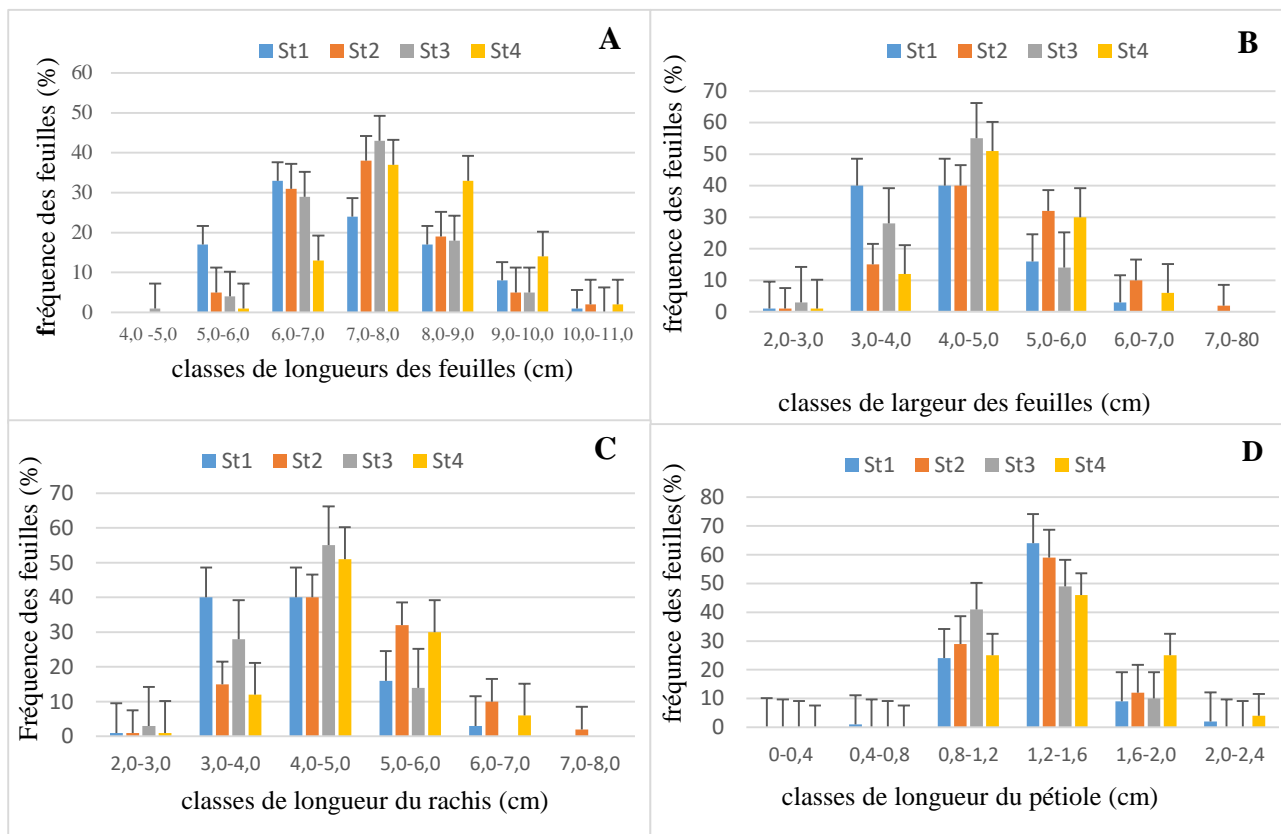


Fig.11 : Histogrammes de distribution des feuilles selon les paramètres morphologiques. **A** : longueur des feuilles ; **B** : largeur des feuilles ; **C** : longueur du rachis ; **D** : longueur du pétiole.

b. Concernant la largeur des feuilles, nous avons enregistré une moyenne de 4,57cm et des valeurs extrêmes allant de 2,54 à 7,19 cm, et un coefficient de variation de 17,9%. La moyenne par station la plus faible est de $4,26 \pm 0,58$ cm (St03) et la plus élevée $4,90 \pm 0,93$ cm enregistrée dans la station St01. La distribution des feuilles par classe des largeurs (**Fig.11 B**) est irrégulière dont les classes (4- 5) cm est la plus représentée avec une fréquence de 46,6%.

L’analyse statistique par le test de Kruskal – Wallis révèle des différences significatives entre stations.

c. La longueur du rachis est en moyenne de 3,90cm, avec une valeur maximale de 6,66 cm enregistrée à St 04 et d’une valeur minimale de 1,76 cm à St 03. Le coefficient de variation est d’une valeur de 22,8%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St01 ($3,66 \pm 0,96$) cm, et la plus grande valeur est enregistrée à St04 ($4,25 \pm 0,84$) cm. L’histogramme de la distribution des feuilles par classe de longueur (**Fig.11 C**) montre une distribution irrégulière des longueurs du rachis selon les classes. La classe la plus représentée est celle (3,3-3,88) cm avec 28,6%.

Etant ne pas répondre aux conditions de normalité, le test de normalité de Shapiro- Wilk révèle des différences avec deux groupes homogènes bien distincts .

d. La valeur moyenne de la longueur du pétiole est 1,34 cm. Le coefficient de variation est de l’ordre de 19,4%. Les moyennes par station sont faibles à St03 ($1,26 \pm 0,21$) cm, et élevée à St04 ($1,44 \pm 0,32$) cm. La classe (1,2- 1,6) cm est la plus représentée parmi les autres classes. Des différences sont enregistrées entre (St02-St03) et (St03-St04).

3. Paramètres anatomiques :

a. Les résultats de l'anatomie foliaire révèlent un effet station pour les variables longueur et largeur du cylindre centrale (Lcc). Leurs moyennes générales sont $71,386 \mu\text{m}$ et $61,399 \mu\text{m}$ et un coefficient de variation est de de $12,4 \%$ et $17,6\%$, respectivement pour les deux variables. Les valeurs moyennes de la longueur du cylindre central sont les plus faibles dans la station St03 ($66,839 \pm 7,881$) μm , et très élevées à St02 ($75,561 \pm 4,647$) μm .

La même tendance est observée pour la deuxième variable avec des moyennes de $54,267 \pm 7,017 \mu\text{m}$ à St03 contre des moyennes les plus élevées enregistrées à St02 ($65,829 \pm 6,613$) μm

b. La largeur du cylindre central (lcc) est en moyenne de $61,399 \mu\text{m}$; La valeur maximale et la valeur minimale sont respectivement de $92,021 \mu\text{m}$ et $41,313 \mu\text{m}$, enregistrées au niveau de la station St 01. Le coefficient de variation est d'une valeur de $17,6\%$. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St03 ($54,267 \pm 7,017$) μm , et la plus grande valeur est enregistrée à St02 ($65,829 \pm 6,613$) μm . L'histogramme de la distribution des feuilles en classe de longueur (**Fig.12**) montre une distribution irrégulière des longueurs du cylindre central selon les classes. Les deux classes ($45 - 60$) μm et ($60 - 75$) μm sont les plus représentées avec des fréquences qui sont respectivement de $38,5\%$ et $46,2\%$.

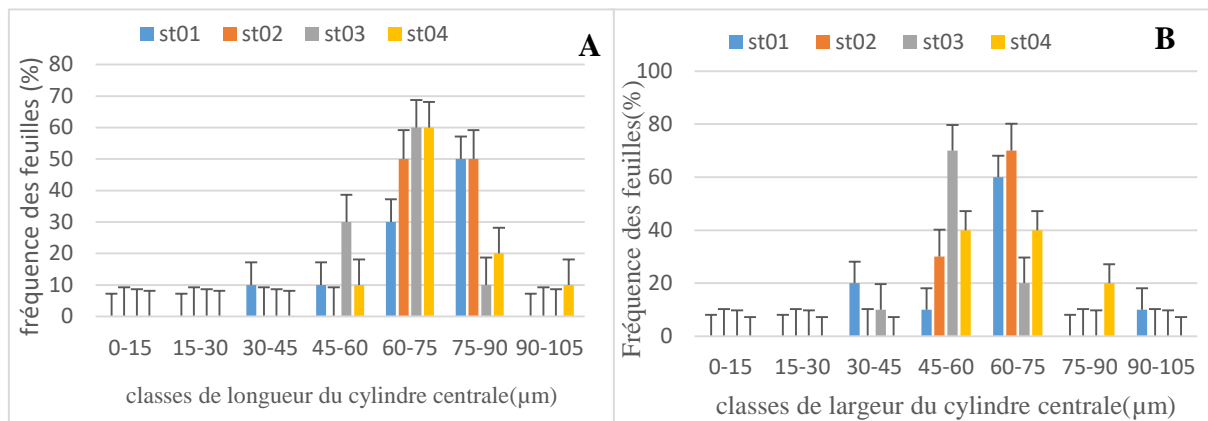


Fig.12 : Histogrammes de distribution des feuilles selon :
A : la longueur du cylindre central ; **B** : la largeur du cylindre central

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences significatives pour le couple (st02-st03) et non significatives pour le reste. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner fait ressortir trois groupes distincts : le groupe a constitué par la station st03 ; le groupe b est constitué par la station st02 et le groupe ab constitué par les deux stations st01 et st04.

c. L'épaisseur de la cuticule supérieure est en moyenne de 5,865 μm ; elle est la plus petite (3,375) μm à St01 et la plus grande (11,771) μm à St 02. Le coefficient de variation est d'une valeur de 23,3%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St01 (5,399 \pm 0,967) μm , et la plus grande valeur est enregistrée à St02 (6,493 \pm 2,103) μm . L'histogramme de la distribution des feuilles en classe des épaisseurs (**Fig.13**) montre une distribution irrégulière des épaisseurs de la cuticule supérieure selon les classes. La classe (4,5 – 6) μm est la plus représentée avec une fréquence de 67,5%, suivie de la classe (6 – 7,5) μm avec une fréquence de 15%.

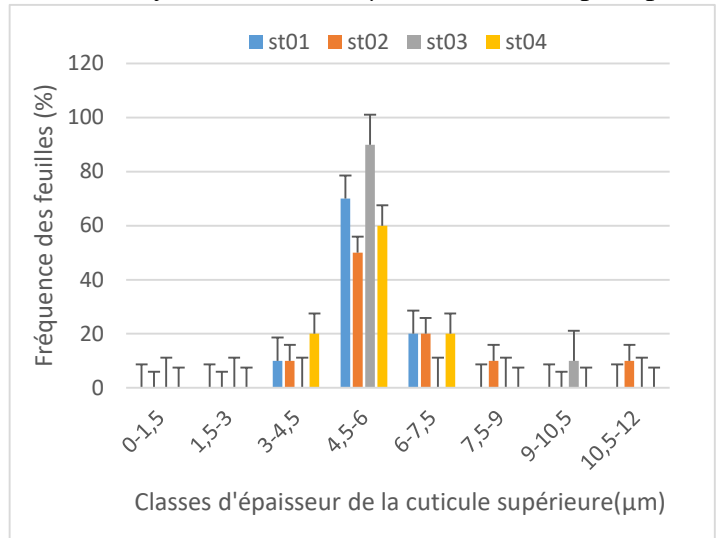


Fig.13 : Histogrammes de distribution des feuilles selon l'épaisseur de la cuticule supérieure.

Le test de normalité de Shapiro- Wilk a montré que la distribution ne suit pas une loi normale, donc les conditions d'application du test Anova ne sont pas vérifiées. Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences non significatives pour les différentes stations. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner fait ressortir un seul groupe homogène pour les quatre stations.

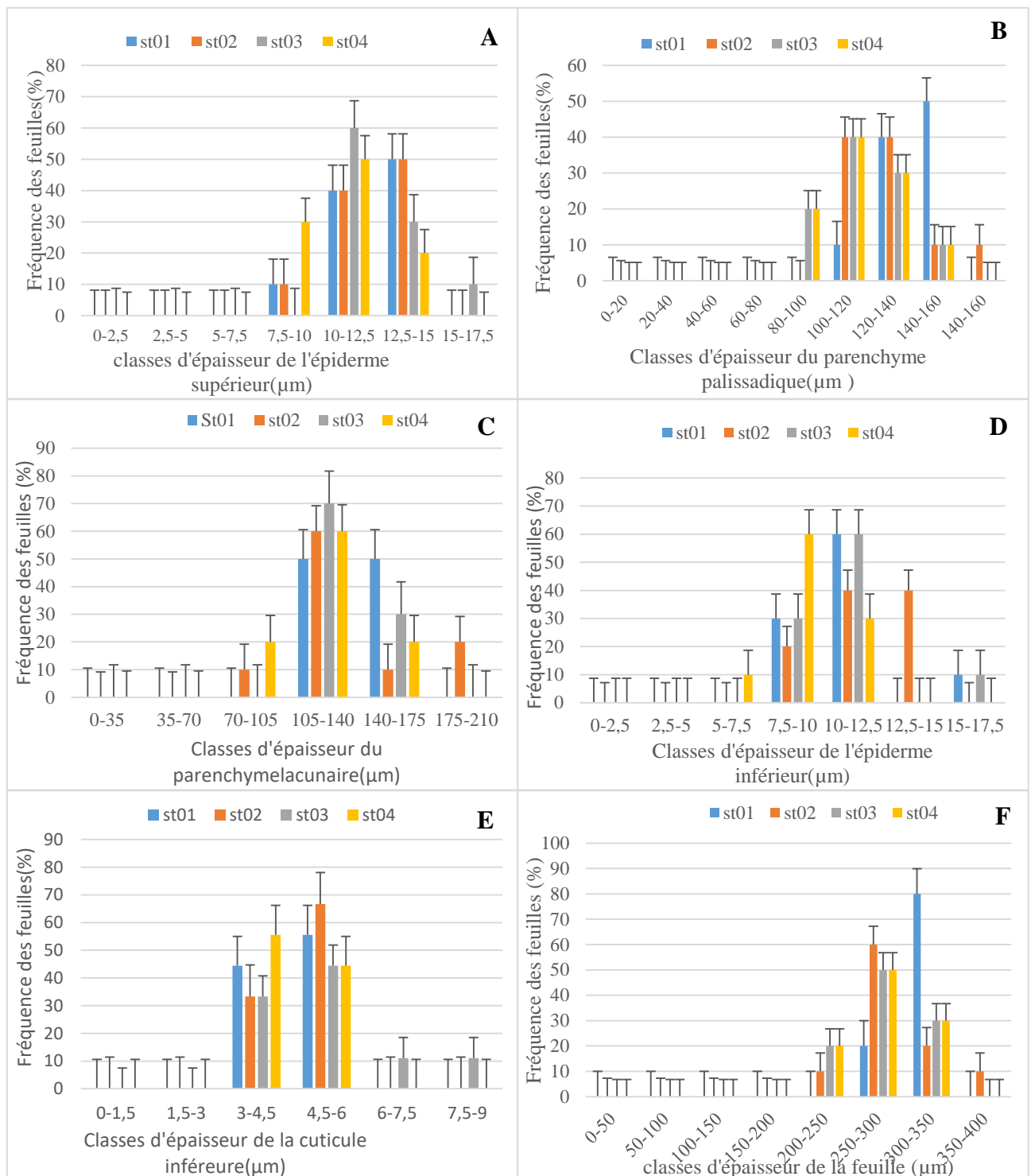


Fig.14 : Histogrammes de distribution des feuilles selon les paramètres anatomiques.

A : épaisseur de l'épiderme supérieur ; **B :** épaisseur du parenchyme palissadique ;
C : épaisseur du parenchyme lacunaire ; **D :** épaisseur de l'épiderme inférieur
E : l'épaisseur de la cuticule inférieure ; **F :** épaisseur de la feuille.

d. L'épaisseur de l'épiderme supérieur (Epsu) est en moyenne de 11,805 μm ; il est le plus épais (15,188) μm à St 03 et le moins épais (8,448) μm à St 04. Le coefficient de variation est d'une valeur de 12,6%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St 04 (10,973±1,835) μm, et la plus grande valeur est enregistrée à St 03 (12,403± 1,277) μm.

L'histogramme de la distribution des feuilles en classe des épaisseurs (**Fig.14 A**) montre une distribution irrégulière des épaisseurs de l'épiderme supérieur selon les classes. Les classes (10 -12.5) μm et (12.5 – 15) μm sont les plus représentées avec des fréquences qui sont respectivement de 47.5% et de 37.5%.

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences non significatives pour les différentes stations. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner fait ressortir un seul groupe homogène pour les quatre stations.

e. L'épaisseur du parenchyme palissadique (Epp) est en moyenne de 126.985 μm ; il est le plus épais (172,375) μm à St 02 et le moins épais (90.271) μm à St 03. Le coefficient de variation est d'une valeur de 12.9%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St 03 (115.648 \pm 16.265) μm , et la plus grande valeur est enregistrée à St 01 (136.158 \pm 12.29) μm . L'histogramme de la distribution des feuilles en classe des épaisseurs (**Fig.14 B**) montre une distribution irrégulière des épaisseurs du parenchyme palissadique selon les classes. Les classes (120 -140) μm et (100 – 120) μm sont les plus représentées avec des fréquences qui sont respectivement de 37.5% et de 32.5%.

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences significatives pour le couple (st01-st03) et non significatives pour le reste. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner fait ressortir trois groupes distincts ; le groupe a est constitué par la station st03, le groupe b par la station st01 et le groupe ab par les deux stations st02 et st04.

f. L'épaisseur du parenchyme lacunaire (Epl) est en moyenne de 132,727 μm ; il est le plus épais (186,729) μm à St 02 et le moins épais (100,521) μm à St 02. Le coefficient de variation est d'une valeur de 14,4%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St 04 (128,325 \pm 15.584) μm , et la plus grande valeur est enregistrée à St 01 (137,313 \pm 14,140) μm . L'histogramme de la distribution des feuilles en classe des épaisseurs (**Fig.14 C**) montre une distribution irrégulière des épaisseurs du parenchyme lacunaire selon les classes. Les classes (105 - 140) μm et (140 – 175) μm sont les plus représentées avec des fréquences qui sont respectivement de 60% et de 27,5%.

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences non significatives entre les individus pour les quatre stations pour l'épaisseur du parenchyme lacunaire. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner fait ressortir un seul groupe homogène pour l'ensemble des stations.

g. L'épaisseur de l'épiderme inférieure (Epin) est en moyenne de 10,499 μm ; il est le plus épais (15,271) μm à St 01 et le moins épais (6,750) μm à St 01. Le coefficient de variation est d'une valeur de 18,3%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St 04 (9,119 \pm 1,686) μm , et la plus grande valeur est enregistrée à St 02 (11,395 \pm 1,806) μm . L'histogramme de la distribution des feuilles en classe des épaisseurs (**Fig.14 D**) montre une distribution irrégulière des épaisseurs de l'épiderme inférieure selon les classes.

Les classes (7,5 -10) μm et (10 – 12,5) μm sont les plus représentées avec des fréquences qui sont respectivement de 35% et de 47,5%.

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences non significatives entre les individus pour les quatre stations pour l'épaisseur de l'épiderme inférieure. Les comparaisons

multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner fait ressortir un seul groupe homogène pour l'ensemble des stations.

h. L'épaisseur de la cuticule inférieure (Ecin) est en moyenne de $4,832\mu\text{m}$; il est le plus épais ($7,625\mu\text{m}$) à St 03 et le moins épais ($3,375\mu\text{m}$) à St 01. Le coefficient de variation est d'une valeur de 19,6%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St 04 ($4,517\pm 0,979\mu\text{m}$), et la plus grande valeur est enregistrée à St 03 ($5,235\pm 1,232\mu\text{m}$). L'histogramme de la distribution des feuilles en classe des épaisseurs (**Fig.14 E**) montre une distribution irrégulière des épaisseurs de l'épiderme inférieur selon les classes. Les classes ($2,5 - 5\mu\text{m}$) et ($5 - 7,5\mu\text{m}$) sont les plus représentées avec des fréquences qui sont respectivement de 50% et de 47,5%.

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences non significatives entre les individus pour les quatre stations pour l'épaisseur de l'épiderme inférieure. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner fait ressortir un seul groupe homogène pour l'ensemble des stations.

i. L'épaisseur totale de la feuille (Ef) est en moyenne de $292,714\mu\text{m}$; elle est la plus épaisse ($379,698\mu\text{m}$) à St 03 et la moins épaisse ($241,208\mu\text{m}$) à St 02. Le coefficient de variation est d'une valeur de 10,2%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St 03 ($280,530\pm 28,241\mu\text{m}$), et la plus grande valeur est enregistrée à St 01 ($306,628\pm 21,683\mu\text{m}$). L'histogramme de la distribution des feuilles en classe des épaisseurs (**Fig.14 F**) montre une distribution irrégulière des épaisseurs de l'épiderme inférieur selon les classes. Les classes ($250-300\mu\text{m}$) et ($300 - 350\mu\text{m}$) sont les plus représentées avec des fréquences qui sont respectivement de 45% et de 40%.

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences non significatives entre les individus pour les quatre stations pour l'épaisseur de l'épiderme inférieure. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner fait ressortir un seul groupe homogène pour l'ensemble des stations.

4. L'étude stomatique :

a. La longueur des stomates est d'une moyenne de $33,910\mu\text{m}$; ils sont les plus longs ($46,752\mu\text{m}$) à st 01 et les plus petits ($17,286\mu\text{m}$) à st03. Le coefficient de variation est d'une valeur de 14,6%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St02 ($30,587\pm 3,182\mu\text{m}$), et la plus grande valeur est enregistrée à St01 ($36,689\pm 4,184\mu\text{m}$). L'histogramme de la distribution des feuilles en classe de longueur (**Fig.15 A**) montre une distribution irrégulière des longueurs des stomates selon les classes. Les classes ($32- 40\mu\text{m}$) et ($40-48\mu\text{m}$) sont les plus représentées avec des fréquences respectives de 61% et 24 %.

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences non significatives pour le couple (st01-st04) et significatives pour toutes les autres stations. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner fait ressortir trois groupes distincts : le groupe a est constitué par la station st02, le groupe b par la station st03 et le groupe c par les deux stations st01 et st04.

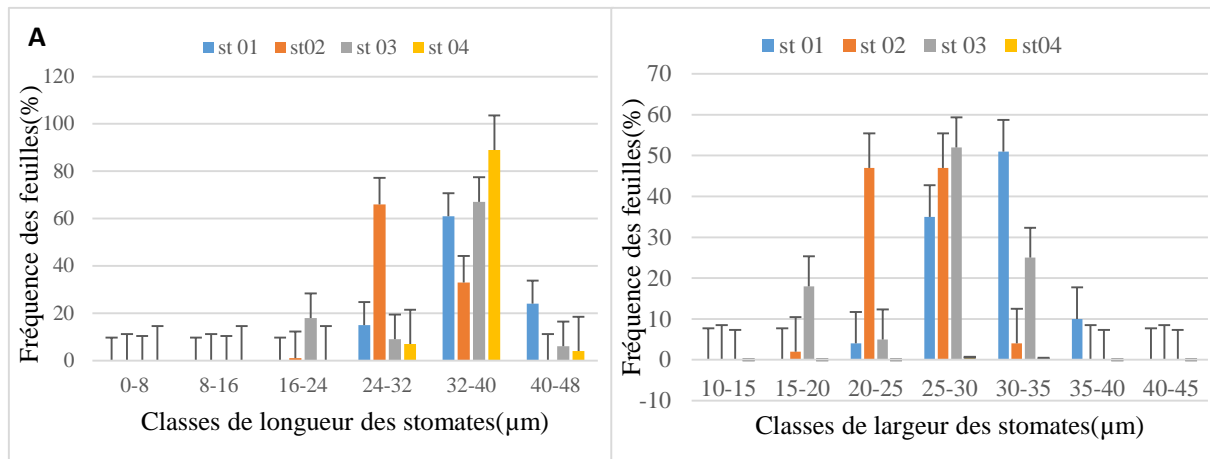


Fig.15 : Histogrammes de distribution des feuilles selon les dimensions stomatiques. **A** : Longueur des stomates ; **B** : Largeur des stomates.

b. La largeur des stomates est d’une moyenne de 28,050 µm ; ils sont les plus larges (46,752) µm à st 01 et les moins larges (15,214) µm à st03. Le coefficient de variation est d’une valeur de 14,7%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St02 (25,158± 2,330) µm, et la plus grande valeur est enregistrée à St01 (30,878± 3,596) µm. L’histogramme de la distribution des feuilles en classe de longueur (**Fig.15 B**) montre une distribution irrégulière des largeurs des stomates selon les classes. Les classes (25- 30) µm et (30-35) µm sont les plus représentées avec des fréquences respectives de 61% et 24 %.

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences significatives pour toutes les stations. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner fait ressortir quatre groupes ; le groupe a est constitué par la station st02, le groupe b par la station st03, le groupe c par la station st04 et le groupe d par la station 01.

c. La densité stomatique est en moyenne de 191,860 stomates/mm² ; elle est la plus dense (552,330) stomates /mm² et la moins dense (191,860) stomates/mm² au niveau de la station St 01. Le coefficient de variation est d’une valeur de 15,6%. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St04 (348,896±53,128), et la plus grande valeur est enregistrée à St03 (380,290±36,304). L’histogramme de la distribution des feuilles en classe de densité (**Fig.16**) montre une distribution irrégulière des largeurs des stomates selon les classes. Les classes (25- 30) µm et (30-35) µm sont les plus représentées avec des fréquences respectives de 61% et 24 %.

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences significatives pour toutes les couples (st01-st03), (st02-st03) et (st03-st04). Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner font ressortir deux groupes a et b. Le groupe a est constitué par les stations Sto1, St02et St04, le groupe b par la station St03.

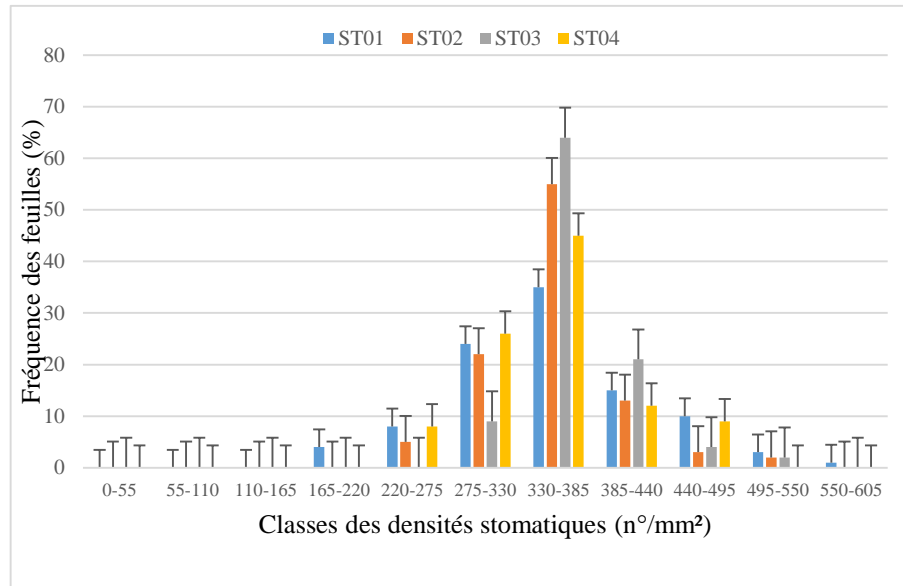


Fig.16 : Histogrammes de distribution des feuilles selon les densités stomatiques.

5. La teneur en proline libre des feuilles :

La teneur en proline libre est en moyenne de 0.350mg. La valeur maximale est de 0.564mg enregistrée à St03, et la valeur minimale est de 0.100mg enregistrée à St04. La plus petite valeur de la moyenne par station est enregistrée à St03 (0.243 ± 0.075) mg, et la plus grande valeur est enregistrée à St02 ($0,485 \pm 0,109$) mg. L’histogramme de la distribution des feuilles en classe de longueur (**Fig.17**) montre une distribution irrégulière des teneurs en proline libre selon les classes. Les classes (0,2 -0,3) mg, (0,4 – 0,5) mg et (0,5-0,6) mg sont les plus représentées avec des fréquences qui sont respectivement de 27,5%, 25% et 22,5%.

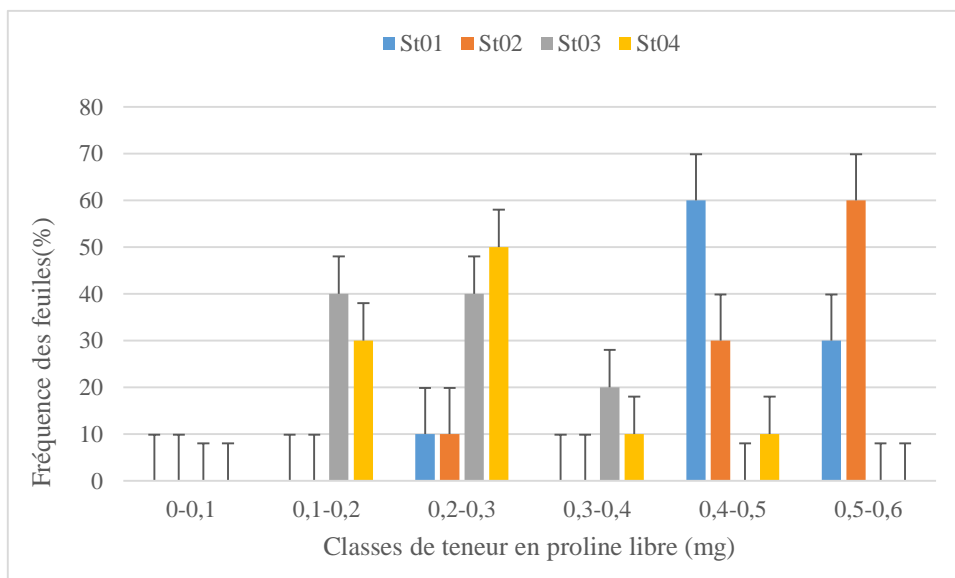


Fig.17 : Histogrammes de distribution des feuilles selon la teneur en proline libre

Les résultats du test de Kruskal – Wallis ont montré des différences significatives entre les stations suivantes : St01 et St03, St01 et St04, St02 et St03 et enfin entre les stations St02 et St04. Les comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner font

ressortir deux groupes homogènes : Le groupe a est constitué par les stations St03 et St04 ; le groupe b par les stations St01 et St02

Tab.08 : Caractéristiques des variables anatomiques, stomatiques et de la teneur en proline.

Caractères	St01	St02	St03	St04
Lcc (µm)	70,10ab ±12,144 4,666 – 81,00 (16,5%)	75,561b ±4,647 67,177 – 83,395 (5,8%)	66,839a ±7,881 54,812 – 76,833 (11,2%)	73,131ab ±11,927 57,479 – 98,708 (15,5%)
lcc (µm)	61,831ab ±14,831 41,313 – 22,021 (22,8%)	65,829b ±6,316 56,521 – 74,938 (9,1%)	54,267a ±7,017 44,708 – 65,021 (12,3%)	63,671ab ±11,251 46,5 – 82,646 (16,8%)
Ecs (µm)	5,399a ±0,967 3,375 – 13,5 (17%)	6,493a ±2,103 4,208 – 11,771 (30,7%)	6,079a ±1,159 5,063 – 9,271 (18,1%)	5,487a ±0,847 8,448 – 14,354 (14,6%)
Epsu (µm)	12,114a ±1,331 9,83 – 13,5 (10,4%)	11,773a ±1,356 9,271 – 13,521 (11%)	12,403a ±1,277 10,938 – 15,188 (9,8%)	10,973a ±1,835 8,448 – 14,354 (15,9%)
Epp (µm)	136,158b ±12,205 116,375 – 149,833 (8,5%)	128,558ab ±19,106 104,919-172,375 (14,1%)	115,648a±16,265 90,271 –145,771 (16,265%)	127,377ab±13,029 104,729-143,208 (9,7%)
Epl (µm)	137,313a ±14,14 112,375 – 159,521 (9,8%)	134,583a ±28,094 100,52 –186,729 (19,8%)	130,687a±18,085 109,708-154,521 (13,1%)	128,325a±15,584 102,875 – 151,5 (11,5%)
Epin(µm)	11,007a±1,891 8,438 – 15,188 (16,3%)	11,395a±1,806 7,604 – 13,521 (15%)	10,477a±1,858 8,417 – 15,271 (16,8%)	9,119a±1,686 6,75 – 11,833 (17,5%)
Ecín (µm)	4,637a±0,864 3,375 – 5,896 (17,7%)	4,94a±0,632 4,208 – 5,896 (12,1%)	5,235a±1,232 3,802 – 7,625 (22,3%)	4,517a±0,979 3,375 – 5,917 (20,6%)
Ef (µm)	306,628a±21,683 262,896 – 328,292 (6,7%)	279,9a±39,554 246,833-379,698 (12,6%)	280,53a±28,241 241,280-327,979 (9,6%)	285,798a±25,75 246,313-318,563 (8,5%)
Long stom (µm)	36,689c±4,184 24,05 – 46,752 (11,3%)	30,587a±3,182 23,256 – 38,886 (10,4%)	32,691b±6,474 17,286 – 44,58 (19,7%)	35,672c±2,45 28,664 – 42,578 (6,8%)
Larg stom (µm)	30,878d±3,595 20,2 – 39,616 (11,6%)	25,158a±2,33 19,602 – 30,678 (9,2%)	15,214 – 34,756 (19%)	29,423c±2,02 25,314 – 34,042 (6,8%)
Dens (stomates/mm²)	356,105a±75,427 191,860 – 552,326 (21,1%)	352,035a±48,695 232,558-511,628 (13,8%)	380,291b±36,304 296,512-505,814 (9,5%)	348,895a±53,129 238,372-494,186 (15,2%)
Prol (mg.g)	0,437b±0,101 0,201 – 0,556 (21,9%)	0,485b±0,109 0,2 – 0,564 (21,4%)	0,243a±0,075 0,166 – 0,386 (29,2%)	0,236a±0,117 0,1 – 0,497 (47,2%)

Note : Moyenne± écart type ; étendue, minimum – maximum ; (C.V.) : valeur du coefficient de variation ; séparation des groupes.

6. Corrélation entre les variables quantitatives mesurées pour les feuilles (Tab.07).

Des corrélations significatives sont enregistrées entre certaines variables. Entre la longueur de la feuille et les variables suivantes : la largeur de la feuille ($r = 0,395$), la longueur du rachis ($r = 0,615$), la longueur du pétiole ($r = 0,324$), l'épaisseur de l'épiderme inférieur ($r = -0,142$) et le potentiel hydrique des feuilles ($r = -0,212$).

La largeur de la feuille n'est significativement corrélée qu'à la longueur du rachis ($r = 0,209$), la longueur du pétiole ($r = 0,284$) et la longueur des stomates ($r = -0,124$).

La longueur du rachis est corrélée significativement avec la longueur du pétiole ($r = 0,128$), l'épaisseur de l'épiderme inférieur ($r = -0,151$), le potentiel hydrique des feuilles ($r = -0,227$) et la teneur en proline libre ($r = -0,133$).

La longueur des stomates est corrélée positivement et significativement à sa largeur ($r = 0,621$) et négativement et significativement au potentiel hydrique des feuilles ($r = -0,138$). Quant à la densité stomatique et le poids spécifique, ils ne sont corrélés significativement qu'à la largeur du cylindre centrale, avec des coefficients de corrélation qui sont respectivement de (0,140) et (0,126).

Une corrélation significative est enregistrée entre la longueur du cylindre centrale et les variables suivantes : l'épaisseur de la cuticule supérieure ($r = 0,211$), l'épaisseur du parenchyme palissadique ($r = 0,283$), l'épaisseur du parenchyme lacunaire ($r = 0,175$), épaisseur de l'épiderme inférieur ($r = 0,185$), l'épaisseur de la feuille ($r = 0,298$) et le potentiel hydrique des feuilles ($r = -0,135$).

L'épaisseur de la cuticule supérieure est corrélée positivement et significativement avec l'épaisseur de l'épiderme supérieur ($r = 0,176$), l'épaisseur du parenchyme palissadique ($r = 0,146$), l'épaisseur du parenchyme lacunaire ($r = 0,140$), l'épaisseur de l'épiderme inférieur ($r = 0,209$), l'épaisseur de la cuticule inférieure ($r = 0,244$) et l'épaisseur de la feuille ($r = 0,222$).

Une corrélation significative est enregistrée en l'épaisseur de l'épiderme supérieur et l'épaisseur de la feuille ($r = 0,145$) et le potentiel hydrique ($r = 0,159$).

L'épaisseur du parenchyme palissadique est corrélée positivement et significativement à l'épaisseur du parenchyme lacunaire ($r = 0,181$), l'épaisseur de la feuille ($r = 0,509$) et la teneur en proline libre ($r = 0,160$). L'épaisseur du parenchyme lacunaire quant à elle est corrélée positivement et significativement qu'à l'épaisseur de la feuille ($r = 0,671$).

En ce qui concerne l'épaisseur totale de la feuille, elle est corrélée positivement et significativement seulement à sa teneur en proline libre ($r = 0,140$).

Tab.09 : Corrélations entre les variables quantitatives mesurées pour les feuilles de *Pistacia lentiscus*.

	lf	LR	LP	Long	Larg	PS	densi	Lcc	lcc	Ecs	Epsu	Epp	Epl	Epin	Ecin	Ef	Phy	Prol
Lf	0,395***	0,615***	0,324***	-0,041	-0,018	0,019	0,040	0,009	0,022	-0,014	-0,118	0,013	-0,014	-0,142*	0,005	-0,016	-0,212***	-0,113
lf	1	0,209**	0,284***	-0,124**	-0,069	0,047	-0,024	0,002	0,120	-0,122	-0,090	-0,003	-0,067	-0,045	-0,080	-0,053	-0,068	0,013
LR		1	0,128	-0,033	-0,065	-0,120	-0,020	0,006	-0,113	0,003	-0,076	-0,003	0,034	-0,151*	0,008	-0,006	-0,227***	-0,133*
LP			1	-0,089	0,000	0,116	0,018	0,001	0,042	-0,027	-0,128	0,073	-0,037	-0,017	0,061	0,007	-0,047	0,026
Long				1	0,621***	-0,019	-0,044	-0,061	-0,096	-0,062	0,018	0,029	0,054	0,007	-0,005	0,020	-0,138*	0,064
Larg					1	0,015	-0,054	-0,117	-0,011	-0,114	0,003	0,021	0,022	0,046	0,032	0,003	-0,121	0,076
PS						1	-0,012	0,049	0,126*	0,022	-0,046	0,037	-0,091	0,068	-0,029	-0,050	0,108	0,019
densi							1	0,008	0,140*	0,023	0,032	-0,039	0,044	-0,048	-0,102	0,028	-0,034	0,041
Lcc								1	-0,004	0,211**	0,045	0,283***	0,175***	0,185	0,108	0,298***	-0,135*	0,037
lcc									1	-0,043	-0,041	-0,104	-0,023	-0,017	-0,029	-0,068	0,151*	-0,119
Ecs										1	0,176*	0,146*	0,140***	0,209	0,244***	0,222***	0,044	-0,051
Epsu											1	-0,009	0,124	-0,021	-0,048	0,145*	0,159*	-0,093
Epp												1	0,181***	0,061	-0,033	0,509***	-0,068	0,160*
Epl													1	0,057	0,052	0,671***	-0,025	0,102
Epin														1	0,428***	0,140*	0,042	0,071
Ecin															1	0,076	-0,116	-0,059
Ef																1	-0,042	0,140*
Phy																	1	-0,060
Prol																		1

Note : *, signification à $p < 0,05$; **, signification à $p < 0,01$; ***, signification à $p < 0,001$

Carte factorielle F1-F3 : (Fig.19)

L'axe F3 sépare nettement les variables densité stomatique ainsi que l'épaisseur de la cuticule inférieure des feuilles qui se situent du côté négatif de l'axe des autres variables qui se situent de son côté positif. La longueur et la largeur des stomates, le poids spécifique, l'épaisseur du parenchyme lacunaire et la densité stomatique sont les variables corrélées et ayant de fortes contributions à l'axe F-3.

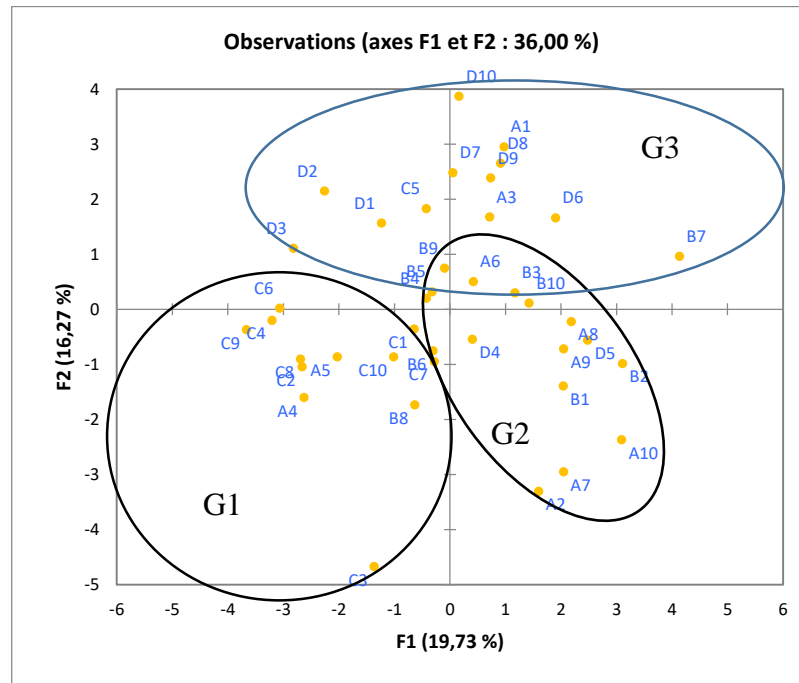


Fig.18 : Analyse en composantes principales. Plan factoriel 1-2

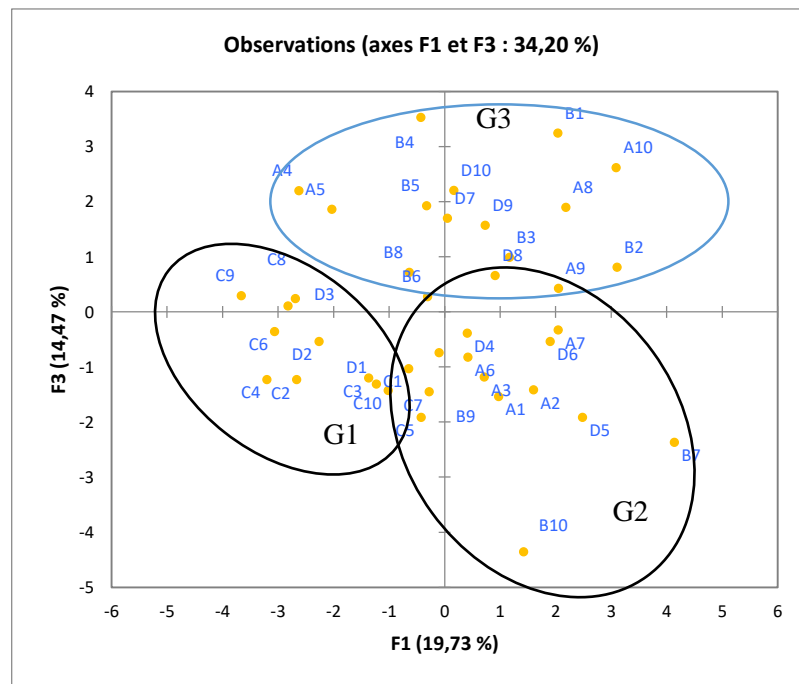


Fig.19 : Analyse en composantes principales. Plan factoriel 1-3

II. Discussion :

Le lentisque est une espèce circum- méditerranéenne occupant des milieux très contrastés. Son aire de répartition très large est expliquée par sa grande plasticité. Elle est de ce fait considérée comme l'une des espèces les plus adaptées aux conditions contrastées du milieu après *Olea europea* (Varone *et al.*, 2007)

L'analyse statistique des paramètres morphologiques montre des différences significatives entre les individus des quatre stations échantillonnées. De telles différences sont aussi recensées chez les populations de lentisque situées le long d'un gradient environnemental en Israël par Nahum *et al.*, (2008), notamment pour les variables suivantes : nombre de folioles, le volume des arbustes et le potentiel hydrique des feuilles. Néanmoins, il n'y a pas de différences significatives pour la teneur en eau des feuilles dans notre cas. La même tendance est signalée chez plusieurs populations algériennes de *P.atlantica* issues de différents bioclimats (Belhadj *et al.*,2008), selon un gradient d'aridité croissante (Ait Saïd *et al.*, 2011) et un gradient environnemental (El Zerey- Belaskri et Benhassaini, 2015) .

Il existe des corrélations entre les paramètres morphologiques des populations israéliennes et les conditions environnementales locales, en l'occurrence, les précipitations annuelles et la température moyenne annuelle. Le nombre de jours pluvieux et les précipitations annuelles totales ont une forte influence sur la teneur en eau des plantes, leur taux de croissance annuelle et leur volume (Nahum *et al.*, 2008). Les précipitations annuelles pour les populations israéliennes ayant pour altitude entre 400 et 450 m semblent très proches des précipitations moyennes annuelles enregistrées pour notre région à 400 m d'altitude. (563,67 mm/an) pour notre région et (408 – 697) mm/an pour les régions d'Israël. Quezel et Medail, (2003) définit l'étage thermo-méditerranéen, occupé par le caroubier, l'olivier, le pin d'Alep et le lentisque, ayant pour caractéristiques, entre autres, la moyenne des minimas du mois le plus froid (m) supérieur à 3°C. C'est le cas de notre région d'étude (m= 3,54°C). Nous supposons que le potentiel hydrique des feuilles était très proche au niveau des quatre stations à cause du nombre très réduit de jours pluvieux et des apports en eau des précipitations durant cette année.

Nos résultats montrent que la station ayant la plus basse altitude (St04) a les plus grandes longueurs de feuilles, de rachis et de pétioles. Celles-ci diminuent pour atteindre les plus petites valeurs au niveau de St01, à plus haute altitude. La même tendance est signalée chez les populations de *P. atlantica* localisées dans les stations à forte altitude (Belhadj *et al.*,2008), et celles des stations les plus arides (Ait Saïd *et al.*,2011).

L'étude de trois espèces du genre *Polylepis* aux Andes tropicales issues de différentes altitudes en différentes régions a montré qu'un bon nombre de paramètres morphologiques sont influencés directement par l'altitude. La petite taille des arbres, et la taille réduite des feuilles semblent être les deux traits morphologiques de l'adaptation de ces espèces à l'altitude (Macek *et al.*, 2009). La réduction de la taille des plantes et des feuilles est le premier mécanisme d'adaptation des plantes pour maintenir l'équilibre hydrique intracellulaire. Ceci pourrait expliquer la taille de la strate végétative de la station (St01). Elle est située à la limite de la cédraie de Thala Rana. La végétation au niveau de ces milieux de montagne fait face, à la fois, à une courte saison de croissance, typique de tous les milieux de montagne en méditerranée, et à une forte pénurie d'eau en été (Giménez-Benavides *et al.*, 2006).

La réduction de la taille des feuilles pour les espèces du genre *Polylepis* au niveau des stations à haute altitude (comme c'est le cas pour St01) est expliquée par le stress occasionné par les fortes radiations en UVB et les vagues de froids en haute altitude (Macek *et al.*, 2009).

L'analyse statistique des paramètres anatomiques a montré qu'ils ne présentent pas tous des différences significatives. Cependant ceux qui diffèrent significativement sont l'épaisseur du parenchyme palissadique, l'épaisseur du parenchyme lacunaire et l'épaisseur de la feuille. Le paramètre le plus influencé par l'altitude est l'épaisseur du parenchyme lacunaire, qui croît avec l'altitude. Tandis que l'épaisseur de la feuille n'est importante qu'au niveau de la plus haute station, et elle est presque constante pour les trois autres stations.

Le poids spécifique semblerait être le meilleur marqueur d'altitude, les taux de variations les plus importants sont enregistrés aux stations St01 et St02. Nos résultats montrent que la variation par station varie entre 48,91cm²/g et 84,1 cm²/g. Gratini *et al.* (2006), dans une étude consacrée aux trois espèces sclérophylles, *Quercus ilex*, *phillyria latifolia* et *P. lentiscus* vivant dans deux milieux contrastés à la lumière, ont trouvé des résultats variant au tour de nos moyennes, *Q.ilex* (48,77cm²/g , 82,9); *P. latifolia* (43,7cm²/g , 614cm²/g) et *P. lentiscus* (46,5cm²/g , 61,4cm²/g). De Lima Vieira *et al.* (2014) chez quatre espèces pour les stades jeunes et adultes, ont rapporté des résultats qui s'éloignent de nos moyennes (113,02 à 393,24 cm²/g pour les quatre espèces). C'est aussi le cas des résultats rapportés par Yang *et al.* (2008) lors d'une étude consacrée à l'espèce *Hippophae rhamnoides*. (106,41 à 150,85 cm²/g).

Yang *et al.* (2008) rapportent les mêmes résultats quant à la taille et l'épaisseur des feuilles pour la population de haute altitude. De plus, le poids spécifique des feuilles est inversement proportionnel à l'altitude. Pour les mêmes auteurs, la réduction de la taille des feuilles de leur épaisseur ainsi que de leur poids spécifique est la conséquence de l'acclimatation de l'espèce aux radiations Ultra-violettes B (UVB) et au Na. Dans notre cas, nos résultats ont les mêmes tendances pour les stations à altitude décroissante, exception faite pour la station St03. Pour plusieurs paramètres, cette station ne suit pas la variation des trois autres stations. Nous supposons que ceci est dû à la forte pente et à l'exposition sud qui la caractérisent.

Les résultats de l'analyse statistiques révèlent des différences significatives pour les variables stomatiques notamment, la longueur, la largeur et la densité des stomatique entre les quatre stations étudiées. La longueur moyenne des stomates est de 33,910 µm, et la largeur moyenne est de 25,148 µm. La densité quant à elle est de 380,555stomates/mm². Nos résultats sont proches de ceux obtenus par d'autres auteurs, notamment par Gratini *et al.* (2006). Ces derniers notent des valeurs moyennes de densité stomatique chez *P.lentiscus* de l'ordre de 291- 317 stom.mm² ,des moyennes inférieures pour *P. latifolia* (259 stom.mm², et 207 stom.mm²) et supérieures pour *Q.ilex* (459 stom.mm², et 331 stom.mm²).

La densité stomatique est en fonction à la fois du nombre de stomates et de la taille des cellules épidermiques. Elle est reliée à la capacité de la plante à vivre sous conditions stressantes (Stenglein *et al.*, 2005). Ainsi, la densité stomatique est affectée à la fois par l'initiation du développement des stomates et l'expansion des cellules épidermiques, et cette expansion est dépendante de nombreuses variables telles que l'humidité, l'irradiance, l'altitude, la température (Royer, 2001). La fermeture des stomates est induite par le stress causé par la sécheresse, pour réduire la transpiration des feuilles et empêcher des déficits hydriques excessifs dans les tissus. La diminution des échanges gazeux suite aux fermetures stomatiques induit un excès d'énergie au niveau des chloroplastes qui ne peut être dissipé, et qui sera utilisé pour la production d'espèces réactives oxygène (ROS) en concentration (Yang *et al.*, 2009). La plasticité d'un organisme à ajuster ses performances en modifiant sa morphologie et/ ou sa physiologie en réponse à des conditions environnementales hétérogènes (Gratini *et Al.*, 2006). Il semblerait que *P. lentiscus* peut ajuster sa morphologie et certains de ses caractères anatomiques en réponses aux conditions variantes avec l'altitude.

Nos résultats montrent une accumulation de la proline au niveau des feuilles. Cependant, cette accumulation n'est importante qu'au niveau des deux stations St01 et St02 à plus hautes altitudes, avec un pic au niveau de St02. Par ailleurs, cette teneur est corrélée positivement à l'épaisseur de feuille ($r = 0,14$) et l'épaisseur du parenchyme palissadique ($r = 0,160$) ; et négativement avec la longueur du rachis ($r = -0,133$). L'analyse statistique montre une différence significative intra-individuelle. Celles-ci sont regroupées en deux groupes selon l'altitude, les plus basses en premier groupe (st04 et st03) et les plus hautes dans le second groupe.

L'accumulation de la proline est une réponse au stress environnemental chez plusieurs espèces. Généralement, elle est considérée comme un métabolite à fonction protectrice, mais sous certaines conditions, elle peut être néfaste pour les plantes et peut inhiber la croissance et la division cellulaire. Des études ont permis de mettre en évidence ses fonctions dans l'adaptation au stress. La compartimentation de la biosynthèse et de la dégradation de la proline dans le chloroplaste, le cytosol et les mitochondries s'ajoute à la diversification fonctionnelle du métabolisme de la proline. La stabilisation des protéines et des complexes protéiques au niveau du chloroplaste et du cytosol, la protection de l'appareil photosynthétique et des enzymes impliquées dans la désintoxication des ROS sont des fonctions importantes de l'accumulation de la proline face au stress (Szabados et Savaure, 2009). Il est possible que l'écart d'altitude entre les quatre stations ne soit pas important pour que l'accumulation de la proline ne soit assez expressive. Nous supposons également l'existence d'autres voies de système antioxydants ou la synthèse d'autres osmolytes tel que l'arginine, ou génétiques comme stratégie développée par *P. lentiscus*, qui soient privilégiées et en concurrence à la proline comme c'est le cas chez d'autres espèces telles *Conocarpus lancifolius* (Redha *et al.*, 2012).

L'analyse en composantes principales (ACP) met en évidence des groupes d'individus séparés mais qui ne reflètent pas totalement la distribution spatiale et géographique des individus. Sur le plan 1x2 nous a permis de séparer entre eux trois groupes bien distincts. G1 regroupant 09 individus de st03, G2 regroupant 06 individus de St01 et 07 individus de St02 et G3 regroupant 08 individus de St04. Sur le plan 1x3, trois groupes d'individus sont mis en évidence. G1 regroupant tous les individus de St03, 4 individus de St04 ; G2 regroupant 4 individus de St01 et 3 individus de chacune des stations St02 et St04 ; G3 regroupant 7 individus de St 02, 4 individus de chacune des stations St01 et St04.

Conclusion

Conclusion

L'étude de la variabilité de la morphologie, de la densité et des dimensions stomatiques, de l'anatomie et de l'accumulation de la proline libre des feuilles de *Pistacia lentiscus* au niveau de quatre stations choisies le long d'un gradient d'altitude croissante, semble montrer des différences pour certains caractères.

Les paramètres de la biométrie foliaire, les dimensions du cylindre centrale et des stomates, l'épaisseur des parenchymes palissadique et lacunaire, et le poids spécifique de la feuille sont les caractéristiques les plus discriminantes. La station St01 se distingue particulièrement par la taille réduite des feuilles, et la plus grande épaisseur des folioles. Les paramètres morphologiques sont développés en réponse aux facteurs climatiques. Les adaptations de *Pistacia lentiscus* aux conditions environnementales hétérogènes dues à l'altitude s'expliqueraient grâce à sa plasticité morphologique et anatomique.

Le premier trait fonctionnel privilégié par l'espèce à haute altitude, est généralement, la taille réduite des arbres et des feuilles pour maintenir l'équilibre à l'intérieur des feuilles. L'augmentation de l'épaisseur du parenchyme lacunaire et l'épaisseur des feuilles semble être un autre trait fonctionnel par lequel l'espèce s'adapte.

Cependant, l'accumulation de la proline des feuilles semble augmenter avec l'altitude, mais nous supposons que la plante peut avoir recours à d'autres voies de biosynthèse concurrentielles et d'autres mécanismes adaptatifs.

Pour compléter et affiner ce travail, il serait souhaitable :

- De doser les chlorophylles, les métabolites secondaires et d'autres osmolytes pour mieux appréhender l'effet de l'altitude sur le comportement et le métabolisme chez cette espèce
- D'augmenter les amplitudes d'altitude entre les sites d'échantillonnage, et d'échantillonner dans les sites en plus basse altitude.

Références bibliographiques :

- Ahmadi, H., Aouinti, F., Wathelet, J.P. and Elbachiri, A., 2009.** Chemical composition of the essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from Eastern Morocco. *Rec. Nat. Prod.* 3 :2 :90-95
- Ait Said, S., Derridj, A., Verlaque, R., Fernandez, C., Gauquelin, T., and Mevy, J.P., 2009.** Effects of aridity on foliar characteristics of two dioecious species from Algeria: *Pistacia lentiscus* L. and *Pistacia atlantica* Desf. V International Symposium on Pistachios & Almonds Sanliurfa, Turkey, October 06-10 2009.
- Ait saidi, I. et Saidani, F., 2016.** Contribution à l'étude de l'effet de la contrainte saline sur deux espèces d'*Hedysarum* (*H. flexuosum* et *H. coronarium*) au stade pleine croissance. Mémoire de Master. UMMTO. P.42
- Alvarez, R., Encina, A., Hidalgo, N.P., 2008.** *Pistacia terebenthus* L. leaflets : an anatomical study. *Pl Syst Evol* 272 :107-118
- Alyafi, J., 1979.** Approche systématique et écologie du genre *Pistacia* L. dans la région Méditerranéenne. Thèse de Docteur de 3^{ème} Cycle. Faculté des Sciences et Techniques. St Jérôme, Marseille P.
- Balan, K. V., Prince, J., Han, Z., Dimas, K., Cladaras, M., Wyche, J.H., Sitaras, P., Pantazis, P. 2007.** Antiproliferative activity and induction of apoptosis in human colon cancer cells treated *in vitro* with constituents of a product derived from *Pistacia lentiscus* L. Var. chia. *Phytomedicine* 14 : 263-272.
- Barazani, O., Dudal, N., Golan-Goldhirsh, A. 2003.** Comparison of Mediterranean *Pistacia lentiscus* genotypes random amplified polymorphic DNA, chemical, and morphological analyses. *J. of Chemical Ecology*. Vol. 29. N° 8.
- Barra, A., Coroneo, V., Dessi, S., Cabras, P., and Angioni, A., 2007.** Characterization of the volatile constituents in the essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from different origins and its antifungal and antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* 55, 7093-7098.
- Belhadj, S., Derridj, A., Aigouy, T., Gers, C., Gauquelin, T., and Mevy, J.P., 2007.** Comparative morphology of leaf epidermis in eight populations of Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf., Anacardiaceae). *Microsc. Res. Tech.* 70, 837-846.
- Belhadj, S., Derridj, A., Auda, Y., Gers, C., and Gauquelin, T., 2008.** Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. *Can. J. Bot./Rev. Can. Bot.* 86, 520-532.
- Benhassaini, H., Bendahmane, M., Benchalgo, N., 2007.** The chemical composition of fruits of *Pistacia atlantica* Desf. SUBSP. *atlantica* From Algeria. *Chemistry of natural compounds*. Vol 43, N°2 :121-124
- Castro-Diez, P., and Montserrat Marti, G., 1998.** Phenological pattern of fifteen Mediterranean phanerophytes from *Quercus ilex* communities of NE-Spain. *Plant Ecology* 139, 103-112.

- Castro-Diez, P., Villar-Salvador, P., Perez-Rontome, C., Maestro-Martinez, M., and Montserrat Marti, G., 1998.** Leaf morphology, leaf chemical composition and stem xylem characteristics in two *Pistacia* (Anacardiaceae) species along a climatic gradient. *Flora* 193, 195-202.
- Charef, M., Yousfi, M., Saidi, M., and Stocker, P., 2008.** Determination of the fatty acid composition of acorn (*Quercus*), *Pistacia lentiscus* seeds growing in Algeria. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 85, 921-924.
- De lima Vieira, W., Boeger, M-R-T., Cosmo, N-L. and Coan, A-I., 2014.** Leaf morphological plasticity of tree species from two developmental stages in Araucaria Forest. *Brazilian Archives of biology and technology.* 54, n°04 : 476-485
- Dosek, A., Ohno, H., Acs Z., Taylor, A. W., Radak, Z. 2007.** High altitude and oxidative stress. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 158 : 128-131.
- Fayos, P.G., Verdù, M. 1998.** Soil seed bank, factors controlling germination and establishment of a Mediterranean shrub : *Pistacia lentiscus* L. *Acta oecologia* 19(4) : 357-366/Elsevier, Paris.
- Fellak, I. 2002.** Monographie et composition des huiles essentielles ches *Pistacia lentiscus* : approche bibliographique. Rapport de stage. Uni. Aix- Marseille -1, Labo. Dynamique et ressources du végétal. 9 P.
- Fermández, A., Camacho, A., Fermández, C., Altarejos, J., 2000.** Composition of the essential oils from galls and aerial parts of *Pistacia lentiscus* L. *J. Essent. Oil Res.*, 12, 19-23.
- Filella, I., Llusia, J., Piñol, J., Peñuelas, J., 1998.** Leaf gas exchange and fluorescence of *Phyllyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus* L. and *Quercus ilex* in sapling in severe drought and high temperature conditions. *Environmental and Experimental Botany* 39 : 213-220.
- Flexas, J., Gulías J., Jonasson, S., Medrano, H., Mus, M. 2000.** Seasonal patterns and control of gas exchange in local populations of the Mediterranean evergreen shrub *Pistacia lentiscus* L. *Acta Oecologica* 22 : 33-43.
- Grundwag, M., 1976.** Embryology and fruit development in four species of *Pistacia* L. (Anacardiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 73 :355-370.
- Hlwatika, C. N. M., Bhat, B. 2002.** An ecological interpretation of the difference in leaf anatomy and its plasticity in contrasting tree species in orange kloof, table mountain, South Africa. *Annals of Botany* 89 : 109-114.
- Kafkas, S., Perl- Treves, R., Kaska, N. 2000.** Unusual *Pistacia lentiscus* Desf. (Anacardiaceae) Monoecious sex type in the yunt mountains of the Manisa province of Turkey. *Israel J. of Plant Sciences.* Vol. 48 : 277-280.
- Kafkas, S., Treves, R. P. 2002.** Interspecific relationships in *Pistacia* based on RAPD fingerprinting. *hortScience* 37(1) : 168-171.

- Kakani V. G., Reddy K. R., Zhao D., Mohammed A. R. 2003.** Effects of ultra-violet-B radiation on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) : Morphology and anatomy. *Annals of Botany* 91 : 8117-826.
- Karimi, H.R., Kafkas, S., 2011.** Genetic relationships among *Pistacia* species studied by SAMPL markers. *Plant Syst Evol* 297 :207–212.
- Kozhoridze, G., Orlovsky, N., Orlovsky, L., Blumberg, Dan G., and Golan-Goldhirsh, A. 2015.** Geographic distribution and migration pathways of *Pistacia* – present, past and future. *Ecography* 38: 1141–1154
- Lukovic, J., Maksimovic, I., Zoric, L., Nagl, N., Percic, M., Polic, D., and Putnik-Delic, M., 2009.** Histological characteristics of sugar beet leaves potentially linked to drought tolerance. *Ind.Crop. Prod.* 30, 281-286.
- Macek, P., Mackova, J., and De Bello, F., 2009.** Morphological and ecophysiological traits shaping altitudinal distribution of three *Polylepis* treeline species in the dry tropical Andes. *Acta Oecol.* 35, 778-785.
- Mecherara-Idjeri, S., Hassani, A., Castola, V., and Casanova, J., 2008.** Composition and Chemical Variability of the Essential oil from *Pistacia lentiscus* L. Growing Wild in Algeria Part: Leaf Oil. *J. Essent. Oil Res.* 20, 32-38.
- Meddour, R., Meddour-Sahar, O., Derridj, A., Géhu, J.M., 2010.** Synopsis commenté des groupements végétaux forestiers et préforestiers de la Kabylie djurdjuréenne (Algérie). *Rev. For. Fr.* LXII - 3-4.
- Milla R., Blasco S. P., Martinez M. M., Marti G.M. 2005.** Phosphorus accretion in old leaves of a Mediterranean shrub growing at phosphorus- rich site. *Plant and Soil* 280 :369-372.
- Milla, R., Castro-Diez, P., Maestro-Martinez, M. and Montserrat-Marti, G., 2006a.** Costs of reproduction as related to the timing of phenological phases in the dioecious shrub *Pistacia lentiscus* L. *Plant Biol.* 8, 103-111.
- Munné-Bosch, S., Peñuelas, J., 2003.** Photo- and antioxidative protection during summer leaf senescence in *Pistacia lentiscus* L.grown under Mediterranean field conditions. *Annals of Botany* 92 : 385-391.
- Nahum, S., Inbar, M., Néeman, G., and Ben-Shlomo, R., 2008.** Phenotypic plasticity and gene diversity in *Pistacia lentiscus* L. along environmental gradients in Israel. *Tree Genetics & Genomes* 4, 777-785.
- Placio S., Milla R., Marti G.M. 2005.** A phenological hypothesis on the thermophilous distribution of *Pistacia lentiscus* L. *Flora* 200 : 527-534.
- Quézel, P., Santa, S., 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris , CNRS éd. Tome II, 1962, pp. 1169.

Quézel, P., et Médail, F., 2003. Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen, Elsevier Edition. 571 pp.

Redha, A., Al-Mansor, N. Suleman, P., Al-Hasan, R., Afzal, M., 2012: Modulation of antioxidant defenses in *Conocarpus lancifolius* under variable abiotic stress. *Biochemical Systematics and Ecology* 43 :80–86

Stenglein, S.A., Arambarri A.M. , Sevillano, M.C.M., Balatti, P.A.,2005. Leaf epidermal characters related with plant's passive resistance to pathogens vary among accessions of wild beans *Phaseolus vulgaris* var. aborigineus (Leguminosae–Phaseoleae). *Flora* 200 :285-295

Filella, I., Llusia, J. , Pin˜ol, J., Pen˜uelas, J.,1997. Leaf gas exchange and fluorescence of *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus* and *Quercus ilex* saplings in severe drought and high temperature conditions. *Environmental and Experimental Botany* 39 213–220g

Tattini M., Remorini D., Pinelli P., Agati G., Saracini E. 2006. Morpho- anatomical, physiological and biochemical adjustments in response to root zone salinity stress and high solar radiation in two Mediterranean evergreen shrubs, *Myrtus Communis* and *Pistacia lentiscus*. *New Phytologist*. DOI : 10.1111/j. 1469-8137.2006.01723. x.

Tattini, M., and Traversi, M.L., 2008. Responses to changes in Ca²⁺ supply in two Mediterranean evergreens, *Phillyrea latifolia* and *Pistacia lentiscus*, during salinity stress and subsequent relief. *Annals of Botany* 102, 609-622.

Trubat, R., Cortina, J., Vilagrosa, A.,2006. Plant morphology and root hydraulics are altered by nutrient deficiency in *Pistacia lentiscus* (L.). *Trees* 20 :334-339.

Varone L., Gratani L. 2007. Physiological response of eight Mediterranean maqui species to low air temperature during winter. *Photosynthetica* 45(3) : 385-391.

Verdū, M., and Garcia-Fayos, P., 1998. Ecological causes, function, and evolution of abortion and parthenocarpy in *Pistacia lentiscus* (Anacardiaceae). *Can. J. Bot.* 76, 134-141.

Verdū, M., and Garcia-Fayos, P., 2002. Reproductive ecology of *Pistacia lentiscus* L. (Anacardiaceae): an evolutionary anachronism in the Mediterranean shrubland. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 75, 57-65.

Yang Y., Yao Y., He H. 2008. Influence of ambient and enhanced ultraviolet- B radiation on the plant growth and physiological properties in two contrasting populations of *Hippophae rhamnoides*. *J. Plant Res.* 121 :377-385.

Yang Y., Yao Y., He H. 2009. Influence of ambient and enhanced ultraviolet- B radiation on the plant growth and physiological properties in two contrasting populations of *Hippophae rhamnoides*. *J. Plant Res.* 121 :377-385

Yin C., Pang X., and Lei Y., 2009. *Populus* from High altitude has more efficient protective mechanisms under water stress than from low-altitude habitats : a study in greenhouse for cutting

Zirira S., Elamrani A., Benjilali B. 2003. Chemical composition of essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from Morocco – a seasonal variation. *Flavour Fragr. J.* 18 : 475-480

Résumé :

Pistacia lentiscus est une espèce de moyenne altitude. Pour rechercher la variabilité de la morphologie, de la densité et des dimensions stomatiques, de l'anatomie et de l'accumulation de la proline libre des feuilles ainsi que de leur potentiel hydrique, une étude est menée au niveau de quatre stations choisies le long d'un gradient altitudinal au niveau du versant sud du Djurdjura.

Nos résultats montrent que le premier trait fonctionnel privilégié par l'espèce à haute altitude, est généralement, la taille réduite des arbres et des feuilles pour maintenir l'équilibre à l'intérieur des feuilles. L'augmentation de l'épaisseur du parenchyme lacunaire et l'épaisseur des feuilles semble être un autre trait fonctionnel par lequel l'espèce s'adapte. Cette adaptation s'explique par la plasticité phénotypique et anatomique de cette espèce. Les résultats de l'accumulation de la proline libre des feuilles augmentent avec l'altitude.

Mots clefs : *Pistacia lentiscus*; stomates; variabilité morpho-anatomique; proline libre ; Djurdjura.