

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Réf :.....

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire préparé En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

- Filière : Ecologie et environnement

- Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Thème :

**EVALUATION DE LA VARIATION DE LA SURFACE
FOLIAIRE SPECIFIQUE SLA SELON LES CONDITIONS
ECOLOGIQUES.**

Présenté par :

Ayadi Narimene

Bouchatah Malak

Devant le jury :

Président : BOUZEGAG Abdelaziz

(MCB) Centre universitaire de Mila

Examineur : SEMARA Lounis

(MAA) Centre universitaire de Mila

Promoteur : TABET Slimane

(MAA) Centre universitaire de Mila

Année Universitaire : 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Handwritten Arabic calligraphy in a highly stylized, bold, and decorative script. The text is arranged in a roughly circular or oval shape, with the words "Bismillah" (In the name of Allah, the Most Gracious, the Most Merciful) clearly visible. The calligraphy features thick, black strokes and is surrounded by smaller, more delicate script elements, possibly indicating the artist's signature or a specific style.

Remerciement

Au début, on souhaite adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

On tient à remercier tout particulièrement notre encadrant

Dr. Tabet Slimane pour nous avoir suivis et conseillés tout au long de la réalisation de ce mémoire.

On tient à remercier, DR. Arar Abdelkrim pour leurs aides, leurs conseils, les renseignements, la documentation et le soutien qu'ils n'ont pas hésité à m'apporter, pour me permettre de maintenir la bonne démarche du stage pratique dans la wilaya de Batna.

On tient à remercier aussi, la direction de Parc National Belezma pour leur coopération avec nous et pour leur aidés par les informations utiles pour nous.

Nos vifs remerciements vont aux membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de notre famille, surtout nos parents qu'ils nous ont toujours encouragé moralement et matériellement et à qui on tient à les remercier.

Enfin on tient à exprimer vivement nos remerciements avec une profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

Merci à tous

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

A ma très chère mère Badia

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père Tahar

A ce bel homme qui a toujours été, et restera toujours mon exemple et mon idole, à mon super-héros qui a sacrifié tous ce qu'il pouvait pour nous voir heureux, je te remercie pour les valeurs nobles et pour ton éducation.

A mon cher frère Yahia, en signe d'amour et de la gratitude pour le dévouement et les sacrifices qu'il a toujours consentis envers moi.

Et à mon frère Younes et ma chère sœur Mimi qui n'ont cessé de me soutenir.

A ma chère binôme , Nina et sa famille (Oncle Tahar, Tante Saida et Mohammed).

A mon cher oncle Samir et sa femme Ratiba.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

Malak

Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui : Particulièrement à mon père Tahar pour le goût à l'effort qu'il a suscité en moi, de par sa rigueur.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman Saida que j'adore.

A mon petit cher frère Mohamed.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et sœurs de cœur : Zina, Hiba, Chaima, Samer, Manar, Oumaima et Nourhane.

A ma chère binôme : Malak

A ma chère Tante Badia et cher oncle Tahar et la petite Mimi

Un dedicac special à mes chères Docteurs : Dr. Mehdi Elaicher, Dr. Laala Sami, Dr. Bouzegeg Abdelaziz, Dr. Brahmia Abd Elhafid, Dr. Djedi Hamssa, Dr. Boukaria Hassiba et Mrs. Boudjajoua Sihem pour leur soutien et aides et conseils dans mon parcours universitaire, et toute la appréciation pour leurs efforts et leur travail acharné. Je ne peux que vous remercier d'être les meilleurs professeurs de notre université.

Nina

Résumé

Les espèces forestières sont menacées par les changements climatiques à l'échelle mondiale. Les traits fonctionnels sont considérés comme des mesures morphologiques et physiologiques d'attributs qui affectent significativement l'ensemble des performances de la plante, et donc, a priori, les principales composantes : la survie, la croissance et la reproduction. La présente étude a visé la compréhension de l'influence des conditions écologiques abiotiques, à savoir ; conditions climatiques, conditions édaphiques et conditions liées à la topographie, sur deux indicateurs du bien-être du végétal et leurs variations spatiales de l'aire foliaire Spécifique SLA et le rapport entre poids sec divisé par le poids frais Ps/Pf . La corrélation statistique entre les indices a justifié la forte sensibilité des espèces aux variations spatiales des facteurs environnementaux.

المخلص

الأنواع الغابية مهددة بسبب التغيرات المناخية العالمية. تعتبر السمات الوظيفية معايير مورفولوجية وفسولوجية و التي تؤثر بشكل كبير على الأداء العام للنبات، وبالتالي، المكونات الرئيسية: البقاء والنمو والتكاثر. هذه الدراسة تهدف إلى فهم تأثير الظروف البيئية للأحيائية؛ الظروف المناخية، الظروف التكوينية والظروف المرتبطة بالطوبوغرافيا، على أساس مؤشرين للحالة الجيدة للنبات وتباينهما المكاني لمنطقة الورقة المحددة SLA والنسبة بين الوزن الجاف مقسومًا على الوزن الكتل الحية PS / Pf . العلاقة الاحصائية بين المؤشرات يبرر الحساسية العالية للأنواع للتغير المكاني للعوامل البيئية.

Abstract

Forest species are menaced by global climate change. Functional traits are considered as morphological and physiological measures of attributes that significantly affect the overall of the plant; the main components: survival, growth and reproduction. This study aims to understand the effect of abiotic ecological conditions ; climatic conditions, edaphic conditions and conditions linked to the topography, on two indicators of the well-being of the plant and their spatial variation of the Specific lead area SLA and the ratio between dry weight divided by the fresh weight Ps / Pf . The statistical correlations between the indices justify the high sensitivity of species to the spatial variation of environmental factors.

Sommaire

Résumé	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	

Chapitre I ‘‘ Recherche bibliographique’’

Partie 1 ‘‘Les stress environnementaux’’

1. L’eau dans la plante.....	5
1.1. Sécheresse de la plante	5
2. Notion de stress	5
2.1. Différents types de stress	6
2.1.1. Stress biotique chez les plantes	6
2.1.2. Stress abiotique chez les plantes	6
2.1.3. Stress hydrique.....	7
2.1.3.1. Définition	7
2.1.3.2. L’état hydrique de la plante.....	7
2.1.3.3. Les indicateurs du stress hydrique	8
2.1.3.3.1. Adaptation phénologique	8
2.1.3.3.2. Adaptations morphologiques.....	9
2.1.3.3.3. Adaptation physiologique	9
2.1.3.3.4. Adaptation biochimique.....	12
2.1.3.4. Effet de stress hydrique sur la plante	13
2.1.3.4.1. Effet de stress sur les paramètres morphologiques.....	13
a) Au niveau cellulaire	13
2.1.3.4.2. Effet du stress hydrique sur la production	14
2.1.3.4.3. Effet de stress hydrique sur le rendement	15
2.1.3.4.4. Effet de stress hydrique sur les paramètres physiologiques.....	15
a) Régulations stomatiques	15
b) Photosynthèses	15
2.1.3.4.5. Effet de stress hydrique sur les paramètres biochimiques	16
a) Accumulation de proline.....	16
b) Acide Abscissique	16
c) Sources solubles	16

2.1.3.5. Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique :	17
2.1.3.5.1. La stratégie d'esquive	17
2.1.3.5.2. La stratégie d'évitement.....	17
d) Mécanismes morphologiques	17
e) Mécanismes physiologiques :.....	18
2.1.3.5.3. La stratégie de tolérance	18
a) L'Accumulation des sucres solubles.....	19
b) La teneur en chlorophylle.....	19
2.1.4. Stress salin	20
2.1.4.1. Influence du stress salin	20
2.1.4.2. Effets de la salinité sur la plante	21
2.1.5. Stress thermique	23
2.1.5.1. Stress thermique (chaleur).....	23
2.1.5.2. Stress thermique (froid)	24
2.1.6. Le stress nutritif	25
2.1.7. Le stress photo -oxydatif :.....	25

Partie2 ‘ ‘ Traits Fonctionnels Foliaires ‘ ‘

1. Traits fonctionnels foliaires	27
1.1. Les traits écologiques	27
1.2. Intérêts de cette approche	27
1.3. Traits fonctionnels	27
1.3.1. La surface foliaire spécifique.....	27
1.3.1.1. Définitions.....	27
1.3.1.1.1. La matière organique	27
a) La teneur en matière sèche	28
b) La matière organique fraîche.....	28
1.3.1.1.2. La surface foliaire	28
1.3.1.1.3. La densité des stomates.....	28
1.3.1.1.4. La densité stomatique et la surface foliaire.....	28
1.3.1.1.5. La surface foliaire spécifique	29
a) L'intérêt de mesure la surface foliaire spécifique	29
b) Les corrélations de la surface foliaire spécifique	29
c) Les facteurs de variations de la surface foliaire spécifique.....	30
d) Inconvénients de surface foliaire spécifique	31

Partie 3 ‘ Modèle biologique ‘

1. Modèle biologique « chêne vert »	33
1.1. Taxonomie de l'espèce	33
1.2. Description de chêne vert	33
1.2.1. Appareil végétatif.....	34
1.2.1.1. Système racinaire :.....	34
1.2.1.2. Le bois :.....	34
1.2.1.3. Les feuilles :	34
1.2.2. Appareil reproducteur.....	34
1.2.2.1. Les fleurs :.....	34
1.2.2.2. Les fruits :	34
1.3. Répartition géographique de chêne vert	35
1.3.1. Répartition mondiale	35
1.3.2. Répartition de chêne vert dans la méditerrané	36
1.3.3. Répartition en Algérie	37
1.4. Ecologie du chêne vert	38
1.4.1. Substrat	38
1.4.2. Climat	39
1.4.3. Altitude	39
1.5. Cortège floristique du chêne vert	39
1.6. Le peuplement de chêne vert	40
1.6.1. Les futaies	40
1.6.2. Les taillis.....	40
1.6.3. Des peuplements mélanges :.....	40
1.7. Contraintes de croissance	40
1.7.1. Contraintes abiotiques	40
1.7.1.1. Incendie.....	40
1.7.1.2. Surexploitation (bois de chauffage).....	41
1.7.1.3. Défrichage et pastoralisme	41
1.7.1.4. Les pâturages.....	41
1.7.2. Contraintes Biotiques	41
1.7.2.1. Insectes.....	41
1.7.2.2. Champignons.....	42
1.7.2.3. Cuscute.....	42
1.7.2.4. Les maladies	42

1.7.2.5. Les déprédateurs	42
1.8. Importance du chêne vert.....	43

Chapitre II ‘ ‘ Matériel et méthodes ‘ ‘

1. Présentation de la zone d'étude.....	45
1.1. Le Parc National Belezma de Batna.....	45
1.1.1. Aperçu Historique sur Parc National de Belezma.....	45
1.1.1 Localisation géographique	46
1.1.2. Caractéristiques de Parc National Belezma	47
1.1.2.1. Géologie	47
1.1.2.2. Pédologie.....	48
1.1.2.3. Relief.....	48
1.1.2.3.1. Altitude	48
1.1.2.3.2. La pente.....	48
1.1.2.3.3. L'exposition	49
1.1.2.4. Hydrologie.....	49
1.1.2.5. Le climat.....	50
1.1.2.6. La précipitation.....	50
1.1.2.7. La température.....	51
1.1.2.8. Autres facteurs climatiques	51
1.1.2.8.1. Le vent	51
1.1.2.8.2. L'humidité.....	51
1.1.2.9. La flore de Parc National de Belezma	51
1.1.2.10. Importance de Parc National de Belezma.....	52
1.1.3. La stratégie de développement de Parc National de Belezma	53
2. Méthodologie	54
2.1. Description des données environnementale utilisée :.....	55
2.1.1. Variables édaphiques.....	55
2.1.2. Variables climatiques :	56
2.1.3 Variables liées à la topographie.....	57
2.2. Capacité en eau disponible du sol	58
2.2.1. Méthodologie de calcule du Bilan hydrique du sol.....	58
2.2.2. Le model du Bilan hydrique du sol.....	58
2.2.3. Évapotranspiration	59
2.2.4. Réserve utile réelle du sol RUR.....	61

Chapitre III ‘‘ Résultats et discussion ‘

1. Résultats.....	63
1.1. La corrélation des variables environnementales	63
1.2. Analyse des données groupement des espèces selon leurs présence dans les site d'échantillonnage.....	71
1.3. Analyse des données environnementales.....	72
1.3.1. Analyse des composantes principales des facteurs environnementales	72
2- Discussion.....	75

Conclusion

Références bibliographiques

Liste des figures

Fig 1: Répartition du chêne vert dans le climagramme d'Emberger.

Fig 2: Le Parc National de Belezma, Batna

Fig 3: Les massifs de Parc National de Belezma

Fig 4 : Localisation géographique de Parc National de Belezma (Batna, Nord-est Algérie)

Fig 5: Les limites des 3 bassins versants (BV) traversant le PNB (N° 05 : Chott El Hodna ; N 06 : Chott Melghir ; N° 07 : les hauts plateaux Constantinois).

Fig 6: Schéma représentant la réserve utile en eau du sol.

Fig 7: Carte thermique montrant la matrice de corrélation entre les 50 variables environnementales utilisées.

Fig 8 : Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique des individus.

Fig 9: schéma représentatif de la classification Ascendante hiérarchique des points d'échantillonnages selon les conditions environnementales

Fig 10: schéma représentatif de la classification ascendante hiérarchique des points d'échantillonnages.

Liste des tableaux

Tableau 1: La classification de chêne vert selon Tropicos.

Tableau 2: La superficie de chêne vert dans la méditerrané.

Tableau 3: La répartition des terres par classe de pente par rapport à la superficie totale.

Tableau 4: Corrélation du rapport poids sec / poids frais et SLA avec les variables édaphiques

Tableau 5: Corrélation du rapport poids sec / poids frais et SLA avec les variables édaphiques

Tableau 6 : Corrélations du rapport poids sec / poids frais et SLA avec les variable climatique

Tableau 7: Corrélation du Ps/Pf et SLA avec les variables liés à la topographie

Tableau 8: la fréquence du taux de recouvrement des espèces

Liste des abréviations

ABA: Acide Abscissique.

AOS: Aérosols organique secondaires.

CC: La différence entre la teneur en eau du sol au champ.

ETP (m): L'évapotranspiration Moyenne mu mois.

H.P.A: Haut pression atmosphérique.

MO: Matière Organique.

PNB: Parc National Belezema.

PF: Point de Flétrissement.

RUM: Réserve Utile Maximale du sol.

RUR: Réserve Utile Réelle.

ROS: Les espèces réactives d'oxygène.

TRE: Teneur Relative en Eau.

SSF: Surface Foliaire Spécifique.

SI: System International.

SLA: Specific Leaf Area.

Introduction

Le climat futur prévues par le GIEC, sera marquée par une augmentation considérable des phénomènes extrêmes tels que l'irrégularité des précipitations, les canicules et la sécheresse (Seneviratne *et al.*, 2012; Stocker *et al.*, 2013), altérant ainsi les cycles biogéochimiques qui conduisent à des modifications de la structure, le fonctionnement des communautés biotiques et qui peuvent avoir des répercussions au niveau des individus et des populations Etterson et Mazer, (2016) et au niveau de l'écosystème Urban *et al.*, 2016; Pecl *et al.*, (2017). Cela affecterait les réponses écophysiological et les performances de régénération des espèces (Soto *et al.*, 2007).

Les espèces forestières sont menacées par les changements climatiques à l'échelle mondiale. L'étude de la végétation du circumméditerranéen, permet d'évaluer sa sensibilité et vulnérabilité face au forçage climatique prévu par le GIEC.

Les traits fonctionnels sont des mesures morphologiques et physiologiques d'attributs qui affectent significativement l'ensemble des performances de la plante, et donc, a priori, les principales composantes : la survie, la croissance et la reproduction (Enquist, 2007). Les traits fonctionnels sont très fortement corrélés à des fonctionnements/fonctions de la plante (Weiher *et al.*, 1999, Lavorel *et al.*, 2002). Les traits sont pertinents pour comprendre les réponses de la végétation à une large gamme des facteurs environnementaux (Weiher *et al.*, 1999). Chatterton *et al.*, (1972) considèrent la SLA comme une mesure de l'équilibre production-translocation de photosynthèse et que son changement peut refléter le potentiel de productivité ; l'incapacité à transloquer et à utiliser rapidement les produits de la photosynthèse peut réduire la croissance potentielle de nombreuses plantes.

La feuille est le siège de la photosynthèse et l'élaboration de la matière organique, par conséquent elle est responsable de la croissance du végétal, son état (taille, poids et couleur) traduit le degré du confort et/ou du stress que la plante subit, la surface foliaire spécifique SLA (*specific leaf area*) et le rapport poids sec/ poids frais des feuilles (Ps/Pf), sont de très bon indicateur du bien-être et des conditions favorables et/ou défavorable pour le végétal (Violle *et al.*, 2007).

La présente étude a visé la compréhension l'influence des conditions écologique abiotiques, à savoir ; conditions climatiques, conditions édaphique et conditions liées à la topographie, sur deux indicateurs du bien-être du végétal et leurs variations spatiales de l'aire foliaire Spécifique SLA (*Specific Leaf area*) et le rapport entre poids sec divisé par le poids frais Ps/P des feuilles de chêne vert, dans le parc national de Belezma (Batna), nous avons essayé de comprendre le changement de la distribution spatiale des groupes d'espèces en fonction des

variations spatiale des variables environnementales, ce qui pourrait avoir un intérêt pour appréhendez l'éventuel impact du changement climatique au futur sur ces groupe d'espèces, d'autre part.

Chapitre I

*‘ Recherche
bibliographique ‘*

Partie 1

‘Les stress environnementaux’

1. L'eau dans la plante

L'eau est un élément essentiel dans les cellules de la plante où elle est infectée par des animaux organiques et minéraux et elle à la capacité de stocker, une source d'hydrogène pour les réactions biochimiques telles que le processus de composition optique (**Thiebault et al., 2000**). L'eau participe à la qualité et au rendement de la production agricole, l'irrigation vient compenser le manque ou l'insuffisance d'eau lorsque le contexte climatique ne le permet pas (**Rioux, 2002**).

Le besoin de la plante se limite à l'eau et aux substances minérales du sol, ainsi qu'au CO² et O² de l'atmosphère. Sa matière fraîche est composée d'environ 70 à 80 % d'eau (**Heller et al., 1993**).

1.1. Sécheresse de la plante

Une plante fourragère de bonne valeur alimentaire est non seulement constituée d'environ 70 à 85% d'eau mais elle doit renouveler plusieurs dizaines de fois le volume d'eau qu'elle contient chaque jour (**Guyot, 1990**).

En agriculture, la sécheresse est définie comme un déficit marqué et permanent de la pluie qui effectué les productions agricoles estimées d'après des valeurs moyennes ou étendues (**Cadsden et al., 2003**).

Une autre approche de la sécheresse est celle des agro pastoralismes qui mettent d'avantage l'accent sur la sévérité et la fréquence d'un phénomène qui reste tout relatif pour eux une année sèche chaque décennie est souvent critique et permet d'évaluer les effets réels du manque d'eau (**Devr, 1984**).

2. Notion de stress

Selon les définitions, le stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (**Levitt, 1980 et Mouellef, 2010**). **Tsimilli-Michael et al., (1998) et Mouellef, (2010)**, considèrent que le stress a une signification relative, avec un contrôle comme état de référence, ils considèrent le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte. Selon **Jones et al., 1989 et Mouellef, 2010** un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux. D'autre part, les stress environnementaux nés de la

fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes (**Madhava Rao et al., 2006**).

2.1. Différents types de stress

2.1.1. Stress biotique chez les plantes

Un stress biotique est un stress résultant de l'action néfaste d'un organisme vivant sur un autre organisme vivant telle qu'une attaque par un pathogène. Ces agents peuvent être des champignons, des bactéries, des virus, des nématodes, et des insectes. Ces pathogènes, en infectant les végétaux, vont affecter la croissance et le rendement et peuvent causer leur mort. Les maladies biotiques des plantes maraîchères incluent les bactéries, les virus' et les champignons, et qui se développent à la faveur de conditions particulière (chaleur, humidité, insecte vecteur, et blessures) provoquant ainsi des pertes considérables de production variant selon le type de la culture. Comme tout stress, les maladies parasitaires affectent la croissance, la fertilité et la productivité des plantes (**Fakih, 2015**).

2.1.2. Stress abiotique chez les plantes

Selon **Madhava Rao et al., (2006)** les stress environnementaux nés de la fluctuation des facteurs abiotiques (ça serait salinité et température) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes.

Le stress chez les plantes apparait avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (**Levitt, 1980**). **Tsimilli-Michael et al., (1998)** Considèrent que le stress et signification relative avec un contrôle comme état de référence, il considèrent le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte .

Selon **Jones et al., (1989)** un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et la réaction qu'il entraîne dans l'organisme agressé par une force qui tend à inhiber les systèmes normaux.

2.1.3. Stress hydrique

2.1.3.1. Définition

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde (**Boyer, 1982 et Mouellef, 2010**). Il occupe et continuera d'occuper une très grande place dans les chroniques agro-économiques. C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (**Boyer, 1982 et Mouellef, 2010**).

Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué et ce compte tenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles par rapport à la normale pour une région de grande étendue (**Bootsma et al., 1996 et Mouellef, 2010**). En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (**Madhava Rao et al., 2006**). Le stress hydrique entraîne une dégradation des ressources d'eau douce en termes de quantité (sur exploitation des eaux souterraines, rivières asséchées, etc.) et de qualité (eutrophisation, pollution par la matière organique, intrusion saline, etc.) (**Mouhouche et Boulassel, 1997 et Mouellef, 2010**).

2.1.3.2. L'état hydrique de la plante

La caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau. **Clarke et Mc Craig (1982)**, attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress. **Scofield et al., (1988)** notent que la teneur en eau diminue lorsque le stress augmente, mais elle diminue plus vite chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. La teneur en eau en plus de sa relation avec le volume cellulaire reflète plus précisément la balance entre l'eau disponible dans la feuille et le taux de transpiration, le potentiel osmotique et de turgescence. **El Hakimi et al., (1995)** montrent que cette caractéristique présente un coefficient d'héritabilité élevé et qu'elle se fixe rapidement chez les lignées en ségrégation d'un croisement donné. Ainsi, les variétés tolérantes au stress hydrique, sont celles qui sont capables de perdre le moins d'eau par unité de temps et unité de surface, sous stress.

2.1.3.3. Les indicateurs du stress hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (**Hsissou, 1994**). La résistance à la sécheresse est liée à la capacité d'une variété à développer un nombre élevé de mécanismes d'adaptation et non pas à la présence d'un mécanisme donné (**Hayek et al., 2000**). **Passioura, (2004)** mentionne qu'elle est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques, reflétant différents types d'adaptation (esquive, évitement, et tolérance).

2.1.3.3.1. Adaptation phénologique

La stratégie appliquée en amélioration variétale, pour réduire les effets des stress, consiste à raccourcir la durée du cycle de la variété. La phénologie rythme le développement de la plante et ajuste le cycle végétatif de manière à l'assortir aux conditions optimales de croissance de l'environnement de production. Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (**Ben Naceur et al., 1999**).

Les variétés qui pourront s'adapter au climat caractéristique des hauts plateaux doivent se caractériser par une croissance élevée en début du cycle, parce que l'eau est disponible à ce moment-là (**Belkharchouche et al., 2009**), ce qui leur permet d'éviter la période de stress hydrique de fin de cycle. Par l'évitement de la déshydratation des tissus en maintenant un potentiel hydrique peu variable, à l'aide d'un système racinaire profond et le contrôle des pertes par transpiration. Ainsi que par une tolérance remarquable de l'activité physiologique (**Hayek et al., 2000**). Une croissance rapide en début du cycle améliore l'utilisation des pluies hivernales et permet l'obtention d'une biomasse élevée à maturité (**Cantero et al., 1995**).

Cependant, ce type de croissance entraîne souvent une précocité excessive au stade épiaison et fait donc courir les risques de destruction des organes floraux par le gel tardif en zone d'altitude (**Oosterom et al., 1993**). Comparativement les génotypes qui retardent leur croissance vers le début du printemps, pour des raisons de satisfaction des besoins physiologiques en matière de vernalisation et photopériode souffriront des effets des stress de fins de cycle (**Belkharchouche et al., 2009**). **Turner, (1979)** note que l'amélioration des rendements en

conditions sèches est due, pour sa plus grande part, à la précocité. Celle-ci serait responsable de 40 à 60% de la variabilité du rendement.

2.1.3.3.2. Adaptations morphologiques

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilais. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (**Slama et al., 2005**).

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol serait un caractère essentiel pour l'adaptation à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de croissance (**El Fakhri et al., 2010**). L'exploitation d'un plus grand volume de sol permet à la plante de satisfaire ses besoins en eau, de maintenir ses échanges gazeux et sa croissance en conditions de sécheresse (**Annerose, 1990**).

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones semi-arides. **Benmahammed, (2005)** trouve une liaison positive et significative entre le rendement et la hauteur de la paille. Ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (**Bagga et al., 1970**).

La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. (**Cooper et al., 1983; Benmahammed et al., 2008**).

2.1.3.3.3. Adaptation physiologique

- **La régulation stomatique**

Lorsque l'évapotranspiration potentielle, déterminée par les caractéristiques de l'atmosphère, devient supérieure à ses possibilités d'alimentation en eau, la plante réagit en fermant ses stomates pour éviter de se dessécher (**INRA, 2000**).

Cependant, il faut garder à l'esprit que les stomates sont des cellules isolées au milieu de l'épiderme et qui possèdent leurs propres mécanismes de régulation de la turgescence. Aussi leur

fonctionnement peut être relativement indépendant de la turgescence du mésophylle (**Laffray et Louguet, 1991**).

Ils sont constitués de deux cellules affrontées qui peuvent ainsi se déformer sous l'effet de variations de leur pression hydraulique interne et ouvrir plus ou moins l'ostiole à travers lequel s'échappe l'eau transpirée (**Durand, 2007**).

La fermeture des stomates est déclenchée par une diminution du potentiel hydrique du mésophylle. Une hormone l'acide abscissique (ABA) semble jouer un rôle important de la fermeture des stomates (**Hopkin, 2003**). L'accumulation d'ABA dans un organe, chez les plantes en conditions hydriques limitantes, est due d'abord à une augmentation de sa synthèse, mais peut être aussi le résultat d'une diminution de sa dégradation ou d'une augmentation de son importation à partir d'un autre compartiment (**Cornic, 2008**). D'après **Tardieu et Simonneau, (1998)** on peut classer les plantes en deux groupes :

- **Les plantes dites isohydriques** : comme le maïs, ferment rapidement leurs stomates lors d'un déficit hydrique. Ceci conduit à une économie de l'eau du sol disponible, mais entraîne une baisse précoce de la photosynthèse.
- **Les plantes dites anisohydriques** : comme le tournesol, maintiennent tardivement leurs stomates ouverts. L'état hydrique des tissus de ces plantes tend à suivre celui du sol lorsque ce dernier se dessèche.

La densité stomatique paraît également un autre moyen pour esquiver une sécheresse. En effet, **Miskin et al., (1972)** en étudiant l'effet de la densité stomatique sur la transpiration, la photosynthèse et la résistance stomatique de 05 variétés d'orge, ont conclu que la sélection des plantes à faible densité stomatique serait un moyen efficace et logique pour trouver des cultivars résistants au stress hydrique.

- **La teneur relative en eau de la feuille**

La teneur relative en eau correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (**Collinson et al., 1997**). C'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique (**Berka et Aïd, 2009**). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (**Turner, 1986**). Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (**Sassi et al., 2012**). **Benmahammed et al., (2008)** notent que la corrélation positive entre la teneur

relative en eau et la biomasse accumulée indique, qu'en général, l'accumulation de la biomasse sous stress est dépendante du contenu foliaire en eau.

- **Le maintien de l'intégrité membranaire**

D'autres mécanismes encore peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire, comme l'élasticité membranaire, la réduction de la taille des cellules **Tyree et Jarvis, (1982)** et la résistance protoplasmique. Cette dernière dépend de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique (**Gaff, 1980**).

Le mécanisme de tolérance des membranes cellulaires s'exprime lorsque ces dispositifs périphériques de protection des cellules ne sont plus efficaces. Le caractère de tolérance sensu stricto le plus connu est la résistance membranaire ou résistance protoplasmique. Elle est le plus souvent mesurée par la méthode des efflux d'électrolytes après choc osmotique au polyéthylène glycol (**Blum et Ebercom, 1981 ; Turner et al., 2001**). La tolérance membranaire s'exprime à un niveau particulièrement important chez les plantes dites de résurrection qui peut reconstituer leurs membranes après des périodes de plusieurs semaines de déshydratation (**Gaff, 1980**).

La tolérance des membranes cellulaires face à la contrainte hydrique est l'un des mécanismes de résistance à la sécheresse les plus efficaces chez les plantes. Il a été mis en relation avec la performance au champ des génotypes sur différentes espèces végétales (**Vasquez-Tello et al., 1990 ; Dhanda et Sethi, 2002**). Ces différents résultats montrent bien qu'une appréciation de l'intégrité des membranes en condition de stress constitue une approche indispensable pour l'évaluation de la capacité de tolérance à la sécheresse d'un matériel donné (**Annerose, 1990**).

Le maintien de l'intégrité membranaire constitue encore le mécanisme de tolérance à la sécheresse le plus évident et probablement le plus efficace chez l'arachide. Les différences variétales mises en évidence permettent de caractériser les variétés les plus tolérantes par leur capacité à conserver l'intégrité de leurs tissus en condition de sécheresse. L'intérêt de ce comportement n'est pas seulement d'améliorer la capacité de la plante à supporter une déshydratation mais il devrait aussi contribuer à favoriser ses capacités de reprise à l'arrêt de la sécheresse (**Annerose, 1990**).

2.1.3.3.4. Adaptation biochimique

- **La teneur en chlorophylle**

La diminution de la photosynthèse, qui fait suite à la réduction de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est causée par la réduction de la pénétration du CO₂. La diminution de la photosynthèse nette peut être attribuée à la diminution de la concentration interne du CO₂ sans que la capacité photosynthétique des tissus de la feuille ne soit endommagée (**El-jaafari et Paul, 1993**). **Bousba et al., (2009)** indiquent qu'une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur sous stress hydrique. **Tahri et al., (1997)** montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (**Tahri et al., 1997**).

- **Ajustement osmotique**

La tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique (**Temagault, 2009**). L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique (**El Midaoui et al., 2007**).

L'ajustement osmotique peut aussi jouer un rôle important en aidant des feuilles partiellement flétries à redevenir turgescentes lorsque l'apport d'eau reprend. En aidant la feuille à maintenir sa turgescence, l'ajustement osmotique permet aux plantes de garder leurs stomates ouverts et de prélever du CO₂ pour effectuer leur photosynthèse dans des conditions de stress hydriques modérés (**Hopkins, 2003**). Il peut intervenir à tous les stades du développement (**Monneveux et This, 1997**). Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs (**El Midaoui et al., 2007**). Les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (**Richards et al., 1997**). La fonction principale des solutés compatibles est d'empêcher la perte d'eau pour maintenir la turgescence cellulaire et à maintenir le gradient de reprise en eau dans la cellule. Ces accumulations de métabolite dans les cellules conduisent à une augmentation du potentiel osmotique et ont finalement abouti à une plus grande capacité d'absorption d'eau par les racines et l'économie d'eau dans les cellules (**Seyed et al., 2012**).

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse (**Monneveux et This, 1997**).

- **Accumulation de la proline**

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. **Singh et al., (1973)** proposent peut-être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique. Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique (**Dubos, 2001**). Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (**Darbyshire, 1974**).

Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves (en particulier, d'amidon) mais aussi une modification du métabolisme carboné, la dégradation de polysaccharides et une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (**Le poivre, 2003**).

De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort : différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (**Dubos, 2001**).

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (**Kameli et Losel, 1995 ; Sanchez et al., 1997**) qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (**Morgan, 1984; Zhang et al., 1999**)

2.1.3.4. Effet de stress hydrique sur la plante

2.1.3.4.1. Effet de stress sur les paramètres morphologiques

a) Au niveau cellulaire

Le processus le plus sensible au stress hydrique est la croissance cellulaire, la diminution de la turgescence réduit l'expansion cellulaire (**Rasson et Moss, 1972**). La réduction de la surface foliaire provient d'une diminution de l'expansion foliaire et ou d'une sénescence accélérée de la feuille (**Mattheus et al., 1984 ; Cosgroue, 1993**).

- **Parties souterraines**

- **Racine**

Selon **Cruziat, (1974)** les racines de haricot vert sont d'avantage affectées que les autres organes de la plante par un stress hydrique.

L'effet de stress provoque un grand développement en longueur du système racinaire pour permettre une exploitation efficace de ce dernier à extraire l'eau des profondeurs du sol. (**Gowan, 1974; Brown et al., 1987**).

Certaines auteures ne soient pas du même avis comme (**Hopkins, 2003**) qui affirme que la Croissance des racines est généralement moins sensible au déficit hydrique que celle de la parité aérienne. La croissance racinaire est plutôt orientée dans un sens de remodelage de l'ensemble de système racinaire : le nombre des racines diminue, le volume racinaire est également réduit (**Daaloul et al., 2005**).

- **Parties aériennes**

- **Feuilles**

Selon **Tardieu, (1996)**, on assiste à une réduction de la surface foliaire dû à une diminution de l'expansion cellulaire.

La feuille se replié ou s'enroule et entre en sénescence précoce (**Gate, 1995; Hopkins, 2003**) Le stress hydrique réduit le nombre de feuilles de la surface foliaire et augmente le nombre de stomates par unité de surface (**Gate, 1995**).

- **Tige**

Selon **Gate, (1990)** effet remarquable du stress hydrique est la réduction de la hauteur et le diamètre de la tige, raccourcit les entre-nœuds.

2.1.3.4.2. Effet du stress hydrique sur la production

Selon **Merrien et al., (1981)** les relations positives de type linéaire sont observées entre le rendement du tournesol et l'eau consommée. Selon la position dans le cycle de développement, la contrainte hydrique peut avoir des conséquences de nature et d'intensité variables. Tout dépend du composant du rendement mise en place à ce moment-là. D'akènes est fortement affecté su le déficit hydrique est subi en période végétative. En revanche, c'est plutôt leur pois

qui diminué si le déficit a lieu après la floraison. A la floraison, un déficit hydrique réduit de plus de 30% le nombre de graine et de 20% leur moyen (**Merrien et grandin, 1990**).

2.1.3.4.3. Effet de stress hydrique sur le rendement

Les stress hydriques influencent les rendements ainsi que la composition biochimique des graines. Après la fécondation un stress hydrique réduit la taille des organes et si elle se poursuit pendant la phase de remplissage, elle leur composition (**Fakih, 2015**).

Les différents métabolismes étant inégalement effectués par le stress hydrique (le métabolisme carboné l'est davantage que le métabolisme azote). Les concentrations relatives des différents composés sont modifiée, un manque d'eau induit généralement une baisse des teneurs en amidon en huile des graines, et une augmentation des teneurs en protéines (**Hireche et Inra, 2006**).

2.1.3.4.4. Effet de stress hydrique sur les paramètres physiologiques

a) Régulations stomatiques

La régulation stomatique conditionne les échanges entre CO₂ et H₂O et par conséquent la croissance et la productivité des cultures (**Ludlow et Muchow, 1990; Turner, 1997**). La fermeture des stomates est la réponse instantanée après le déclin de la turgescence des feuilles, suite a une demande évaporatoire élevée et un signal chimique élaboré par la racine (**Chaves et al., 2009; Durand, 2007**). cependant la fermeture stomatique réduit l'assimilation du CO₂ et conduit inévitablement à une réduction de l'activité photosynthétique (**Ludlow et Muchow, 1990**).

b) Photosynthèses

L'effet du stress sur la photosynthèse est complexe, car le manque d'eau peut non seulement affecter ce processus mais aussi la croissance des organes et le transfert des substances indispensable à cette opération (**Vieira Da Silva, 1977 ; Brisson et Delecolle, 1993**).

Selon **Teulat et al., (1997)** la baisse du potentiel hydrique de la plante se traduit principalement par diminution de la pression de turgescence puis une régulation stomatique.

La réduction de la photosynthèse, liée à la diminution du potentielle hydrique foliaire, est supposée dépendre à la fois de la fermeture des stomates avec pour conséquence, une diminution de la conductance à la diffusion du CO₂, d'une limitation biochimiques du chloroplaste pour fixer le CO₂ (**Graam et Boyer, 1990**).

2.1.3.4.5. Effet de stress hydrique sur les paramètres biochimiques

a) Accumulation de proline

Le Proline est une molécule organique dominante qui agit comme un médiateur de l'ajustement osmotique sous le stress, une stabilisation de structures subcellulaires, un puis d'énergie, et même une contrainte connexe de signal (**Ronatain et al., 2002**) Plusieurs auteure signalent l'interdépendance ce qui existe entre le stress hydrique et synthèse de la proline (**Bender et al., 1991**).

Selon **kapuya et al., (1985)** montrent sur haricot l'existence d'une corrélation positive entre le degré de résistance à la sécheresse d'un cultivar et son aptitude à accumuler des quantités importantes de proline durant la période de stress.

b) Acide Abscissique

Selon **Mazliaka, (1982)** l'ABA est synthétisé par les organes vivant des végétaux sous stress. L'accumulation d'acide est identique dans la partie racinaire que dans la partie aérienne (**Vernieri et al., 1994**).

La concentration en ABA est bien corrélée avec la diminution du potentiel hydrique et de la pression de turgescence de la plante (**Berger, 1973; Tardieu, 1996**).

c) Sources solubles

Selon **Nemouchi, (2003)** pour une fonction normale d'une cellule ou d'un organe, les sucres solubles sont indispensables. Le stress hydrique tend donc à induire une augmentation caractéristique de la teneur en saccharases dans les feuilles (**Jones et al., 1981**).

L'accumulation des sucres solubles est un moyen adapté les plante en cas de stress, afin de résistes aux conditions du milieu (**Bajji et al., 2000**).

Le Taux des sucres augmente considérablement chez des plantes soumises aux différents types de stress (**Chunyag, 2001**).

Les glucides ont un rôle fondamental dans la vie des végétaux. Ce sont des produits primaires de la photosynthèse et les composés à partir des quels sont synthèse les lipides et les protéines (**Fakih, 2015**).

2.1.3.5. Stratégies de la réponse des plantes au stress hydrique :

Pour lutter le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (Esquive, Evitement et tolérance). La tolérance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles. La tolérance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phonologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques. Ces dernières interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (**Passioura, 2004**).

2.1.3.5.1. La stratégie d'esquive

Cette stratégie consiste à éviter de subir le déficit hydrique en effectuant le cycle de développement pendant des périodes pluvieuses. On réduit alors le risque de perte de rendement, en échange d'une réduction du rendement maximum atteignable (**Jean-pierre et al., 2006**). Le décalage du cycle cultural depuis des périodes à forte demande climatique vers des périodes à plus faible risque est la stratégie des cultures d'hiver, qui réalisent leur cycle sur une période à faible risque de déficit hydrique et compensent une croissance à une saison où le rayonnement incident est réduit par une durée plus longue du cycle (**Folkert et al., 2001**).

2.1.3.5.2. La stratégie d'évitement

Cette stratégie consiste à empêcher que la plante soumise à des conditions hydriques défavorables ne subisse un stress hydrique trop important. Ces adaptations réduisent le risque de perte de rendement, mais ont le plus souvent un coût en termes de rendement maximum (**Jean-pierre et al., 2006**). Les mécanismes d'évitement sont de type morphologique et physiologique.

d) Mécanismes morphologiques

- **Réduction de la conduction stomatique**

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress hydrique. Si la fermeture des stomates permet à la plante de réduire la sortie d'eau, elle limite aussi l'entrée de CO₂ (**Benhamou, 2009**). Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse (**Hopkinsw, 2003**). La régulation de la conductance stomatique reste le mécanisme majeur intervenant à court terme pour limiter les

perdes d'eau : le potentiel hydrique foliaire sera maintenu d'autant plus longtemps que la fermeture des stomates est précoce (**Maury et al., 2011**) .

- **Réduction de la croissance foliaire :**

Une réduction de la croissance foliaire est bénéfique aux plantes soumises à un stress hydrique, la surface des feuilles est diminuée et la transpiration réduite par l'enroulement des feuilles. Habituellement, l'effet exercé par un potentiel hydrique faible est attribué à une perte de turgescence des cellules des zones en croissance (**Nabors, 2008**). Du fait que le grandissement cellulaire intervenait suite à une entrée d'eau qui, après la relaxation du stress de la paroi cellulaire, provoquait la pleine turgescence des cellules, donc un apport réduit de l'eau se traduit par la réduction de la croissance (**Hopkinsw, 2003**).

- **Développement racinaire accru :**

L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (**Turner et al., 2001**). L'augmentation de l'absorption peut être due à l'extension de l'absorption en profondeur et en surface, à la vitesse de croissance et de ramification des racines (**Laurent et Sané, 2007**). L'absorption d'eau est maximisée par un ajustement autrement dit, un investissement élevé au niveau des racines (**Jackson et al., 2000**).

e) **Mécanismes physiologiques :**

Au niveau cellulaire, la réduction du module d'élasticité permet aux cellules de conserver un potentiel élevé malgré un dessèchement important (**Tardieu et al., 2006**). L'ajustement osmotique par accumulation de soluté dans la vacuole et la réduction de la taille des cellules permettent, pour une même teneur en eau, une diminution du potentiel foliaire et donc un maintien d'un gradient de potentiel hydrique important du sol vers la feuille (**Laurent et Sané, 2007**). Ce mécanisme tient à la fois de l'évitement et de la tolérance (**Jean-pierre et al., 2006**).

2.1.3.5.3. La stratégie de tolérance

Cette stratégie consiste à maintenir les fonctions de la plante, croissance, transpiration et la photosynthèse, malgré le déficit hydrique (**Jean-pierre et al., 2006**). La tolérance à la déshydratation implique des mécanismes intracellulaires qui visent à préserver l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus lorsque le potentiel hydrique diminue (**Laurent et Sané, 2007**). L'ajustement osmotique est un exemple d'une telle adaptation, il permet le maintien

d'une turgescence positive pour des teneurs en eau relativement faible (**Hopkinsw, 2003**). L'ajustement osmotique, il consiste en la synthèse des molécules solubles, ce qui se traduit par une plus grande capacité d'attraction et de rétention des molécules d'eau. Ces molécules, appelées osmoticum, s'accumulent le plus souvent dans le cytoplasme (**Nabors, 2008**). Cette forte accumulation de solutés ioniques ou organiques dans les cellules provoque une diminution du potentiel osmotique. Les principales substances accumulées en réponse aux stress osmotiques peuvent être des acides aminés (proline, alanine), des sucres (saccharose, tréhalose, fructanes), des ions quaternaires (bétaines, proline- bétaine), des ions inorganiques (K^+) ou encore des acides organiques (malate, glutamate, citrate), des hormones (acide abscéscique) (**Hopkinsw, 2003**). La nature des osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique est généralement spécifique de l'espèce étudiée. Les solutés organiques ne perturbent généralement pas ou peu le métabolisme des cellules et sont qualifiés à ce titre d'osmoticum compatibles (**Radhouane, 2011**).

a) L'Accumulation des sucres solubles

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme des bons osmorégulateurs qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (**Slam, 2002**). Les sucres sont qualifiés d'osmolytes compatibles. Les osmolytes compatibles s'accumulent principalement dans le cytosol. Un osmolyte compatible est une molécule qui reste exclue de la surface d'une protéine et de sa sphère d'hydratation proche, qui tend à stabiliser sa structure spatiale, elles protègent les membranes contre la déshydratation (**Bagh et al., 2011**).

Généralement on pense que l'accumulation des sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse des réserves en particulier l'amidon mais aussi une modification du métabolisme carboné (**Le poivre, 2003**). Beaucoup d'auteurs ont mis en évidence le rôle protecteur des sucres sur les membranes, en particulier mitochondriales. Leur présence permettrait le maintien des réactions de phosphorylation et de production d'énergie. Outre ce rôle protecteur des membranes, les hydrates de carbone protègent les processus par lesquels les enzymes sont synthétisés ce qui impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la dessiccation et une meilleure résistance à la sécheresse.

b) La teneur en chlorophylle

Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur (**Bousba et al., 2009**). Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO_2 atmosphérique nécessaire à la photosynthèse,

l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle (**Slayter, 1974 et Mouellef, 2010**). Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (**Guettouche, 1990 et Mouellef, 2010**). **Tahri et al., (1997)** montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Les résultats de **Tahri et al., (1997)** révèlent une certaine proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues. Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs pigments chlorophylliens et vice versa (**Tahri et al., 1997 et Mouellef, 2010**).

2.1.4. Stress salin

La définition la plus courante, adaptée par la **FAO, (1997)** considère qu'un sol salin est un sol dont l'activité électrique de la pâte du sol est de 4ds/m ou plus, cependant le Na et le Cl sont considérés les plus importants : le Na comme effectuant la détérioration de la structure physique des sols et le Cl et Na entraînent la toxicité des végétaux (**Omami, 2005**).

La conductivité électrique est souvent utilisée pour la mesure de la salinité des eaux et de la pâte du sol, elle est exprimée en déci siemens par mètre ds/m ou en millimhos par centimètre mm ho/cm (**Kenfaoui, 1997**).

2.1.4.1. Influence du stress salin

Selon **Munns et al., (2006)** la salinité représente l'accumulation des sels dissous dans la solution du sol à un niveau qui inhibe la croissance et le développement des plantes. On compte généralement deux formes de salinité : Primaire et secondaire.

- La salinité primaire résulte de l'accumulation des sels dans le sol à travers un long processus naturel de dégradation des roches salines et des apports éoliens des sels des mers et océans.
- La salinité secondaire est d'origine anthropique, résultant des activités humaines, notamment l'irrigation avec des eaux chargées de sels (**Munns et al., 2006**). La salinité est une contrainte en agriculture parce que la plupart des cultures sont peu tolérantes aux excès de sels. De plus la salinité est associée à l'eau qui est un important facteur d'augmentation des productions végétales. En effet, les 15% des terres irriguées dans le monde participent pour 1/3 dans la production totale mondiale. De ce fait la réduction de la productivité, suite à

la salinité, pose une sérieuse contrainte à l'augmentation de la production pour couvrir une demande alimentaire de plus en plus importante (**Chaves et al., 2003**).

2.1.4.2. Effets de la salinité sur la plante

La salinité affecte la croissance des plantes selon trois processus majeurs qui sont :

- L'effet de déficit hydrique qui résulte de la réduction du potentiel hydrique de la solution du sol. (**Baghi, 2011**)
- La toxicité des ions spécifiques, absorbés en excès, tels que le sodium et le chlore (**Baghi, 2011**).
- Le déséquilibre ionique qui résulte de l'excès des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) qui engendrent une réduction de l'absorption d'autres ions (K^+ , Ca^{2+} , NO_3^-) nécessaire à l'activité enzymatique de la plante. La réponse des plantes soumises au stress salin se manifeste sous forme de réduction de l'élongation foliaire, qui est associée à une réduction de la turgescence cellulaire plus qu'à l'effet ionique (**Zhao et al., 2007**). En effet la concentration cellulaire en ions Na^+ et Cl^- est, dans ce cas, toujours inférieure au seuil de toxicité.

D'autres hypothèses explicatives de la réduction de l'élongation foliaire sous stress salin suggèrent le changement de la balance hormonale entre les racines et la tige (**Hu et Schmidhalter, 1998; Zhao et al., 2007**). Chez les géotypes sensibles, les sels absorbés ne sont pas éliminés du flux de la transpiration et de ce fait, ils s'accumulent à des niveaux toxiques dans le feuillage. Les feuilles âgées se dessèchent et les plus jeunes deviennent succulentes (**Munns et James, 2003 ; Munns et al., 2006**).

Sous la pression du stress, la plante accélère sa croissance pour fleurir et produire le peu de graines permis par le feuillage vert restant (**Mass et Poss, 1989**). Quoique la salinité induit une rapide réduction de la croissance du système racinaire, la croissance de la tige est proportionnellement plus réduite, reflétant un ratio racine/tige plus élevé, comparativement à celui du témoin (**Neumann, 1995; Zhao et al., 2007**). La salinité réduit du tallage herbacé et de la matière sèche accumulée dans les tiges (**Pessaraki et Huber, 1991 ; Zhao et al., 2007**).

Le degré de sensibilité au stress salin dépend aussi du stage végétatif au cours duquel la plante subit le stress. Chez certaines espèces, c'est le stage juvénile qui est le plus sensible, alors que chez d'autres espèces, c'est le stade adulte qui est le plus sensible.

La réponse de la respiration à la salinité est associée à l'effet direct des sels sur les fonctions enzymatiques, vu que le stress salin sévère augmente la transpiration. Cette augmentation est plus importante chez les génotypes sensibles que chez ceux qui sont tolérants (**Zhao et al., 2007**). L'accumulation des sels dans les tissus cellulaires affecte l'activité stomatique, la photosynthèse et les échanges gazeux (**Seemann et Critchley, 1985 ; Zhao et al., 2007**). En effet une relation négative existe entre l'activité photosynthétique et le contenu en Na⁺ et en Cl⁻ du feuillage (**Yeo, 1998 ; Zhao et al., 2007**). Ainsi **James et al., (2002)** mentionnent que la photosynthèse diminue de 50% pour une concentration de Na⁺ du feuillage de 350mm.

La salinité réduit le contenu chlorophyllien, cette réduction est dépendante de l'intensité du stress et du degré de tolérance de la plante (**Ashraf et Mc Neilly, 1988 ; Zhao et al., 2007**). Selon **Velegaleti et al., (1990)** la réduction de la chlorophylle est corrélée avec l'accumulation du Cl⁻ dans les tissus. De plus la salinité impose à la plante une réduction de l'absorption des ions essentiels tels que le K⁺ et Ca²⁺, conduisant à un déséquilibre ionique (**Zhu, 2001**). Ca²⁺ est nécessaire pour le maintien de la sélectivité et l'intégrité de la membrane cellulaire, d'où un déficit en Ca²⁺ affecte la sélectivité de la cellule et l'intégrité de la membrane, accélérant le passage passif des ions Na⁺ et leur accumulation dans les tissus (**Cramer, 2002**).

En générale, la présence du sel dans la solution du sol augmente le potentiel osmotique du sol et crée un déficit hydrique pour la plante dont les racines sont inaptes à absorber l'eau nécessaire à la croissance de cette solution. De ce fait le potentiel hydrique foliaire baisse aussi (**Munns, 1993 ; Tattini et al., 1995 ; Zhao et al., 2007**). Comme la croissance cellulaire est corrélée à la pression de turgescence des tissus, la baisse de la turgescence est la principale cause de l'inhibition de l'élongation cellulaire sous salinité (**Greenway et Munns, 1980 ; Zhao et al., 2007**).

Le stress salin génère l'accumulation dans les tissus cellulaires des composés toxiques tels que les espèces réactives d'oxygène (ROS). Les ROS représentent les peroxydes, superoxydes et les radicaux hydroxyles (**Shen et al., 1997 ; Tsugane et al., 1999**). Ces molécules toxiques endommagent les membranes cellulaires, les enzymes et l'ADN mitochondrial et chloroplastique, perturbant la croissance voire la survie de la plante (**Allen, 1995 ; Munns et al., 2006**). Le stress salin intense induit une réduction de la production des auxines, des gibbérellines et des cytokinines des tissus cellulaires et augmente la concentration de l'acide abscissique (ABA) (**Moorby et Besford, 1983**).

Ces changements hormonaux sont suspectés d'être à l'origine de la réduction de la croissance de la plante sous stress salin. Le modèle bi phasique de l'inhibition de la croissance sous stress salin a été proposé par **Munns, (1993)**.

La première phase de la réduction de la croissance apparaît rapidement. Elle est liée à la présence des sels dans la solution du sol plus qu'à la présence des sels dans la plante. Au cours de cette phase, l'inhibition de la croissance n'est pas due à l'effet du stress ionique. Elle est plutôt due à l'effet du stress hydrique occasionné par la baisse du potentiel osmotique de la solution du sol, et pour lequel, il y a peu de variabilité génétique. La seconde phase de réduction de la croissance se développe plus tardivement et engendre des dommages dus aux effets de l'accumulation des sels dans les tissus cellulaires (**Munns et al., 2006**).

Le degré de réduction de la croissance au cours de cette seconde phase est lié au degré de dommages causés au feuillage. De ce fait, certains programmes de sélection utilisent le degré de dommage foliaire comme critère pour évaluer la tolérance au stress salin (**Munns et James, 2003; Zhao et al., 2007**). Le modèle bi-phasique prédit que les différences génotypiques de croissance, en réponse à la salinité, sont apparentes au cours de la seconde phase (**Fortmeier et Schubert, 1995**).

2.1.5. Stress thermique

Selon **Farhati, (2007)** La sensibilité des plantes aux températures extrêmes est très variable, certaines sont exterminées ou affaiblies par des baisses modérées de températures, lorsque d'autre parfaitement acclimatée, sont capables de suivre au gèle (des dizaines de °c en dessous de zéro), le stress provoqué par des températures élevée induit la synthèse d'un groupe de protéine particulières.

2.1.5.1. Stress thermique (chaleur)

Parmi les mécanismes biochimiques de tolérance à la chaleur, il faut citer :

- **La transpiration**, un mécanisme simple et efficace qui met à profit l'énergie d'évaporation de l'eau pour refroidir les feuilles. La fermeture des stomates provoque des augmentations de température de plusieurs degrés. (**Bagh et al., 2011**)
- **Le métabolisme C4**: Avec l'élévation de la température, la solubilité du CO₂ diminue plus vite que celle de l'O₂. Le « gaspillage » énergétique que représente l'activité oxygénase de la Rubisco est accentué. Les mécanismes de concentration du CO₂ dans les

plantes en C4 (maïs, canne à sucre...) permettent d'éviter cette contrainte (**Mokhnache et al., 2011**).

Chez les plantes adaptées aux milieux arides chauds (souvent des C4), on peut constater que de nombreuses activités enzymatiques sont plus thermotolérantes que chez des espèces proches mais adaptées à des milieux tempérés. L'induction de protéines de choc thermique (Heat Shock Proteins), dont certaines jouent des rôles de chaperonnage d'enzymes clés du métabolisme en évitant leur dénaturation sous l'effet de la chaleur. D'autres HSP sont impliquées dans les processus de dégradation/réparation des macromolécules endommagées. La modulation des proportions en acides gras membranaires saturés/insaturés, en particulier dans les membranes chloroplastiques, passe parmi les mécanismes majeurs d'acclimatation et d'adaptation aux températures extrêmes. Une forte proportion d'acides gras saturés dans les lipides membranaires aura tendance à apporter de la stabilité sous une contrainte chaleur. (**Bagh et al., 2011**)

2.1.5.2. Stress thermique (froid)

Renvoyons ici à la lecture de l'excellent chapitre consacré aux stress abiotiques dans (**l'ouvrage de Hopkins De Boeck Ed. pour l'édition française**). Il faut retenir que la principale conséquence du froid non gélif concerne la baisse de fluidité membranaire et son impact sur le fonctionnement des activités photosynthétiques et respiratoires. La principale adaptation connue concerne les ratios acides gras saturés/insaturés au niveau des lipides membranaires.

Mais la problématique majeure liée au froid concerne la tolérance au gel qui détermine largement la distribution géographique des espèces végétales.

Le mécanisme de tolérance le plus classique repose sur l'évitement de la congélation (évitement du strain) au niveau intracellulaire. Le refroidissement progressif des tissus ne provoque pas immédiatement la congélation du contenu cellulaire riche en solutés et pauvre en points de nucléation (maintien en état de surfusion), mais provoque dans un premier temps une congélation de l'apoplaste, pauvre en solutés et dont le point de congélation est souvent élevé (entre -10 et 0°C). Cette congélation a pour conséquence une élévation transitoire de température (premier exotherme) et une fuite d'eau cytoplasmique qui concentre les solutés cellulaires et abaisse encore le point de congélation intracellulaire. Si la descente en température se poursuit en dessous de ce point de congélation, la formation de cristaux à l'intérieur des cellules provoquent des dommages irréparables.

Certaines plantes (dont l'espèce modèle *Arabidopsis*) soumises à une période préalable de froid non gélif peuvent mettre en place des processus d'acclimatation et supporter ensuite abaisser leur point de congélation de plusieurs degrés. Les voies signalétiques impliquées dans l'acclimatation au froid sont partiellement recouvrant avec celles associées aux réponses aux stress hydriques : accumulation de solutés compatibles, implication de l'acide abscissique et implication des mêmes facteurs de transcriptions.

Dans les bourgeons de certains arbres, l'évitement de la congélation peut fonctionner jusqu'à des températures de l'ordre de -40°C , on parle alors de « deep supercooling » ou surfusion accentuée. La limite de -50°C correspond au point de congélation spontanée de l'eau en l'absence de point de nucléation.

Enfin, certains arbres comme le bouleau, le saule et le peuplier tremble, peuvent suite à des processus d'acclimatation, supporter des températures bien inférieures à -50°C ce qui suggère que des mécanismes de tolérance différents de la surfusion accentuée sont en œuvre (il s'agirait de tolérance au « strain ») mais ceux-ci sont encore mal connus.

2.1.6. Le stress nutritif

La croissance, le développement et le rendement des plantes sont contribues par des élément essentiel comme N ,P, k, Mg ,Ca, S, Fe, Mn, Zn, Cu ,B, Mo ,Co,Si,...(**Hopkins et Huner, 2004; Koprivova et al., 2008**).Les plantes peuvent être soumises a un stress nutritif du a la plusieurs facteurs menant à l'insuffisance nutritive ou l'approvisionnement excessif en élément (**Schulze et al., 2005**).Le stress nutritif et les désordres métabolique associés diminuent la croissance et le rendement des plantes (**Lync et Brown, 2001 ;Kant et al., 2008**).

2.1.7. Le stress photo –oxydatif :

Le stress lumineux est l'une des contraintes environnementales importantes qui limitent la photosynthèse et l'efficacité de la végétation (**Das, 2004 ; Doi et Shmazaki, 2008**). Quand l'énergie lumineuse absorbée excède la capacité d'utilisation de l'énergie dans la photosynthèse, alors l'efficacité photosynthétique sera réduite due la formation de l'AOS, qui peut endommager l'appareil photosynthétique et le composant du chloroplaste (**Taibi, 2008**).

Partie 2

“ Traits Fonctionnels Foliaires ”

1. Traits fonctionnels foliaires

1.1. Les traits écologiques

Ces traits sont des mesures morphologiques et physiologiques d'attributs qui affectent significativement l'ensemble des performances de la plante, et donc, a priori, les principales composantes de la fitness : la survie, la croissance et la reproduction (**Enquist, 2007**). Les traits fonctionnels sont très fortement corrélés à des fonctionnements/fonctions de la plante (**Weihner et al., 1999, Lavorel et al., 2002**). Les traits sont pertinents pour comprendre les réponses de la végétation à une large gamme des facteurs environnementaux (**Weihner et al., 1999**).

1.2. Intérêts de cette approche

Cette approche est de plus en plus prisée pour prédire les changements dans la végétation liés au changement global (CO₂, hausses et baisses de températures). Les traits fonctionnels permettent en effet de déterminer si une espèce de plante est capable de s'installer, de survivre ou d'accroître son abondance sous différentes conditions environnementales ou sous différents processus dans un écosystème. En interprétant les traits de réponses, les écologues peuvent mieux comprendre les mécanismes sous-jacents au processus (**Vile, 2005**).

1.3. Traits fonctionnels

Différents traits peuvent être mesurés ; la biomasse fraîche est une mesure simple permettant de mesurer la croissance dans le temps, avec comme hypothèse implicite qu'une forte biomasse offre de fortes potentialités de couverture. La matière sèche des feuilles et des plantes entière (feuilles+tiges) permet de connaître la production de matière carbonée par les plantes (**Cornelissen et al., 2003**). Cette mesure est liée à la densité moyenne des tissus. La surface spécifique représente la surface d'une feuille fraîche divisée par sa propre matière sèche (exprimée en m².kg⁻¹ ou en mm².g⁻¹) (**Vile, 2005**).

1.3.1. La surface foliaire spécifique

1.3.1.1. Définitions

1.3.1.1.1. La matière organique

Le terme « matières organiques du sol » regroupe l'ensemble des constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol. Elles représentent en général 1 à 10 % de la masse des sols (**Duprarque et Rigalle, 2011**).

a) La teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche également appelée fraction massique de matière sèche dans le système SI) est le rapport de la masse sèche à la masse fraîche d'un organe (**Shiple et Vutt, 2002**).

b) La matière organique fraîche

Les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats), animale (déjections, cadavres), fongique et microbienne (cadavres, exsudats) appelés « Matières Organiques fraîches ». Associés aux composés organiques intermédiaires issus de l'activité de la biomasse microbienne, appelés produits transitoires (évolution de la matière organique fraîche), elles composent les MO facilement décomposables (**Duprarque et Rigalle, 2011**).

1.3.1.1.2. La surface foliaire

La surface foliaire d'une plante est la somme des surfaces de chacune de ses feuilles (**Francoise et al., 1996**).

La surface foliaire est le résultat de l'intégration de nombreux facteurs : écologie (climat - sol), hérédité, biologie de la plante (**Mouton et J.A, 1966**).

1.3.1.1.3. La densité des stomates

La densité des stomates varie d'une espèce à l'autre et est influencée par de nombreux facteurs (**Dayton et al., 1976**).

Cooper et Qudls, (1967) ont rapporté que la densité stomatique était plus de 20% plus élevée sur les deux surfaces foliaires des plantes cultivées en plein soleil que sur celles des plantes cultivées à l'ombre.

Penfound, 1993 a signalé que l'humidité du sol affectait radicalement la densité des stomates et que les stomates des feuilles étaient plus grands mais moins nombreux par unité de surface pour les plantes cultivées dans des conditions de sol humide.

1.3.1.1.4. La densité stomatique et la surface foliaire

L'augmentation de la densité stomatique et la réduction de la dimension des stomates correspondent à une meilleure adaptation vis à vis de l'économie de l'eau (**Souidi et al., 2014**).

Brunel et Binet, 1967 confirment que l'augmentation du nombre des stomates par unité de surface des espèces xéromorphiques est obtenue par une réduction de la surface foliaire.

1.3.1.1.5. La surface foliaire spécifique

La surface foliaire spécifique (SLA), qui est définie comme le rapport entre la surface foliaire et le poids sec de la feuille, (SLA, normalement exprimée en $m^2 kg^{-1}$) est une caractéristique morphologique de la plante ; pour une espèce donnée, sa valeur varie en fonction des conditions environnementales et de l'âge de la culture (**Danalatos et al., 1994**).

La surface foliaire spécifique SSF est définie comme le rapport de la surface projetée des feuilles sur leur masse sèche, et représente donc la surface d'interception de la lumière par unité de masse foliaire, le SSF peut se décomposer comme l'inverse du produit de la densité et de l'épaisseur des feuilles (**Evans 1972 et al., 1991**).

a) L'intérêt de mesure la surface foliaire spécifique

La feuille est le siège des activités physiologiques intenses des métabolismes de la plante, intervenant dans les processus directs de la croissance et du développement. Dans ces processus, les feuilles interviennent surtout par leur surface, leur âge, leur composition chimique et leur nombre (**Binet et Brune, 1968 ; Deyson, 1970 ; Desloover et al., 1981 ; et Decerier et al., 1988**). C'est pour ces rôles que la SSF est introduite comme un concept dans l'analyse de la croissance de la plante entière (**Evans, 1972**). Il apparaît que les plantes à stratégie d'acquisition des ressources et de croissance rapide auront tendance à avoir une valeur de la SSF élevée (**Wright et al., 2002**). La disponibilité en matière sèche pour la croissance dépend de l'intensité de la photosynthèse et de la respiration de la biomasse aérienne. Elle est liée avec d'autres traits foliaires tels que l'épaisseur de la feuille et la teneur en matière sèche. Typiquement, une grande feuille fine aura une SSF élevée contrairement à une feuille étroite et épaisse. En réponse à une baisse de l'intensité lumineuse, l'épaisseur de la feuille diminue, ce qui a pour conséquence d'augmenter la SSF et de limiter l'investissement en masse sèche pour l'interception lumineuse (**Sylvia, 2010**).

b) Les corrélations de la surface foliaire spécifique

La surface foliaire spécifique (SLA, surface foliaire projetée par masse sèche) est devenue une variable importante dans l'écologie comparée des plantes car elle est associée à de nombreux aspects critiques de la croissance et de la survie des plantes (**Shipley et Vutt, 2002**).

Par exemple, la SLA est souvent positivement corrélée avec le taux de croissance relatif potentiel des semis **Muller et al., (1990)** et le taux de photosynthèse du filet de feuilles (**Field et Mooney, 1986 ; Reich et al., 1997 ; Shipley et Lechowicz, 2000**); il est négativement corrélé à la durée de vie des feuilles **Reich et al., (1992)** et à l'appétence pour les herbivores (**Lucas et Pereira, 1990**). La surface foliaire spécifique est corrélée positivement avec la pluviométrie (**Gouveia et Freitas, 2009**) et négativement avec la disponibilité de l'azote (**Chapin et al., 1987 ; Rosati et al., 1999**).

Chatterton et al., (1972) considèrent la SLA comme une mesure de l'équilibre production-translocation de photosynthèse et que son changement peut refléter le potentiel de productivité ; l'incapacité à transloquer et à utiliser rapidement les produits de la photosynthèse peut réduire la croissance potentielle de nombreuses plantes.

c) Les facteurs de variations de la surface foliaire spécifique

- **Stress hydrique**

Le stress hydrique au niveau foliaire ; plus la feuille est stressée, plus elle est épaisse et dense et moins sa surface spécifique foliaire est élevée (**Wright et al., 2004**).

- **La lumière**

Les feuilles de soleil et les feuilles d'ombre d'une même plante peuvent présenter des valeurs de SSF différentes (**Popma et Bongers., 1988 ; Cornelisses., 1992 ; Dong., 1993**). De nombreux auteurs ont démontré qu'il existe une proportionnalité inverse entre la SLA et l'intensité lumineuse. Comme symptôme général, à des intensités lumineuses et des taux de photosynthèse élevés, l'épaisseur des feuilles augmente et donc la SLA diminue, car la fixation du carbone dépasse la translocation (**Blackman et al., 1955; Cooper, 1966; Butt, 1968 ; Pears et Lee, 1969 ; Gmeling Meyling, 1973**).

- **L'effet de la saison**

Tardieu et al., 1999 rapportent que SLA décroît lorsque la contrainte environnementale pour la croissance est élevée, et augmente lorsqu'elle est faible. La SLA est plus faible à la fin de la saison sèche et augmente après le début de la saison des pluies.

- **L'âge foliaire**

Les feuilles âgées peuvent avoir des valeurs de SSF plus élevées que les feuilles jeunes (**Garnier et Freijssen, 1994**).

- **La présence de parasite foliaire**

La surface foliaire peut être limitée par d'autres facteurs tels que la présence de parasite foliaire comme la pyriculariose ou l'attaque d'insectes qui limiteront la quantité de feuilles disponibles pour les mesures de la surface foliaire (**Sylvia, 2010**).

- **Erreur expérimentale**

Sur la mesure de la surface foliaire : les feuilles onduleuses ; frisées ; enroulées ; auront une influence sur la valeur de la surface foliaire (**Sylvia, 2010**).

d) Inconvénients de surface foliaire spécifique

Cependant, SLA n'est pas sans problèmes, de deux types.

- Une difficulté pratique est de savoir comment traiter des plantes avec des feuilles verticales ou, pire encore, pas de feuilles.
- Deuxième problème vient du fait que le SLA peut varier en raison d'un changement dans l'épaisseur ou la composition des feuilles, ou les deux. Il existe donc inévitablement une relation relativement étroite entre SLA et l'épaisseur des feuilles, mais cette dernière peut varier pour des raisons qui ne sont pas directement liées à l'axe de SLA (**Peter et al., 1999**).

Partie 3

“ Modèle biologique ”

1. Modèle biologique « chêne vert »

Le Chêne vert (*Quercus ilex*), est une espèce sempervirente de la famille des Fagacées. Il est considéré comme l'une des espèces les plus caractéristiques de la région méditerranéenne). C'est une essence forestière qui possède ses caractéristiques morphologiques propres et ne peut être confondue avec les autres chênes, (Quezel, 1976 ; Ogaya et Penuelas, 2007).

1.1. Taxonomie de l'espèce

Des nombreux travaux ont été consacrés à la taxonomie du Chêne vert. Les caractères très polymorphes de cette espèce ont conduit à une division systématique très confuse et loin d'être tranchée (Barbero, 1980). Nous avons retenus la classification suivante (Nixon, 1993) :

Tableau 1 : Classification de chêne vert selon Tropicos.

Règne	Plantae
Embranchement	Spermatophyta
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous classe	Archichlamydeae
Ordre	Fagales
Famille	Fagaceae
Genre	Quercus
Espèce	Quercus ilex L
Nom latin	Quercus ilex.
Noms commun	FR: Chêne vert, Yeuse. EN: Holm oak, Evergreen Oak. ES:Encina.

1.2. Description de chêne vert

Le chêne vert est très polymorphe. Il peut dépasser 20 m en hauteur. On trouve des arbres de 25 à 30m de hauteur, et de plus de 3m de circonférence. Aussi est-il difficile de le décrire avec précision. Pourtant on l'identifie facilement car il est l'un des rares chênes à feuilles persistantes. On le distingue bien de *Quercus suber*, lui aussi à feuilles persistantes mais caractérisé par son

écorce. On le distingue de *Quercus coccifera* dont les feuilles, également persistantes, sont petites et piquantes (**Barbero et al., 1992**).

1.2.1. Appareil végétatif

1.2.1.1. Système racinaire :

L'arbre a un enracinement pivotant, profond, pouvant atteindre 10 m et des racines latérales, traçantes et drageonnâtes (**Mbarki, 2019**).

1.2.1.2. Le bois :

Solide et compact, très recherché en construction navale, ainsi en charpenterie, et produit un charbon de bonne qualité. Son écorce est finement fissurée, de couleur brun grisâtre et qui apparaît sous forme de petits carrés (**Bellakhdar, 2008**).

1.2.1.3. Les feuilles :

Restent sur l'arbre pendant plus d'une année, parfois jusqu'à la troisième et même la quatrième année. Elles sont coriaces, concaves, ne se plient pas selon la nervure centrale. Leur forme et leur taille sont variables : elliptiques, lancéolées, arrondies, longues de 2 à 9 cm, large de 1 à 4 cm parfois plus ; Sur le même sujet, parfois sur la même branche, on peut trouver des feuilles, de forme et de dimension très différentes, selon qu'elles ont poussé à la base ou à l'extrémité du rameau. Elles sont à la face supérieure glabre et d'un vert foncé brillant, gris et pubescentes à la face inférieure. Leur bord peut être uni ou finement denté et ondulé. Elles portent de sept à douze paires de nervures (**Jaurand, 1997**).

1.2.2. Appareil reproducteur

1.2.2.1. Les fleurs :

Le chêne vert fleurit d'avril à mai. Il porte des fleurs mâles en chatons jaunâtres de 2 à 3 cm de long tandis que les fleurs femelles sont plus discrètes, à l'aisselle des feuilles. Les fleurs femelles se transforment en fruits après fécondation (**Floret et al., 1992**).

1.2.2.2. Les fruits :

Sont des akènes appelés glands, de dimensions variant de 2 à 3 cm de long. Ils sont regroupés sur un pédoncule commun en nombre de 1 à 5. Les glands mûrissent en un an. Ils sont bruns striés et légèrement pointus au sommet. Ils sont coiffés à leur base arrondie d'une cupule hémisphérique à écailles rapprochées, courtes, de couleur grisâtre. D'après (**Charef et al., 2008**),

La population locale consomme le fruit du *Quercus.ilex*, il est utilisé comme ressource alimentaire traditionnelle locale.

1.3. Répartition géographique de chêne vert

Le chêne vert est connu depuis l'Oligocène mais ce n'est qu'au cours du Villafranchien qu'il est soumis à des conditions climatiques (la xéricité et le froid) comparables à celles qu'il rencontre actuellement en certaines régions d'Afrique du Nord (**Barbero et Loisel, 1983**).

L'aire du chêne vert s'étend sur l'ensemble du bassin méditerranéen c'est ce que traduisent les flores en qualifiant l'essence de circum méditerranéenne. Le chêne vert est très abondant en Algérie car il forme le fond de la forêt de montagne. Sur le versant nord du massif de Babor il se trouve sous ses formes arborées et taillis. Cette essence est également rencontrée à travers le monde, où son aire de répartition est assez élevée (**Benia, 2010**).

1.3.1. Répartition mondiale

Quercus ilex est originaire de la région méditerranéenne vers le Nord et le bassin de la Loire. En dehors de cette région, il est cultivé et parfois naturalisé, notamment en France septentrionale et en Angleterre méridionale (**Tutin et al., 1993**).

Le chêne vert est une espèce à large répartition géographique. Selon **Boudy, 1950** cette essence s'étend depuis la Chine et l'Himalaya jusqu' en Grande - Bretagne, puis aux confins Sahariens. Mais, c'est surtout une espèce méditerranéenne et selon **Seigue, 1985** l'aire de répartition du chêne vert s'étend sur l'ensemble du bassin méditerranéen et c'est dans le bassin occidental qu'il est le plus répandu.

Dans le midi français, il serait l'essence la plus dominante. Il est rencontré tout le long de la frontière Espagnole à celle de l'Italie. Il est abondant dans le secteur méridional du massif central, mais beaucoup moins dans les alpes maritimes (**Vernet, 1972 ; Madjidieh, 1982**).

En Espagne, il colonise toutes les provinces à l'exception de la Galice, mais il est particulièrement abondant en Andalousie occidentale (**Canadell et al., 1988**).

Au Portugal, il est présent au Sud, et plus dispersé au Nord le long de la frontière espagnole (**Rivas et Martinez, 1975**).

En Italie, au Sud (en Calabre), le chêne vert est toujours présent au-dessus de 1000 mètres, dans le supra méditerranéen (**Achhal et al., 1979**). Il est également rencontré en Sicile, et

occasionnellement au niveau de la côte sud de la mer noire (**Quezel, 1980**). En Sardaigne il forme de beaux peuplements en Ombrie et en Toscane (**Susmel et al., 1976**).

De même qu'en Corse, il est aussi bien développé dans les étages thermo et méso méditerranéen, qu'au centre, mais les forêts de chêne vert se font rares (**Ganisans, 1976**).

Dans sa variété de *Quercus ballota*, il est présent au Pakistan et en Afghanistan, mais l'impact anthropozoïque étant très important, les forêts sont très dégradées (**Browiez, 1982**).

Le chêne vert est également présent en Yougoslavie, en Albanie, et au niveau du nord occidental de la Grèce. Il est moins abondant en Crète où il occupe le méso et le supra méditerranéen et absent de Chypre (**Barbero et Quezel, 1979**).

En Turquie il se rencontre dans la région d'Istanbul, sur la côte de la mer noire et sur la bordure montagneuse du plateau anatolien, sur le versant occidental du Zagros et aux limites de l'aire de l'Hindou-Kouch (**Akman et al., 1979**). De même qu'il se raréfie en Syrie, en Jordanie et en Palestine occupée (**Kabakibi, 1992**).

Il est à remarquer que bien que sa répartition géographique semble assez large, d'après **Seigue, (1985)** le chêne vert est parfois disséminé, parfois mélangé, très souvent dégradé, si bien qu'il est difficile d'en faire une bonne répartition. Ceci mis à part le bassin occidental méditerranéen.

1.3.2. Répartition de chêne vert dans la méditerrané

Quercus ilex s'étend sur presque tout le bassin méditerranéen ; parfois il le déborde. C'est cependant dans le bassin occidental de la Méditerranée qu'il est le plus répandu (**Boudy, 1955**).

Le chêne vert est une espèce à vaste répartition, les formations les plus âgées se rencontrent en Asie centrale ; il s'étend depuis la Grande Bretagne jusqu'en Himalaya (**Boudy, 1955**). *Quercus ilex* se trouve principalement dans la partie occidentale du bassin méditerranéen et voit son aire de distribution diminuée dans la partie centrale du bassin pour disparaître totalement dans la zone orientale. La limite septentrionale de cette aire de distribution semble résulter de la concurrence avec des espèces mieux adaptées, plutôt que d'une inadaptation aux conditions climatiques, car l'amplitude écologique du chêne vert est très importante tant du point de vue climatique (thermique et hydrique) qu'édaphique (**Barbero et al., 1992**). Il est difficile de donner une statistique de la répartition de cette espèce parfois disséminée, parfois mélangée et souvent très dégradée. C'est seulement pour le bassin occidental de la Méditerranée que l'on

peut avancer des chiffres, avec beaucoup de prudence notamment quand il n'y a pas d'inventaire forestier (**Haichour, 2009**).

Tableau 2 : La superficie de chêne vert dans la méditerranée.

Espagne	2890.000 ha
Portugal	530.000 ha
France	350.000 ha
Italie	380.000 ha
Tunisie	80.000 ha
Algérie	680.000 ha
Maroc	1340.0

1.3.3. Répartition en Algérie

En Algérie, cette essence est présente de la frontière Tunisienne à celle du Maroc. Le chêne vert s'étend surtout dans la partie occidentale. Il couvrait une grande superficie (680 000 hectares selon **Boudy, (1950)** alors que **Letreuch et Bellarouci, (1991)** indique une superficie de 354 000 hectares.

Dans l'Oranie, son expansion commence à l'Est des monts de Tlemcen où il constitue d'importants massifs forestiers allant de Sebdoù à la frontière Algéro-marocaine. Il constitue des formations mixtes avec les thuyas aux environs de Maghnia et de Sabra. (**Bouderba, 1989**).

Dans la région de Tiaret notamment le massif de Tagdempt et des Sdamas (forêts du tell), se rencontrent des forêts importantes à base d'un mélange de chêne vert et de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) (Zeraia) et à El Hassania (Saida), il est rencontré à 1260 mètres d'altitude (**Bouderba, 1989**).

Au niveau de l'Algérois, les peuplements de chêne vert sont également assez importants. Cette essence est rencontrée dans le massif de Zaccar et forme un taillis qui descend jusqu'à Miliana. Dans celui de Boughar, elle est mélangée au pin d'Alep, alors que dans le massif de Theniet el Had et celui de Mouzaia, elle constitue le tapis végétal. Dans l'atlas Blidéen, sur les monts de Chréa, elle est rencontrée sous forme de maquis. Sa présence est également notée dans l'Ouarsenis (**Gharzouli, 1989**).

A l'Est le chêne vert est présent sur les monts de Medjerda, sur les monts de Tébessa à Ain el Badie. Dans les Aurès, il se cantonne en zones steppiques sur les versants des djebels, souvent à des altitudes supérieures à 1200 mètres. Sur le massif du Chélia sont rencontrées des forêts mixtes de chêne vert et de cèdres. Sur les monts de Belezma, cette essence constitue des taillis sur la pente Nord, et des maquis à chêne vert et genévrier (*Juniperus oxycedrus*) sur la pente Nord-est. Le chêne vert se rencontre également dans le constantinois, de même qu'au niveau des massifs de Babor et Tababor où il occupe de grandes surfaces (**Gharzouli, 1989**).

Au Sud c'est dans l'atlas saharien, notamment la région de Djelfa et du djebel Senalba que l'on rencontre le chêne vert (**Quezel, 1989**).

Il est toutefois clair que L'espèce *Quercus ilex* a son optimum dans l'Ouest et le centre de la méditerranée, plus particulièrement dans le Nord de l'Afrique, où il a l'habileté de coloniser de vastes aires, favorisé en plus par la faible compétition offerte par d'autres chênes et les résineux, tels les pins (**Quezel, 1989**).

Enfin il est bon de savoir que *Quercus ilex* a été établi dans la région méditerranéenne à la fin du miocène, et son aire de distribution a connu plusieurs fluctuations dans le quaternaire. De plus durant les dernières glaciations, ce chêne forma d'importantes populations en Catalogne (Sud-est de l'Espagne) et en Afrique du Nord. Cependant que du côté Nord de la méditerranée, il était probablement un élément des forêts pré steppique avec *Pinus* et *Juniperus*. Sa large distribution spatiale est reflétée dans son existence avec plusieurs structures floristiques originales de végétation (**Quezel, 1989**).

1.4. Ecologie du chêne vert

1.4.1. Substrat

De point de vue édaphique, le chêne vert est l'essence la plus plastique, il est présent sur tous les types de substrat, sauf les sols compacts, asphyxiants ou engorgés, ou ses racines ne peuvent pénétrer. Au Maghreb, il se montre indifférent à la composition chimique du sol et s'accommode à tous les types des sols, qu'ils soient siliceux ou calcaires (**Boudy, 1952**).

Dans un sol profond, le chêne vert établit un pivot par contre dans un sol superficiel, ces racines tracent, par conséquent l'arbre devient buissonnant (**Regimbeau, 1979**).

Le chêne vert en outre se rencontre aussi bien sur les sols superficiels que profonds où il est Alors, là où la pression humaine s'atténue, en passe d'être vraiment concurrencé par les feuillus caducifoliés (**Barbero et Loisel, 1980**).

1.4.2. Climat

On peut préciser les exigences bioclimatiques du Chêne vert en soulignant qu'il demande une baisse estivale importante des pluies. De plus, sa répartition dans un pays comme le Maroc, où toute la gamme des bioclimats méditerranéens est représentée, indique qu'il a son optimum pour des valeurs du coefficient d'Emberger (L. EMBERGER, 1155) de 45 à 200 et de m voisines de 0° C. L'amplitude (le m est de -4° à +5°. Autrement dit, le Chêne vert croit de préférence en climat humide ou sub-humide mais peut pénétrer dans le semi-aride et, du point de vue des températures, il préfère les hivers frais mais supporte les hivers froids aussi bien que les hivers tempérés (**climagramme de Ch. Sauvage, 1961 et 1963.**)

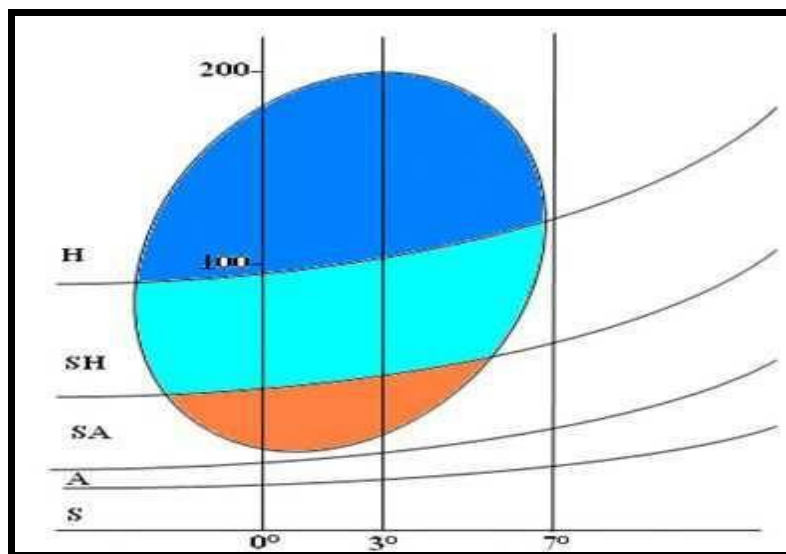


Figure 1 : Répartition du chêne vert dans le climagramme d'Emberger d'après **Seigue, (1985)**.

1.4.3. Altitude

En France, le chêne vert colonise les plaines et les collines, alors qu'en Afrique du Nord, il est considéré comme une essence de montagne. Il n'apparaît pas au-dessous de 400 m d'altitude ou il est éliminé par les essences de plaine de l'association Oléo-lenticetum (**Boudy, 1952**).

En Algérie et plus exactement dans l'Atlas tellien, le chêne vert apparaît à partir de 400 m d'altitude et monte jusqu'à 1700 m (**Maire, 1926 et Quezel, 1976**). Dans les Aurès ses limites altitudinales hésitent entre 1200 et 1900 m et entre 1500 et 2200 m dans l'Atlas saharien (**Letreuch, 1995**).

1.5. Cortège floristique du chêne vert

Le chêne vert domine une association caractéristique : *Quercetum ilicis*. La végétation accompagnatrice est dominée par le genévrier oxycédre (*Juniperus oxycedrus*), les petits houx

(*Ruscus aculeatus*), le smilax (*Smilax aspera*), le ciste de Montpellier (*Cistus monspeliensis*), l'aubépine, le nerprun, le pistachier térébinthe (*Pistacia térébinthus*), le lentisque, la bruyère arborescente, l'arbousier, la viorne, le chèvrefeuille et la phyllaria intermédiaire (*Phillyrea media*) (Boudy, 1950 ; Zeraia, 1980; Ben Abdelli, 1996). On le trouve souvent en mélange avec le chêne liège, le pin d'Alep ou le cèdre d'ATLAS.

1.6. Le peuplement de chêne vert

Actuellement, nous estimons les peuplements de chêne vert à environ 354000 ha dont la plus grande partie sous forme de taillis dégradés. Les peuplements existants sont les futaies et les taillis (B.N.E.F, 1984).

1.6.1. Les futaies

- ✓ Vieilles futaies claires (très souvent reliques).
- ✓ Futaies dense (généralement issues de rejets).

1.6.2. Les taillis

- ✓ Forts taillis denses ou clairs.
- ✓ Taillis faibles denses ou clairs.
- ✓ Taillis dégradés sous forme de basse broussaille.

1.6.3. Des peuplements mélanges :

- ✓ (chêne liège, pin d'Alep ou cèdre)

1.7. Contraintes de croissance

1.7.1. Contraintes abiotiques

1.7.1.1. Incendie

D'après Boudy, (1950) le chêne vert est moins nuisible à l'action du feu. Dans les futaies, où le sous-bois est peu dense et de faibles dimensions, le feu, ne fait, le plus souvent que passer et se contente de flamber les arbres. Dans les jeunes taillis, de cépées très touffues et dont le substratum est souvent recouvert d'un tapis assez épais de feuilles sèches : le feu cause parfois des dommages assez importants. Les souches ne sont pas tuées et donnent ultérieurement de nombreux drageons. En cas de taillis âgés, les dégâts sont peu importants, le feuillage est grillé, certains petits rejets de la souche sont brûlés, mais l'ensemble de la cépée est peu atteint.

1.7.1.2. Surexploitation (bois de chauffage)

Le processus de carbonisation, qui était fréquent en région européenne est aujourd'hui quasiment stoppé, alors qu'il est encore actif en Afrique du Nord où la châtaie verte paie un lourd tribut à ce mode d'exploitation.

- La dépopulation de l'espace rural

La dépopulation de l'espace rural, a eu pour conséquence la désorganisation de toutes les pratiques d'utilisation de l'écosystème « yeuseraie » (**Berrichi, 2010**).

1.7.1.3. Défrichement et pastoralisme

Les territoires de la yeuseraie, étaient souvent soumis à des pratiques culturales ; Le blé semé sur les bonnes terres de bas-fonds, l'avoine et l'orge plantés en complément entre les chênes verts. Les années de déficit fourrager, les arbres sont émondés et leur feuillage donné aux bêtes. Ces pratiques font par excellence, de la forêt un territoire de parcours animalier. Par ailleurs, **Bellon et al., (1996)** signalent que la yeuseraie, en offrant entre 150 à 200 unités fourragères par hectares est intégrée facilement, dans le calendrier alimentaire du bétail. Il est évident que ces territoires appelés aussi Dehesas demandent à être organisés, entretenus et complantés en espèces fourragères adaptées si l'on veut produire de viande (**Letreuch, 1995**).

1.7.1.4. Les pâturages

Dans la forêt de Tafat, à certains endroits, la régénération est insignifiante à cause des surpâturages. La forêt est utilisée comme terrain de parcours de grands troupeaux bovins en liberté totale, malgré l'intervention des forestiers. Ces pâturages excessifs sont des facteurs majeurs de dégradation et risquent la destruction progressive de la forêt (**Benia, 2010**).

1.7.2. Contraintes Biotiques

1.7.2.1. Insectes

Le chêne vert est très sensible à *Lymantria dispar* qui provoque la défoliation des chênes (**Boudy, 1950**). Il est sensible à un bupreste (*Coroebus bifasciatus*), dont les galeries creusées dans le bois des charpentières se terminent par une double boucle circulaire : les branches atteintes dépérissent, sèchent sur pied et se brisent sous l'action du vent. En plus, il y a un coléoptère du genre « *Balaninus* » qui attaque les glands des chênes (**Berrichi, 2010**).

1.7.2.2. Champignons

Parmi les champignons dépréciant fortement la croissance du chêne vert on distingue en général :

- *Polypores dryadens* : occasionne la pourriture blanche au pied des chênes
- *Microsphaera quercina* : Oïdium ou « blanc des chênes » ralentissant la croissance des feuilles et entravant l'élaboration chlorophyllienne (**Berrichi, 2010**).

1.7.2.3. Cuscute

Parmi les végétaux nuisibles au chêne vert, **Boudy, (1950)** cite Cuscute (*Cuscuta monogyna*) qui s'attaque aux jeunes taillis, ces derniers sont tués au bout d'une année ou deux années (**Berrichi, 2010**).

1.7.2.4. Les maladies

Les maladies sont en général d'ordre cryptogamique. Dans la forêt de Tafat de nombreux sujets présentent des chancres corticaux en forme de plaques charbonneuses, qui sont dus à un champignon du genre Hypoxylon. Les dégâts du charbon de chêne, *Biscogniauxia mediterranea* (*Hypoxylon mediterraneum*) sont connus depuis longtemps en Algérie et au Maroc (**Malençon et Marion, 1951**). C'est l'un des champignons les plus communément associé au dépérissement des chênes méditerranéens. De plus un autre champignon, *Ophistoma roboris* a été observé sous l'écorce (**Benia et al., 2004**). Ce dernier attaque les arbres de l'intérieur et les détruit. Ces champignons sont apparus à la suite d'une période de sécheresse ayant duré trois années de suite (de l'année 2000 à 2002) et perdurent jusqu'à présent.

Selon **Idjer et al., (2004)** l'impact du chancre sur le peuplement de chêne est considérable. Sur les jeunes sujets infectés, un fendillement de l'écorce s'observe, ce qui favorise les invasions des insectes. Cette observation est très remarquée dans la forêt de Tafat.

1.7.2.5. Les déprédateurs

Le chêne vert n'échappe pas aux nombreux déprédateurs. Nous pouvons citer à titre d'exemple, les insectes phyllophages, particulièrement des Lépidoptères: (tortricidés, géométridés). Des insectes xylophages, surtout des Coléoptères cérambycidés. Des suceurs de sève (Hémiptères), qui réduisent la croissance des arbres, de plus ces insectes favorisent l'attaque des champignons et la pénétration de parasites et de virus, ce qui accentue l'affaiblissement de l'arbre (**Benia, 2010**).

1.8. Importance du chêne vert

En Algérie, l'importance, économique, écologique ou sociale des écosystèmes à chêne vert, n'est plus à démontrer. Ces écosystèmes sont une composante essentielle dans les équilibres écologiques, et ce, par leurs interventions dans les fluctuations de nombreux facteurs de l'environnement global et la protection du sol contre les agressions déstabilisantes. Le chêne vert participe à la conservation de l'eau par sa mobilisation et son stockage surtout dans les bassins versants et les milieux fragiles. La régulation du débit d'eau se fait d'une part à travers la réduction du ruissellement et l'augmentation du temps de concentration des bassins versants et d'autre part en favorisant l'infiltration des précipitations excédentaires. La chênaie verte présente l'avantage d'être naturellement bien adaptée aux conditions climatiques et pédologiques difficiles. Ainsi qu'elle est de plus en plus appréciée par le grand public, en offrant pour la population locale une multitude de biens et la biodiversité (**Nasrallah, 1995**).

Chapitre II

“ Matériel et méthodes ”

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Le Parc National Belezma de Batna

1.1.1. Aperçu Historique sur Parc National de Belezma

Le Parc National créé par le décret n° 84-326 du 03 novembre 1984, est un établissement public à caractère administratif doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est placé sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et du développement rural, et de la direction générale des forêts. Sa création a été motivée par la présence de grandes étendues de Cèdre de l'Atlas dans une zone de grandes influences sahariennes et méditerranéennes, la présence d'un patrimoine archéologique et historique et une mosaïque de zones humides au Nord-Nord-est (Boukerker, 2016).

La Chronologie historique du parc national de Belezma de 1953-2008 est résumée ainsi :

- **1953** : Boudy, a préconisé une mise en défend pendant 50 ans pour le massif de Belezma.
- **1971** : Idée d'aménagement d'une partie de la forêt domaniale de Belezma en parc National. (Idée émanant des services des forêts).
- **1973** : La forêt des Cèdres est aménagée par la F.A.O "projet Algérie 15" pour l'exploitation du bois. Cette dernière n'a jamais eu lieu pour le problème de la régénération naturelle et / ou artificielle du Cèdre.
- **1977** : La zone boisée en Cèdre a fait l'objet d'une étude d'aménagement pour l'ériger en Parc National (BNEDER).
- **1984** : Création du Parc National de Belezma par le décret N°84-326 du 03 novembre 1984.
- **1985** : Aménagement d'une partie de la forêt domaniale du Belezma par le BNEF en Parc National (26.250 ha sur les 61.000 ha).
- **1986** : Le Parc National de Belezma devient opérationnel.
- **1987** : Première mise en place des autorisations de programmes.
- **1998** : Elaboration du premier plan de gestion (1998-2002).
- **2006** : Elaboration du deuxième plan de gestion (2006-2010).
- **2015** : Reconnu réserve de biosphère par l'Unesco.



Figure 2 : Le Parc National de Belezma, Batna. [Cliché : M. Bouchatah, 04 avril 2021]



Figure 3 : Les massifs de Parc National de Belezma, Batna. [Cliché : M. Bouchatah, 04 avril 2021]

1.1.1 Localisation géographique

Le parc National de Belezma se situe dans la partie Nord-est de l'Algérie entre les latitudes, $35^{\circ} 32' 40''$ et $35^{\circ} 37' 46''$ Nord et les longitudes $5^{\circ} 55' 10''$ et $6^{\circ} 10' 45''$ Est, à environ 7 Km au Nord de la ville de Batna dans les monts de Belezma.

Il est limité :

- Au Nord par la plaine de Merouana et Ain Djasser.

- A l'Est par la plaine d'El Madher.
- A l'Ouest par le bassin de Barika.
- Il correspond à une chaîne de montagne s'étendant sur une superficie de 26250 ha. Il présente une configuration allongée, étirée, d'orientation sud-ouest. C'est la seule aire protégée dans la région des Aurès. Le Belezma est un parc de haute montagne continentale, se situant à la limite des grandes influences sahariennes et méditerranéenne (Benzina et Si Bachir, 2019).

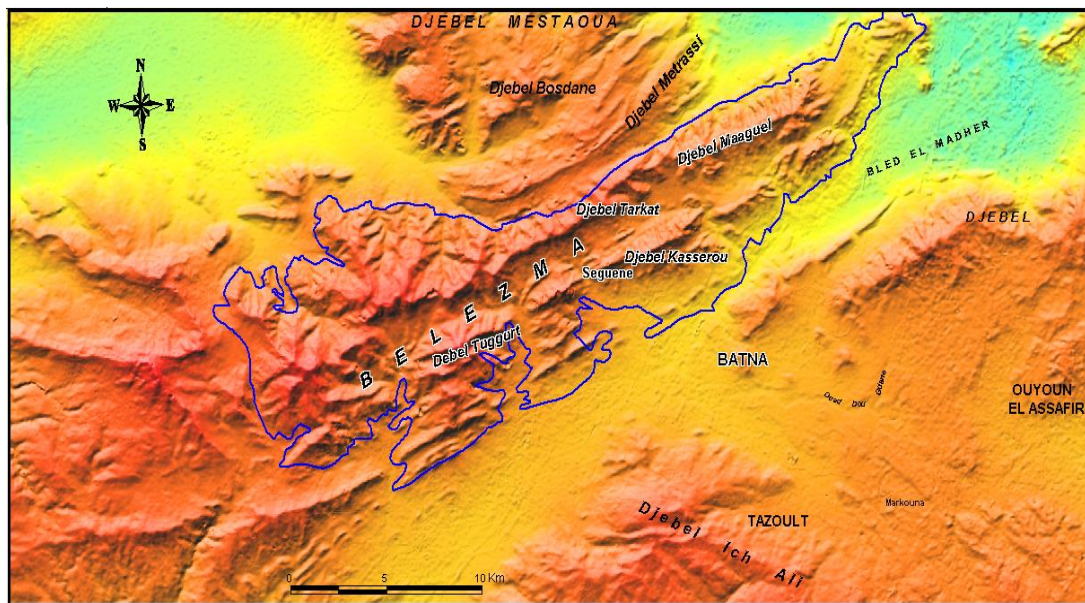


Figure 4 : Localisation géographique de Parc National de Belezma (Batna, Nord-est Algérie).

[Carte Original]

1.1.2. Caractéristiques de Parc National Belezma

1.1.2.1. Géologie

Les monts de Belezma constitués dans leur totalité de sédiments du crétacé supérieur, se présentent sous forme de calcaires provenant du crétacé inférieur (Boukerker, 2016).

Les principales structures géologiques décrites dans la région du Parc National de Belezma sont ceux cités par Abdessamed, (1981) en se renvoyant au travail de Laffite, (1939) qui reste le seul document relatif à la géologie de l'Aurès :

- Des marnes dans sa partie inférieure et des grès dans sa partie supérieure. Cette structure se trouve dans la région de Bumerzoug.

- Des marnes dans la partie inférieure, des grès dolomitiques dans sa partie centrale et du grès au sommet du Djebel Touggour (2.010 m d'altitude).
- Des grès dans la partie inférieure, du calcaire dolomitique dans la partie centrale et du grès au sommet qui domine la région de Bordjem et Chellaâlaâ.

1.1.2.2. Pédologie

Les travaux de (**Schoenberger, 1970 et Abdessemed, 1981**) montrent que les sols du territoire du parc national sont caractérisés par leur jeunesse relative, leur épaisseur ainsi que leur faible degré d'érosion. Les sols se trouvent dans le stade de développement de rendzines ou proche du sol brun calcaire ou de la terra rosa (calcaire tendre, marne). Les sols bruns peu calcaires se localisent dans la Cédraie de Bordjem et Theniet- El-Gontas. Ils reposent sur du grès et se situent entre 1.400 et 1.800 m d'altitude sur le versant Nord.

Les rendzines décalcarisées en surface se rencontrent sur le Djebel Tichaou et Tuggurt à une altitude de 1800 m où la pente est supérieure à 75 % par endroit. Il est à signaler qu'aucune étude pédologique proprement dite n'a été faite au niveau du parc national de Belezma (**Boukerker, 2016**).

1.1.2.3. Relief

1.1.2.3.1. Altitude

En Afrique du Nord, il est considéré comme une essence de montagne. Il n'apparaît pas au-dessous de 400m d'altitude (**Boudy, 1952**). En Algérie et plus précisément dans l'Atlas tellien, le chêne vert apparaît à partir de 400m d'altitude et monte jusqu'à 1700m (**Maire, 1926 et Quezel, 1976**). Dans les Aurès ses limites altitudinales oscillent entre 1200 et 1900m et entre 1500 et 2200m dans l'Atlas saharien (**Letreuch, 1995**).

1.1.2.3.2. La pente

Le tableau ci-dessous résume les superficies en relation avec les pentes qui caractérisent le terrain de Parc de Belezma (**Houamel, 2012**).

Tableau 3 : La répartition des terres par classe de pente par rapport à la superficie totale (B.N.E.F, 1986).

Classe de Pente (%)	Superficie en ha	Pourcentage (%)
0 - 3 %	0	0,0
3 - 12,5 %	798.75	7,1
12,5 – 25 %	652.50	5,8
>25 %	9.798.75	87,1
Total	11.250.00	-----

Il montre que 87,1 % de la superficie totale du Parc est caractérisée par des pentes fortes supérieures à 25 % ; de même, environ 50 % sur le haut des versant de Dj Bourdjem, Dj Tuggurt, et le Dj Boumerzoug, la pente est supérieure 30% (B.N.E.F, 1986).

1.1.2.3.3. L'exposition

L'orientation est comme suit (F.A.O, 1971) :

- Nord-ouest : 53 % du total
- Nord-est : 29,1 %
- Nord : 1,6 %
- Est, Ouest, Sud-ouest, Sud- Est : 15,6 %.

1.1.2.4. Hydrologie

La forte irrégularité régionale des précipitations et la disparité des reliefs sont à l'origine d'un réseau hydrographique très oscillé. Le réseau hydrographique du parc, très ramifié, constitué principalement d'oueds temporaires qui entrent dans un ensemble de 3 bassins versants (ANRH, 2001) : Chott El Hodna (N° : 05 ; superficie : 25843 km²), Chott Melghir (N° : 06 ; superficie : 68751 km²) et le bassin versant des hauts plateaux Constantinois (N° : 07 ; superficie : 9578 km²) (Figure 5). Les oueds de ces zones sont à écoulement endoréiques (les oueds se jettent dans des dépressions fermées) et à régime quasi temporaire. L'hydrologie du PNB détermine deux systèmes d'organisation du réseau, selon les deux lignes de crêtes des monts de Belezma deux principales lignes de partage des eaux se matérialisent :

- Le réseau hydrographique Nord : constitué d'Oued Ketami, Oued H'Rakta, Oued Enadjerime, Oued El Ma et Oued Châabet Islan.
- Le réseau hydrographique Sud : constitué d'oueds et de ravins dont les principaux sont : Oued Bouilef, Oued Nafla, Oued Chaaba, Oued Hamla, Oued Skène. Les seuls cours d'eau permanents à débit faible en moyenne sont : Oued Chaaba et Oued Bouilef **(Benzina et Si Bachir, 2019)**.



Figure 5 : Les limites des 3 bassins versants (BV) traversant le PNB (N° 05 : Chott El Hodna ; N 06 : Chott Melghir ; N° 07 : les hauts plateaux Constantinois) **(Benzina et Si Bachir, 2019)**.

1.1.2.5. Le climat

Le climat joue un rôle essentiel dans la morphologie du relief, sur la végétation, la genèse et le type de sols et sur les activités agro-pastorales. L'insuffisance de stations météorologiques et leur emplacement peu représentatif ne permettent pas de bien caractériser le climat du Parc. Il sera souvent fait appel à des extrapolations en prenant en considération l'exposition et l'altitude. **(U.I.C.N, 2001)**

1.1.2.6. La précipitation

Le régime pluviométrique est du type méditerranéen, avec une pluviométrie de type H.P.A et une irrégularité interannuelle très marquée. Le Parc subit une longue période de sécheresse estivale, particulièrement sur le versant Sud. Il est sujet aussi à des successions de plusieurs années sèches (pluviométrie annuelle < pluviométrie moyenne). Dans cette zone la fréquence des années de grande sécheresse dépasse les 25 %. Cette sécheresse présente de sérieux inconvénients pour le couvert végétal **(U.I.C.N, 2001)**.

1.1.2.7. La température

Le Parc de Belezma subit un régime thermique de type méditerranéen et montagnard, avec des hivers très froids et rigoureux et des étés chauds. Avec une forte amplitude thermique qui peut dépasser 20 °C (U.I.C.N, 2001).

1.1.2.8. Autres facteurs climatiques

1.1.2.8.1. Le vent

D'après **Abdessemed, (1981)** la région est soumise à des vents chargés de pluies versant du Nord-Ouest, Les vents du sud-ouest (sirocco) sont secs et chauds, ils provoquent une chute brutale de l'humidité et une augmentation notable de la température. Le maximum de sa fréquence a lieu généralement entre juin et juillet.

1.1.2.8.2. L'humidité

Selon **Quezel, (1957)** L'humidité de l'air par ses écarts est l'un des facteurs climatiques importants des massifs montagneux dans la méditerranée. L'humidité relative contribue à la diminution des risques d'incendie, elle croît à partir du sol pour atteindre 100 % au niveau des couches nuageuses (**Halimi, 1980**).

1.1.2.9. La flore de Parc National de Belezma

Les principales formations selvatiques du Parc National de Belezma sont à base du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) pur ou mélangé avec le Houx (*Ilex aquifolium*) ou le chêne vert (*Quercus ilex*). Ce dernier présente des peuplements purs ou mélangé avec le genévrier rouge (*Juniperus phoenicea*) ou le frêne épineux (*Fraxinus dimorpha*). Il est à noter aussi la présence importante de peuplements reliques de pin d'Alep (*Pinus halepensis*). Au niveau du Parc national de Belezma, un nombre de 447 espèces de végétaux sont recensées, dont 9 espèces endémiques, 18 espèces protégées, 14 espèces assez rares, 21 espèces rarissimes, 19 espèces rares, 62 plantes médicinales et 29 espèces de champignons. Ce qui caractérise le plus le Parc de Belezma, c'est sa cédraie qui est l'une des plus importantes de l'Algérie. Elle occupe à elle seule 5.679,3 ha, soit 21,6 % du territoire du parc. Elle renferme un cortège floristique d'une multitude d'espèces dont celles dites orophiles qui sont endémiques de l'Algérie, des Aurès et parfois même de Belezma (**Ghezali, 2012**).

1.1.2.10. Importance de Parc National de Belezma

Les Monts du BELEZMA, se présentent comme une série de petits massifs coincés entre les Monts du HODNA à l'Ouest et le massif des AURES au Sud-est, tandis qu'au Nord-Ouest et au Sud-ouest ils surplombent les plaines de MEROUANA et la vallée de BATNA. Sur le plan administratif, ce territoire chevauche huit communes appartenant à la wilaya de Batna : Merouana, Seriana, Oued El Ma, Hidoussa, Djerma, Fesdis, Oued Chaaba et Batna. Les particularités de la situation géographique et la singularité de ses relations avec les massifs voisins font du parc national du Belezma un maillon original de la chaîne atlasique formant une zone de contact avec le massif de l'Aurès et les monts du Hodna à portée de vue par-dessus les vallées qu'ils côtoient. Les monts du Belezma se prolongent jusqu'au centre de l'Algérie par les Monts du Hodna et le djebel Maadid en rejoignant les massifs des Bibans (Portes de Fer). Ces massifs montagneux constituent la ligne de partage des eaux entre les bassins telliens du nord et les bassins sahariens du Sud. Les liaisons biologiques par les crêtes et les cols sont à l'origine de la répartition des espèces animales et végétales. Par sa position, c'est aussi un carrefour biogéographique, entre les massifs de l'Aurès à l'Est, les monts du Hodna à l'Ouest, les Hautes Plaines Constantinoises au Nord et les massifs de l'Atlas saharien au Sud. Ces montagnes représentent non seulement des voies de communications pour les hommes mais aussi des axes de migrations facilitant le déplacement et la dispersion de la flore et la faune septentrionale des montagnes du nord de l'Algérie. Situé à la croisée des massifs sahariens et telliens, le parc joue le rôle de réservoir biologique favorable à la dispersion et à la migration des espèces, de régulation des équilibres naturels et de producteur de ressources économiques et sociales. La proximité des vastes étendues d'espaces forestiers des massifs de l'Aurès est un atout supplémentaire pour assurer le maintien de la diversité biologique du Belezma. De toutes les formations forestières de l'Atlas saharien du nord est algérien, seules les cédraies et les pinèdes constituent de véritable peuplement de belles forêts, le reste des couverts végétaux n'étant que des maquis ou garrigues plus ou moins arborés. En effet, c'est dans l'Aurès-Belezma que l'on retrouve les plus vastes étendues de forêts de cèdres du pays (13 000 ha) ainsi que la pinède la plus vaste du pays, Beni Melloul: 80 000 ha d'un seul tenant. La superficie totale occupée par les cédraies du massif de l'Aurès est de 8000 ha morcelés en quatre forêts : forêt du Chelia, d'Ouled Yacoub, de Sgag et des Ouled Fedhala. Mais c'est sur le massif du Belezma que l'on trouve, d'un seul tenant, une cédraie de près de 5000 ha. Cependant, dans ces zones le cèdre est à la limite méridionale de son aire de répartition, sous un climat semi-aride à subhumide d'altitude où le total moyen de pluie ne dépasse que rarement 800 mm par an (FAO, 1971).

1.1.3. La stratégie de développement de Parc National de Belezma

Lors de la dernière décennie des années 2000, il était devenu difficile de travailler au cœur du Parc en raison des problèmes posés par l'insécurité. Cela a été l'occasion pour l'administration de se concentrer sur la périphérie du Parc et de mener une politique de développement dont la priorité est l'homme, premier utilisateur des ressources naturelles. Afin d'alléger la pression des populations autochtones et de leur troupeau sur les ressources naturelles protégées, l'administration du Parc a lancé de nombreux microprojets de développement agricole à leur profit. La forme de programmation de ces activités traduit une prise de conscience aiguë de l'administration du rôle joué par la population autochtone dans l'utilisation des ressources naturelles du parc (**Sahli, 2004**).

Les projets de développement concernent essentiellement (**Sahli, 2004**) :

- La généralisation de l'arboriculture et de l'apiculture à toutes les communautés rurales.
- Les travaux de protection des terres et d'amélioration foncière.

2. Méthodologie

Matériels utilisés :

- **Sur terrain** : Nous avons été utilisées :
 - Système de positionnement mondial (GPS)
 - La carte de situation de la zone d'étude
 - Scie à main : pour prendre des feuilles d'arbre
 - Sacs en papier : pour la collecte des échantillons
- **Dans le laboratoire** :
 - Balance de précision
 - Petites sacs en papier
 - Etuve de séchage
 - Logiciel 'Image J'
- **Analyse statistique** : les outils utilisés pour l'analyse sont
 - Engage 3D
 - MapInfo 10
 - Global Mapper
 - ArcGis 0.1 (ESRI., 2012) et R
 - library FactoMiner et library Factoshiny

Méthode d'échantillonnage sur terrain

Pendant cinq jours d'échantillonnage sur le terrain à partir de (04/04/2021) jusqu'à (08/04/2021) dans le parc national de Belezma, un échantillonnage a été effectué les points d'échantillonnages ont été choisie selon un type d'échantillonnage mixte subjectif-aléatoire et en fonction du gradient écologique notamment l'altitude, l'orientation de versants et selon l'accessibilité. Au total, 54 points d'occurrence ont été acquises à l'aide d'un système de positionnement mondial (GPS).

Les feuilles du chêne vert ont été prélevés d'un seul arbre choisi aléatoirement par un Scie à main et ont été assemblés dans des sacs en papier pour le calcul du rapport poids sec /poids frais et SLA., ainsi que la détermination des espèces accompagnatrices et leurs taux de recouvrement. La présence du Chêne vert a été notée en 46 points parmi les 54 points échantillonnées.

Méthode au laboratoire : selon trois étapes :

La première étape, la mesure de poids frais a été réalisée avec une balance de précision, et le poids sec a été mesuré après un séchage des feuilles de chêne vert à l'aide d'un étuve de séchage à une température de 38°C pendant 24h, afin de calculer le rapport poids sec / poids frais.

La deuxième étape, la surface foliaire a été mesurée après avoir scanné en noir et blanc dix feuilles afin de pouvoir les traiter ensuite à l'aide de logiciel "Image J". Ce dernier est un logiciel libre qui fonctionne aussi bien dans la mesure de la surface foliaire en pixels.

La dernière étape, la surface foliaire spécifique (specific leaf area, SLA) a été calculée par la formule suivante : $SLA = \text{surface (m}^2\text{)} / \text{poids sec des feuilles (kg)}$.

2.1. Description des données environnementale utilisée :

les variables utilisées dans l'analyse ont été acquies depuis des bases de données suivantes : (**Hengl et al., 2014**), pour les caractéristiques édaphiques, le site ASTER GDEM pour les Modèles Numérique de Terrain, (**Hijmans et al., 2005**) pour les données climatiques.

Les outils utilisés pour l'analyse sont, Engage 3D, MapInfo 10, Global Mapper et la suite ArcGIS 0.1 (ESRI., 2012) et R ; library FactoMiner et library Factoshiny

Les diverses variables utilisées ont été rassemblées en trois groupes de variables environnementales :

2.1.1. Variables édaphiques

Elles englobent des caractéristiques physicochimiques du sol, à savoir : le taux d'Argile, taux de Limon, taux du Sable, la densité apparente du sol, densité apparente du sol, les teneurs en Azote, les teneurs en carbone et la porosité du sol. Ces données ont été obtenues à partir de la base de données Soil grid (**Hengl et al., 2015**). Ces données jusqu'à présent sont les plus détaillées, contenant des prédictions spatialement interpolées de certains nombres de propriétés du sol à une résolution qui peut atteindre 250 x 250 m, ces données représentent les propriétés du sol jusqu'à six profondeurs du sol (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 et 100-200 cm). ISRIC a réalisé une base de données contenant une gamme de produits dérivés du sol qui prennent en compte les différences dans les besoins des utilisateurs (**Batjes et al., 2015**)

Les données des six horizons pédologiques ont été pondérées par la hauteur de l'horizon pour obtenir une seule couche de données au format ASCII Grid pour chaque paramètre édaphique.

Les 12 variables édaphiques sont codées comme suit :

- **ARGILE:** taux d'argile (%)
- **LIMON:** taux de limon (%)
- **SABLE:** taux de sable (%)
- **POROSITE:** porosité [%]
- **DENSIT_AP:** densité apparente du sol (terre fine) [kg / m³]
- **CARBONE:** carbone total du sol [g / kg]
- **AZOTE:** azote total du sol [g / kg]

De plus, les données climatiques et édaphiques, des bases de données WorldClim et solgrids, respectivement, ont été utilisées pour calculer la capacité en eau disponible du sol de l'été 'BILAN_ETE ' et du printemps 'BILAN_PRIN ' et d'Automne 'BILAN_AUTO 'et du hiver 'BILAN_HIVE ' et le bilan annuel 'BILAN_ANN ' .

2.1.2. Variables climatiques :

Elles sont obtenues à partir de la base de données Wordclim (version 1) pour la période actuelle (1950-2000).

Les 19 variables sont codées comme suit :

- **BIO1:** Température moyenne annuelle.
- **BIO2:** Moyenne amplitude diurne (moyenne mensuelle de (temps max - min temps).
- **BIO3:** Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100).
- **BIO4:** Saisonnalité de la température (écart-type * 100).
- **BIO5:** Température maximale de mois le plus chaud.
- **BIO6:** Température minimale de mois le plus froid.
- **BIO7:** Plage de température annuelle (BIO5-BIO6).
- **BIO8:** Température moyenne de trimestre le plus humide.
- **BIO9:** Température moyenne de trimestre le plus sec.
- **BIO10:** Température moyenne de trimestre le plus chaud.
- **BIO11:** Température moyenne de trimestre le plus froid.

- **BIO12:** Précipitations annuelles.
- **BIO13:** Précipitation de mois le plus humide.
- **BIO14:** Précipitation de mois le plus sec.
- **BIO15:** Saisonnalité des précipitations (coefficient de variation).
- **BIO16:** Précipitation de trimestre le plus humide.
- **BIO17:** Précipitation de trimestre le plus sec.
- **BIO18:** Précipitation de trimestre le plus chaud.
- **BIO19:** Précipitation de trimestre le plus froid.

Sur 19 variables climatiques obtenues auprès de WorldClim (**Hijmans et al., 2005**), six ont été sélectionnées, à savoir: Température moyenne annuelle 'BIO1'. Plage diurne moyenne 'BIO2', isothermalité 'BIO3', saisonnalité de la température 'BIO4', Température maximale de mois le plus chaud. 'BIO5', Plage de température annuelle 'BIO7'.

Les données worldclim sont des couches de données issues d'une interpolation des données climatiques mensuelles moyennes des stations météorologiques formant des grilles qui peuvent atteindre jusqu'à 30 arc-secondes de résolution (**Poggio et al., 2018**).

2.1.3 Variables liées à la topographie

Elles sont générées à partir du Modèle Numérique Terrain à résolution de 30 mètres, à savoir : l'altitude, degré d'orientation Nord (Cos Exposition), la pente, rugosité topographique et le rayonnement global théorique saisonnière. Les données sont sous forme de grille a résolution kilométrique, projection UTM Wgs84.

- L'altitude : Correspond à la valeur des pixels lue sur le MNT. (**Joly et al., 2007**).
- La pente : c'est la valeur de d'inclinaison par rapport au du plan horizon (0°). en théorie les valeurs s'échelonnent théoriquement de 0 à 90 ; mais des pentes supérieures à 50° sont rares, même en milieu montagnard (**Joly et al., 2009**).
- Rugosité topographique (de surface) définie par l'écart type moyen des hauteurs par rapport à un plan de référence, considérée comme l'une des importantes caractéristiques hydrodynamiques des sols.
- L'orientation des versants: valeur quantifiant la position d'un pixel par rapport au nord (0°).

- Le rayonnement global théorique : calculé pour l'équinoxe, situation moyenne, intermédiaire entre les solstices. Il prend en compte la pente et l'orientation des versants ainsi que la hauteur et l'azimut du soleil (Munner, 2004). Un calcul horaire est effectué puis les 24 valeurs obtenues sont sommées en vue d'obtenir la valeur quotidienne puis mensuel Les masques topographiques qui, souvent en montagne, imposent des ombres, sont détectés jusqu'à 2Km.

Les 5 variables sont codées comme suit :

- **ALT:** Les altitudes (m).
- **PENTE:** Les pentes (%).
- **COS_EXPOSITION:** L'orientation des pentes (exposition des versants).
- **RUG:** La rugosité topographique.
- **REG (saisonniers):** Rayonnement solaire global théorique saisonnier (W/m^2).

2.2. Capacité en eau disponible du sol

2.2.1. Méthodologie de calcul du Bilan hydrique du sol

Le bilan hydrique est un indicateur d'une importance capitale vis-à-vis les besoins de la végétation naturelle ou l'Agriculture, son évaluation permet la gestion et la planification dans le cadre d'une utilisation rationnelle des ressources naturelles et participe vivement au développement durable notamment au niveau des zones arides et semi arides. La quantification et l'évaluation du bilan hydrique du sol reste un des problèmes de la recherche hydrologique, il se définit comme la quantité des eaux entrées dans la fraction vide des sols à une profondeur déterminée, cette quantité d'eau varie spatialement et temporellement dépendamment de plusieurs facteurs du milieu (par exemple précipitations, température, les caractéristiques granulométriques du sol, la profondeur du sol,...etc.) (Arar, 2020).

2.2.2. Le modèle du Bilan hydrique du sol

Nous avons appliqué un modèle simple de calcul du bilan hydrique à partir des données climatiques à savoir, les précipitations et l'évapotranspiration, et des données édaphiques à partir duquel nous avons extrait la réserve maximale que les sols pour chaque pixel peuvent contenir. Les données édaphiques utilisées sont : taux de Sable, taux d'argile, taux de limone, Porosité, Densité apparente du sol, Carbone total du sol, Azote total du sol (Arar, 2020).

2.2.3. Évapotranspiration

Pendant la saison de croissance des végétaux, le facteur le plus contribuant aux pertes importantes en eau du sol est l'évapotranspiration, notamment au niveau des régions arides et semi-arides. L'évapotranspiration est un facteur qui est lié à plusieurs facteurs environnementaux que ça soit humidité du sol à travers les profils verticaux ou les précipitations qui est un paramètre très important d'alimentation en eau du sol, les précipitations ont une répartition très hétérogène tout au long de la surface de la zone Nord Algérienne, une hétérogénéité qui se traduit par la variation spatiale induite par les reliefs (**Touazi et Laborde, 2004**), ces facteurs auquel s'ajoute le comportement stomatique du couvert végétale en place (**Daly et Porporato, 2004**).

Pour estimer l'évapotranspiration à travers toute la zone d'étude, nous avons choisi la formule de Thornthwaite qui utilise des facteurs d'évapotranspiration en les comparant avec les précipitations, à travers cette formule nous allons calculer les mouvements des eaux ascendants à partir du sol vers l'atmosphère et donc de savoir les changements hydriques mensuels du sol (**Vieira et al., 2017**).

La formule de Thornthwaite utilisée est la suivante :

$$ETP(m) = 16 * \left[\frac{10 * \bar{T}(m)}{I} \right]^a * F(m,\phi)$$

Avec :

- **ETP (m)** : l'évapotranspiration moyenne du mois m (m = 1 à 12) en mm,
- **T** : moyenne interannuelle des températures du mois, °C
- **a**: $0.016 * I + 0.5$
- **I indice thermique annuel :**

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \quad i(m) = \left[\frac{\bar{T}(m)}{5} \right]^{1.514}$$

Dont :

- **i (m)** : indice thermique mensuel.
- **T (m)** : Température moyenne mensuelle.

1.1.1 Réserve utile maximale RUM

Dans cette section nous avons procédé au calcul par chaque pixel de la grille la réserve en eau maximale que le sol peut retenir à travers les diverses profondeurs (Fig. 16). La modélisation est une technique qui nous permette de calculer un tel paramètre important en prenant en compte les paramètres texturaux du sol pour chaque cellule de la grille. De ce fait, nous avons utilisé dans ce travail les équations de régression linéaire de **Rawls, (1982)** qui est estimé par la différence entre la teneur en eau du sol au champ ($CC = 2.0$) et le point de flétrissement ($PF = 4.2$) pour toutes les profondeurs du sol (**Bruand et al., 2003**), en pérennant en compte la densité apparente du sol en la multipliant la différence précédemment citée, dans le but d'exprimer les valeurs de la teneur en eau calculées en référence volumique (**Bruand et al., 1996**).

La formule de calcul est la suivante en tenant en compte la charge caillouteuse du sol pour tous les horizons du sol :

$$RUM2 = \left(1 - \frac{\sqrt{CC}^3}{100}\right) \sum_{h=1}^H \theta_{-33kPa} - \theta_{-1500kPa} Dh$$

Dont

- **RUM**= réserve utile Maximale du sol
- **CC**= charge caillouteuse du sol,
- **W330** = teneur en eau à -330 hPa (en mm/m) qui est la capacité au champ
- **W15000** = teneur en eau à -15 000 hPa (en mm/m) qui est les points de flétrissements.
- **h** : épaisseur de l'horizon (en m)

Pour le calcul de la teneur en eau du sol à la capacité au champ et au point de flétrissements nous avons utilisé les formules suivantes en tenant en compte les caractéristiques granulométriques du sol :

- **W330** = $257,6 - (2 \times Sa) + (3,6 \times Ar) + (29,9 \times MO)$
- **W15000** = $26 + (5 \times Ar) + (15,8 \times MO)$

Dont

- **SA** : teneur en sable (en %)
- **Ar** : teneur en argile (en %)

- **MO** : teneur en Matière organique (en %)

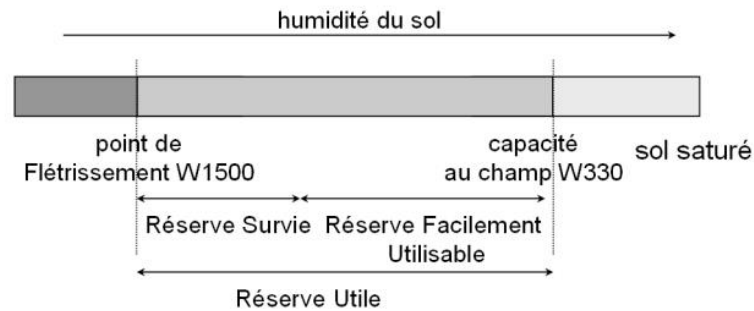


Figure 6: Schéma représentant la réserve utile en eau du sol (Dripps et Bradbury, 2007).

2.2.4. Réserve utile réelle du sol RUR

La réserve utile réelle du sol a été calculée pour chaque mois, la méthodologie de calcul vise à déterminer les distributions spatiotemporelles (mensuelles) de la réserve en eau réelle du sol à travers toutes les profondeurs pour toute la région d'étude pixel par pixel, en utilisant la méthode indiquée ci-dessous :

Réserve en eau réelle = quantité d'eau du sol antécédente + précipitation – (évapotranspiration + ruissellement + interception + infiltration).

Cette méthode a pour objectif d'évaluer la dynamique mensuelle (que nous l'avons transformé en données saisonnières) des quantités d'eaux contribuant à recharger la réserve maximale du sol à travers toutes les profondeurs en soustrayant les quantités des eaux en surplus qui sont perdues à travers l'évapotranspiration, ruissellement, interception et infiltration (Dripps et Bradbury, 2007).

Chapitre III

“ Résultats et discussion

”

1. Résultats

1.1. La corrélation des variables environnementales

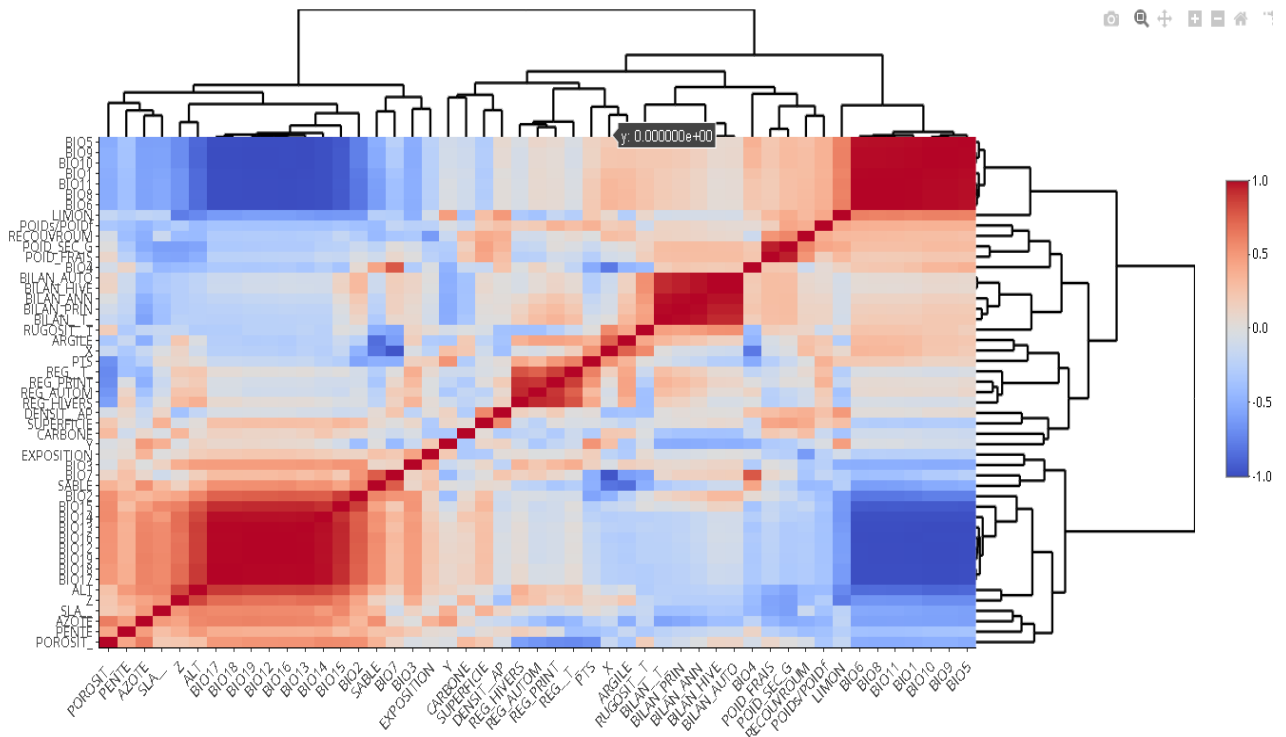


Figure 7: Carte thermique montrant la matrice de corrélation entre les 50 variables environnementales utilisées. Les valeurs des coefficients de corrélation de Pearson sont affichées par la couleur et l'intensité de l'ombrage ■ $r = +1$ ■ $r = -1$

Un total de 34 variables environnementales, dont trois groupes de données (climatiques, édaphiques, topographiques), ont été retenues parmi 50 variables pour effectuer l'analyse statistique. Pour plus de détails, ces 34 variables ont été sélectionnées parmi 19 variables climatiques, 21 variables édaphiques et 10 variables topographiques, après avoir testé la colinéarité entre les variables à l'aide de tests de corrélation de Pearson (Figure 7). Avant toute exécution du modèle, les variables prédictives ayant une relation linéaire significative avec d'autres variables environnementales ont été exclues du modèle afin d'assurer une validité élevée des résultats. Il convient de mentionner qu'aucun niveau élevé de redondance n'existait entre les variables environnementales sélectionnées, c'est-à-dire que tous les coefficients de corrélation de Pearson par paires étaient inférieurs à $|0,8|$ (i.e. $|r| \geq 0,8$ (Kouba *et al.*, 2011)).

Le choix parmi les variables corrélées a été fait en fonction de leur rôle important dans l'adéquation des besoins écophysologiques des espèces (Guisan et Zimmermann, 2000; Williams *et al.*, 2012).

Tableau 4 : Corrélation du rapport poids sec / poids frais et SLA avec les variables édaphiques.

	SLA	Ps/Pf
LIMON	,039	-,230
SABLE	-,172	,312*
ARGILE	,150	-,208
CARBONE	-,377**	,251
AZOTE	-,310*	,400**
DENSIT_AP	,000	-,024
POROSITE	-,369*	,436**
BILAN_ANN	-,503**	,221
BILAN_HIVE	-,486**	,241
BILAN_ETE	-,471**	,221
BILAN_AUTO	-,476**	,240
BILAN_PRIN	-,500**	,188

** . La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Les résultats de la Corrélation (tableau 4) de SLA avec les variables édaphiques montre une corrélation négative hautement significative entre la teneur en carbone, Bilan hydrique saisonniers (les quatre saisons et annuelle), et une corrélation significative entre l'Azote et la porosité, le reste des variables ne présente aucune corrélation significative.

Le tableau 4 décrit la corrélation hautement significative entre l'Azote et la porosité et le Ps/Pf, la corrélation est significative entre le Ps/Pf et la teneur en sable, les autres variables ne présente aucune corrélation significative.

Tableau 5 : Corrélations du rapport poids sec / poids frais et SLA avec les variables climatiques.

	SLA	Ps/Pf
BIO1	,532**	-,352*
BIO2	-,387**	,339*
BIO3	-,351*	-,262
BIO4	,039	,411**
BIO5	,579**	-,297*
BIO7	-,150	,369*

** . La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Les résultats de la Corrélation (tableau 5) rapporte qu'il existe une corrélation SLA avec les variables climatique est décrit une corrélation positive hautement significative avec BIO1 (température moyenne annuelle) et BIO5 (température maximale du mois le plus chaud), une corrélation négative hautement significative BIO2 (la moyenne de l'amplitude diurne), également une corrélation négative significative avec BIO3 (isotermalité), tandis que BIO7 (plage des température annuelle) ne présente aucune corrélation significative.

Le tableau 5, illustre l'existence d'une corrélation du Ps/PF avec les variables climatique montre une corrélation positive hautement significative avec BIO4 (saisonnalité des températures) et une corrélation positive significative avec, BIO2 (la moyenne de l'amplitude diurne) et BIO7 (plage des température annuelle) et une corrélation négative significative BIO1 (température moyenne annuelle), BIO5 (température maximale du mois le plus chaud), alors qu'il ne présente aucune signification avec BIO3 (isotermalité).

Tableau 6 : Corrélations du Ps/Pf et SLA avec la variable liée à la topographie

	SLA	Ps/Pf
ALT	-,505**	,301*
PENTE	-,235	,435**
EXPOSITION	,239	-,182
RUGOSITE_TOPO	-,443**	,280
REG_HIVERS	-,221	-,132
REG_ETE	-,202	-,134
REG_AUTOM	-,186	,043
REG_PRINT	-,204	-,091

** . La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Les résultats de la Corrélations (tableau 6) rapporte qu'il existe une corrélation SLA avec la variable liée à la topographie est décrit une corrélation négative hautement significative avec l'Altitude et la Rugosité topographiques ne présente aucune corrélation significative avec les six variables restantes.

Le tableau 6, décrit l'existence d'une corrélation du Ps/PF avec la variable climatique montre une corrélation hautement significative avec la variable pente et ne présente pas de corrélation avec les autres variables.

Tableau 7 : la fréquence du taux de recouvrement des espèces

		Effectif	N % colonne
Quercus ilex	0	8	14.8%
	1	1	1.9%
	2	3	5.6%
	3	2	3.7%
	4	10	18.5%
	5	30	55.6%
Cedrus atlantica	0	37	68.5%

	1	4	7.4%
	2	1	1.9%
	3	6	11.1%
	5	6	11.1%
Juniperus oxycedrus	0	6	11.1%
	1	9	16.7%
	2	5	9.3%
	3	12	22.2%
	4	20	37%
	5	2	3.7%
Juniperus phoenicea	0	33	61.1%
	1	7	13%
	2	2	3.7%
	3	4	7.4%
	4	7	13%
	5	1	1.9%
Ephedra sinica	0	32	59.3%
	1	16	29.6%
	3	4	7.4%
	4	2	3.7%
Globularia arabica	0	46	85.2%
	1	7	13%
	3	1	1.9%
Asparagus actifolius	0	50	92.6%
	1	4	7.4%
Asphodelus aestvus	0	33	61.1%
	1	19	35.2%
	2	2	3.7%
Fraxinus excelsior	0	50	92.6%
	1	2	3.7%
	3	1	1.9%
	4	1	1.9%
	0	52	96.3%

Olea europaea	2	1	1.9%
	3	1	1.9%
Erinacea anthyllis	0	53	98.1%
	1	1	1.9%
Pistacia lentiscus	0	51	94.4%
	1	2	3.7%
	2	1	1.9%
Phillyrea latifolia	0	49	90.7%
	1	3	5.6%
	4	2	3.7%
Rosa rubiginosa	0	52	96.3%
	2	2	3.7%
Salvia rosmarinus	0	52	96.3%
	2	1	1.9%
	3	1	1.9%
Dryas integrifolia	0	45	83.3%
	1	9	16.7%
Morus alba	0	52	96.3%
	1	2	3.7%
Retama raetam	0	53	98.1%
	2	1	1.9%
Stipa tenacissima	0	40	74.1%
	1	13	24.1%
	4	1	1.9%
Malva paraviflora	0	50	92.6%
	1	4	7.4%
Artemisia herb-alba	0	46	85.2%
	1	7	13%
	3	1	1.9%
Calicotome spinosa	0	33	61.1%
	1	21	38.9%
Cynodon dactylon	0	51	94.4%
	1	3	5.6%

Acacia sensu lato	0	50	92.6%
	1	4	7.4%
Santolina chamaecyparissu	0	51	94.4%
	1	3	5.6%
Ampelodesmos mauritanicus	0	25	46.3%
	1	27	50%
	2	2	3.7%
Astragalus scorpiodes	0	47	87%
	1	7	13%

Le tableau 7 décrit le taux du recouvrement des espèces par apport aux points d'échantillonnages :

- 1- **Quercus ilex** est absent dans 8 points et présent dans 46 points avec un taux de recouvrement moins de 75% dans 16 points et présent avec un taux de recouvrement de 75% à 100% dans 30 points dans la zone d'échantillonnage.
- 2- **Cedrus atlantica** est absent dans 37 points est présent avec un taux de recouvrement moins de 50% dans 11 points et présent avec un taux de recouvrement de 75% à 100% dans 6 points dans la zone d'échantillonnage.
- 3- **Juniperus oxycedrus** est absent dans 6 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 75% dans 46 points et présent avec un taux de recouvrement de 75% à 100% dans 2 points dans la zone d'échantillonnage.
- 4- **Juniperus phoenicea** est absent dans 33 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 75% dans 20 points et présent avec un taux de recouvrement de 75% à 100% dans 1 point dans la zone d'échantillonnage.
- 5- **Ephedra sinica** est absent dans 32 points et présent dans 22 points avec un taux de recouvrement moins de 75% dans les 22 points dans la zone d'échantillonnage.
- 6- **Globularia arabica** est absent dans 46 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 5% à 25% dans les 8 points dans la zone d'échantillonnage.
- 7- **Asparagus actifolius** est absent dans 50 points et présent avec un taux de recouvrement de 0% à 5% dans les 4 points dans la zone d'échantillonnage.

- 8- **Asphodelus aestvus** est absent dans 33 points et présent avec un taux de recouvrement de moins de 25% dans les 21 points dans la zone d'échantillonnage.
- 9- **Fraxinus excelsior** est absent dans 50 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 75% dans les 4 points dans la zone d'échantillonnage.
- 10- **Olea europaea** est absent dans 52 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 50% dans les 2 points dans la zone d'échantillonnage.
- 11- **Erinacea anthyllis** est absent dans 53 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 0% à 5% dans 1 point dans la zone d'échantillonnage.
- 12- **Pistacia lentiscus** est absent dans 51 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 25% dans les 3 points dans la zone d'échantillonnage.
- 13- **Phillyrea latifolia** est absent dans 49 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 75% dans les 5 points dans la zone d'échantillonnage.
- 14- **Rosa rubiginosa** est absent dans 52 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 25% dans les 2 points dans la zone d'échantillonnage.
- 15- **Salvia rosmarinus** est absent dans 52 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 50% dans les 2 points dans la zone d'échantillonnage.
- 16- **Dryas integrifolia** est absent dans 45 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 5% dans les 9 points dans la zone d'échantillonnage.
- 17- **Morus alba** est absent dans 52 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 5% dans les 2 points dans la zone d'échantillonnage.
- 18- **Retama raetam** est absent dans 53 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 25% dans 1 point dans la zone d'échantillonnage.
- 19- **Stipa tenacissima** est absent dans 13 points et présent points avec un taux de recouvrement moins de 75% dans les 1 points dans la zone d'échantillonnage.
- 20- **Malva paraviflora** est absent dans 50 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 5% dans les 4 points dans la zone d'échantillonnage.
- 21- **Artemisia herb-alba** est absent dans 46 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 50% dans les 8 points dans la zone d'échantillonnage.
- 22- **Calicotome spinosa** est absent dans 33 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 5% dans les 21 points dans la zone d'échantillonnage.

23- **Cynodon dactylon** est absent dans 51 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 5% dans les 3 points dans la zone d'échantillonnage.

24- **Acacia sensu lato** est absent dans 50 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 5% dans les 4 points dans la zone d'échantillonnage.

25- **Santonila chalaecyparissu** est absent dans 51 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 5% dans les 3 points dans la zone d'échantillonnage.

26- **Ampelodesmos mauritanicus** est absent dans 25 points et présent avec un taux de recouvrement moins de 25% dans les 29 points dans la zone d'échantillonnage.

27- **Astragalus scorpiodes** est absent dans 47 points et présent dans 7 points avec un taux de recouvrement moins de 5% dans les 7 points dans la zone d'échantillonnage.

1.2. Analyse des données groupement des espèces selon leurs présence dans les site d'échantillonnage

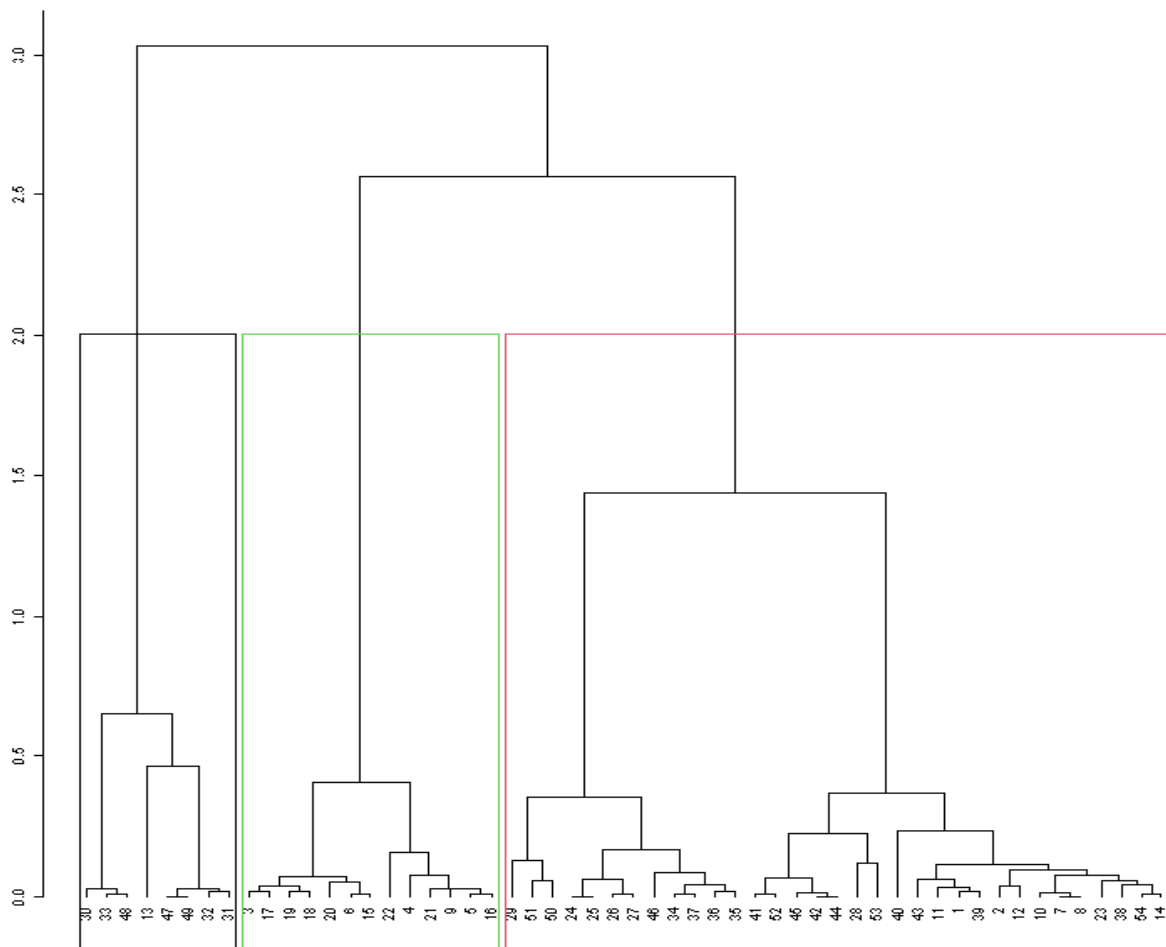


Figure 8 : Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique des individus.

La classe 1 est composée des points suivants 13, 30, 31, 32, 33, 47, 48 et 49. Ce groupe est caractérisé par :

- **Sous-groupe1** de fortes présences pour l'espèce: *Ephedra sinica*.
- **Sous-groupe2** de faibles présences pour les espèces *Quercus ilex* et *Asphodelus aestvus* (de la plus extrême à la moins extrême).

La classe 2 est composée des points suivants 1, 2, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 53 et 54. Ce groupe est caractérisé par :

- **Sousg-groupe1** de fortes présences pour l'espèce: *Quercus ilex*.
- **Sousgroupe2** de faibles présences pour l'espèce: *Cedrus atlantica*.

La classe 3 est composée des points suivants 3, 4, 5, 6, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 et 22. Ce groupe est caractérisé par :

- **Sous groupe1** de fortes présences pour les espèces *Cedrus atlantica* et *Dryas integrifolia* (de la plus extrême à la moins extrême).
- **Sous groupe2** de faibles présences pour l'espèce *Ephedra sinica*.

1.3. Analyse des données environnementales

1.3.1. Analyse des composantes principales des facteurs environnementales

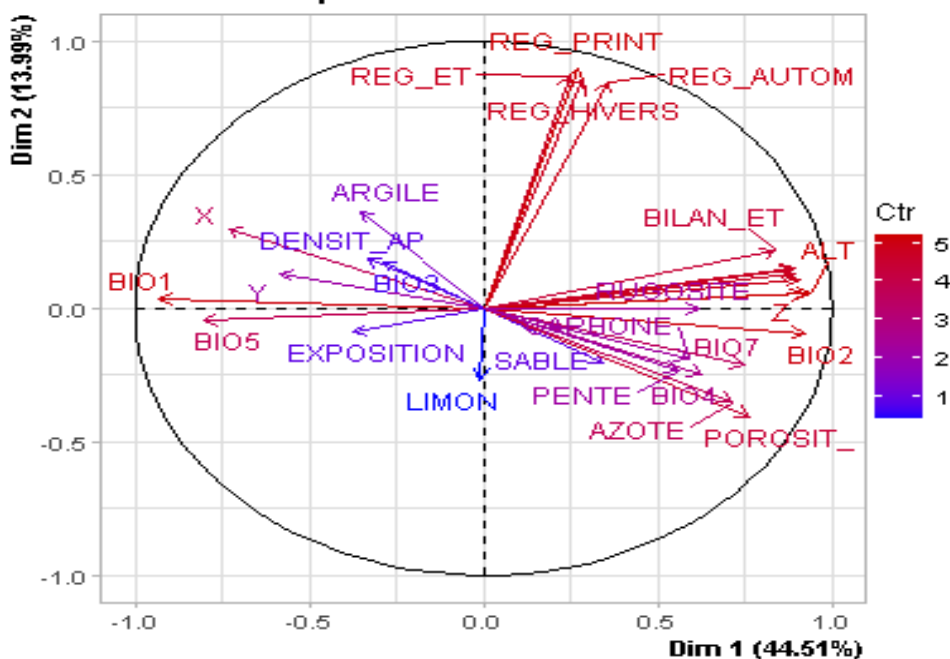


Figure 9 : schéma représentatif de la classification Ascendante hiérarchique des points d'échantillonnages selon les conditions environnementales

L'analyse des composantes principale à deux dimensions, montre que la dimension 1 explique 44,51% de l'information et dimension 2 explique 13,99%, les variables les plus corrélés positivement avec la dimension 1 sont : porosité, Bio2, porosité et bilan-été. Alors que Bio1, Bio5 et X (la longueur), présentent des corrélations négatives les plus élevées avec la dimension 1.

Au regard de la dimension 2 ; le rayonnement globale des quatre saisons présente les corrélations positives les plus élevées. Alors que les corrélations négatives sont faible et représentées par la variable sable.

Au niveau des contribution, qui est égale au carré de la contribution entre le variable et l'axe divisé par la somme des carrés des corrélations entre les variables et l'axe, illustré sur une échelle de 1 à 5 (bleu au rouge), sur la dimension 1 les variable les plus contribuant sont: porosité, Bio2, porosité et bilan-été. Tandis que Bio1, Bio5 et X (la longueur), présentent les contributions négatives les plus élevées avec la dimension 1.

La dimension 2 présente une faible contribution négative de la variable sable et des fortes contributions du rayonnement globale saisonnier (les quatre saisons).

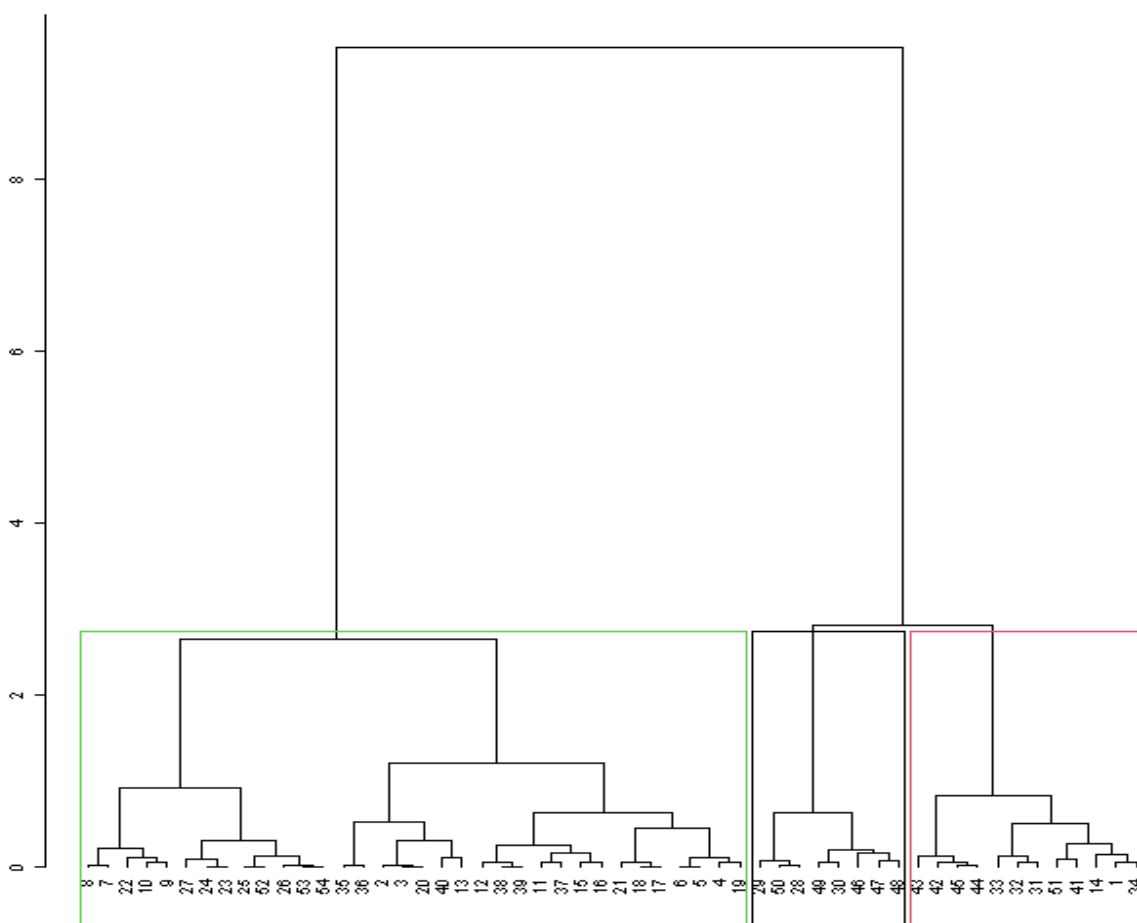


Figure 10 : Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique des points d'échantillonnages.

Les résultats de la classification hiérarchique des points d'échantillonnage selon les conditions environnementale des chaque points dégage trois classes distinctes :

La classe 1 est composée des points suivants 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 52, 53 et 54. Ce groupe est caractérisé par :

- **Sous-groupe 1** de fortes valeurs pour la variable LIMON.
- **Sous-groupe 2** de faibles valeurs pour les variables REG_AUTOM, REG_PRINT, REG_ET et REG_HIVERS (de la plus extrême à la moins extrême).

La classe 2 est composée des points suivants : 1, 14, 31, 32, 33, 34, 41, 42, 43, 44, 45 et 51. Ce groupe est caractérisé par :

- **Sous-groupe 1** de faibles valeurs pour les variables PENTE et RUGOSITE (de la plus extrême à la moins extrême).

La classe 3 est composée des points suivants : 28, 29, 30, 46, 47, 48, 49 et 50. Ce groupe est caractérisé par :

- **Sous-groupe 1** de fortes valeurs pour des variables telles que REG_AUTOM, REG_PRINT, REG_HIVERS, REG_ET, BILAN_ET, BILAN_ANN, BILAN_PRIN, ALT, BILAN_AUTO et BILAN_HIVE (de la plus extrême à la moins extrême).
- **Sous-groupe 2** de faibles valeurs pour les variables BIO1 et BIO5 (de la plus extrême à la moins extrême).

2- Discussion

La diminution des niveaux de nutriments dans les sols, en particulier l'azote et le carbone, sont des contraintes de la croissance des arbres (**Leuzinger et Hättenschwiler, 2013**), ce qui concorde avec les résultats de la forte corrélation positive de l'azote avec la Ps/Pf.

Poons et Percy, (1994) ont montré que le rapport de SLA diminue avec du l'augmentation du poids sec de la feuille. Ce qui explique la corrélation négative de l'azote et même du carbone avec SLA, ce qui explique la corrélation négative hautement significative avec l'azote et le carbone du sol.

La teneur en eau du sol et sa disponibilité sont les résultats d'un bilan hydrique résultant des entrées et sorties du cycle de l'eau dans un écosystème donné (**Armbruster et al., 2004, Cermak et al., 2010**). La végétation répond principalement aux variations interannuelles de la disponibilité de l'eau et moins à l'effet de la température et des éléments nutritifs en raison de la forte variabilité des précipitations. Par conséquent, une diminution des précipitations entraîne une faible disponibilité en eau affectant le végétal (**Zeng, 1999**).

D'un point de vue écologique, l'eau peut être considérée comme un élément clé de la production et de durabilité dès l'écosystème, tout en contribuant à sa stabilité, l'eau est essentielle, non seulement pour la nutrition, comme étant un milieu de réaction, mais aussi pour la croissance et le développement des peuplements végétales. L'eau du sol agit par ses effets de translocation, hydrolytiques et défloculants, dissolvants,. L'eau du sol est précieuse dans large processus physico-chimiques, biochimiques et biologiques et conditionne la pédogenèse et le développement de la pédosphère.

Les résultats de **Rosbakh et al., (2015)** ont trouvé qu'une corrélation positive significative entre la SLA et la température annuelle moyenne ce qui appuis les résultats de cette étude qui montre une corrélation positive hautement significative entre BIO1 (température moyenne annuelle) et BIO5 (la température maximale de mois le plus chaud).

Au regard de l'Isothermality qui quantifie l'amplitude thermique journalière par rapport aux oscillations estivo-hivernales (annuelles) multiplié par 100. L'isotherme est généralement utile pour les environnements tropicaux et maritimes (**Nix, 1986**). L'influence par des fluctuations de températures plus ou moins importantes au cours d'un mois par rapport aux fluctuations annuelles. Ces amplitude thermique affecte les activités des stomates et déclenche des

mécanismes d'adaptation tel que les fermetures des stomates et la diminution de la surface foliaire.

La réponse à la saisonnalité des précipitations qui évoque le coefficient de variation des précipitations, qui représente le rapport de l'écart type des précipitations mensuelles au cumul mensuel des précipitations, exprimée en pourcentage. Les espèces peut être fortement influencée par la variabilité des précipitations, cet indice de la variation du cumul mensuel des précipitations au cours de l'année, (O'Donnell *et al.*, 2012). La saisonnalité des précipitations est une variable climatique explicative importante dans la distribution du chêne liège dans le Sud de l'Espagne (Vessella *et al.*, 2017). Ce qui confirme la corrélation Bio3 avec Ps/Pf et par conséquent inversement corrélé avec SLA.

La surface foliaire spécifique a montré une plasticité phénotypique substantielle, comme l'indique la diminution significative de la SLA avec l'augmentation de l'altitude (Ariani *et al.*, 2018).

Smahi et kala, (2017) classe la végétation dans la région du parc nationale en 5 classes, parmi ces classe la végétation arboré est principalement constitué de 3 classe dont : i) la Forêt de cèdre de l'Atlas à chêne vert Constituée essentiellement *Cedrus atlantica* avec sous-bois : *Quercus ilex*, *Ilex aquifolium*, *Acer monspessulanum*, *Juniperus oxycedrus*, *Fraxinus dimorpha*, ii) Matorral de chêne vert à genévrier oxycèdre. Ce matorral est un taillis de *Quercus ilex* associé au *Juniperus oxycedrus* *Fraxinus dimorpha* et *Cedrus atlantica*, iii) Matorral de genévrier de Phénicie à chêne vert et genévrier oxycèdre. Le *Juniperus phoenicea* domine et se trouve associé à *Quercus ilex* et *Juniperus oxycedrus*. Cette structure de végétation horizontale concorde aux trois classes dégagées par la classification hiérarchique.

Conclusion

L'analyse des conditions environnementales (Climatiques, édaphique et liées à la topographie) sur deux indicateurs du bien-être du végétal et leurs variations spatiales de l'aire foliaire Spécifique SLA (*Specific Leaf area*) a dégagé une relation statistique significative. Les variables climatiques (BIO1, BIO2, BIO5 et BIO3), les variables édaphiques (carbone, azote, porosité et le bilan hydrique des quatre saisons) et les variables liées à la topographie (altitude, rugosité topographique) présentent une corrélation significative et SLA, de même pour Ps/Pf qui présente une corrélation significative avec les variables climatiques (BIO1, BIO2, BIO4 et BIO7), les variables édaphiques (azote et porosité) et les variables liées à la topographie (altitude et pente). Ces résultats expriment une forte sensibilité des deux indicateurs aux variations spatiales des variables environnementales,

La présence des espèces au niveau du parc national a été classée en trois classes principales de végétation arborée selon la classification hiérarchique des sites à savoir ;

- i) Dominance *Ephedra. sinica* avec présence de *Quercus. ilex*,
- ii) Dominance de *Quercus. ilex* avec présence de *Cedrus. atlantica*,
- iii) Dominance de *Cedrus. atlantica* avec présence de *Ephedra. sinica*

Cet assemblage d'espèces en trois groupes exprime la succession naturelle en fonction des variations spatiales des conditions écologiques.

En perspective et pour bien encadrer l'influence du changement du climat sur la distribution et le remplacement des espèces selon leur tolérance au changement, il est nécessaire d'analyser ces résultats avec les scénarios du climat futur prévus par le GIEC.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Abdessemed. K (1981) : *Etude physiologique dans les massifs de l'Aurès et du Belezma, Etude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement*. Thèse de Doctorat.Fac.S.t.Jérôme. Université d'AixMarseilIII.
2. ARAR, A. (2020). *Évaluation de la dynamique des niches écologiques distributionnelles des écosystèmes forestiers du Nord Algérien* (Doctoral dissertation, Université de M'sila).
3. AZZOUZ, F. (2009). *Les Réponses morpho physiologiques et biochimiques chez le haricot (Phaseolus vulgaris L.) : soumis à un stress hydrique* (Doctoral dissertation, Université d'Oran1-Ahmed Ben Bella).
4. Benomar, L. (2012). *Plantation de peuplier hybride dans la région boréale du Canada : Espacement entre les arbres, déploiement mixte et modélisation éco-physiologique de l'assimilation du carbone à l'échelle de la canopée*. Université du Québec en Abitibi-Temiscamingue (Canada).
5. Benzina, I., & Si Bachir, A. (2019). Biodiversité des macroinvertébrés benthiques et évaluation multiparamétrique de la qualité des cours d'eau dans la réserve de biosphère du Belezma.
6. BOUBEKEUR, M. (2008). *Contribution à l'étude des comportements morpho-physiologiques de le haricot (Phaseolus vulgaris L.) sous contraintes hydrique et saline* (Doctoral dissertation, Université d'Oran1-Ahmed Ben Bella).
7. Bouchemal, K., & Djekoun, A. (2018). *Etude des enzymes du stress oxydatif chez le blé dur (Triticum durum Desf.)* (Doctoral dissertation, جامعة الإخوة منتوري قسنطينة).
8. BOUKERKER, H. (2016). *Auto-écologie et évaluation de la biodiversité dans les Cédraies de Cedrus atlantica Manetti dans le parc national de Belezma (Batna, Algérie)* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
9. BOUKERKER, H. (2016). *Auto-écologie et évaluation de la biodiversité dans les Cédraies de Cedrus atlantica Manetti dans le parc national de Belezma (Batna, Algérie)* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
10. colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011, Agrotransfert.
11. Duprarque, A., & Rigalle, P. (2011, January). Composition des MO et turn over. In *Rôles et fonctions des MO, actes du colloque «Gestion de l'état organique des sols (Vol. 27)*.

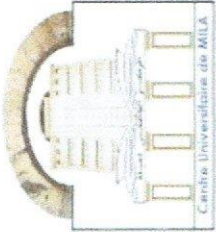
12. Durand, J. L. (2007). Les effets du déficit hydrique sur la plante: aspects physiologiques. *Fourrages*, 190, 181-195.
13. Etterson, J. R., & Mazer, S. J. (2016). How climate change affects plants' sex lives. *Science*, 353(6294), 32-33..
14. Garell12, M. E. C., & Crisley, M. U. (2019). Estimation des valeurs génétiques de la croissance et de la surface spécifique foliaire de *Eucalyptus urophylla* (ST Blake)× *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maid.) et leurs corrélations.
15. Garnier, E., Shipley, B., Roumet, C., & Laurent, G. (2001). A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional ecology*, 688-695.
16. GHEZALI, D. (2012). *Systématique et bioécologie des acariens du sol (Acari-Oribatida) en Algérie* (Doctoral dissertation).
17. Hager, H., & Sterba, H. (1985). Specific leaf area and needle weight of Norway spruce (*Picea abies*) in stands of different densities. *Canadian Journal of Forest Research*, 15(2), 389-392.
18. Halimi, A. (1980). *L'Atlas Blidéen: climats et étages végétaux*. Office des publications universitaires.
19. Insaf, B. E. N. T. O. U. A. T. I., & Hadjer, S. A. F. S. A. F. (2019). *Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et les paramètres de croissance du blé (Triticum sp)* (Doctoral dissertation).
20. Kotchi, S. O. (2004). Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge : Application à la culture de la pomme de terre.
21. LABDELLI, A. (2012). *Etude des effets des variations Morpho-structurales du système racinaire pour la tolérance à la sécheresse du Blé dur (Triticum durum Desf.)* (Doctoral dissertation, Université d'Oran1-Ahmed Ben Bella).
22. Leuzinger, S., & Hättenschwiler, S. (2013). Beyond global change: lessons from 25 years of CO₂ research. *Oecologia*, 171(3), 639-651.
23. Melle, P. P., & MOUELLEF, A. (2010). Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique.
24. MOUFFAK, A. A. (2009). *Etude analytique de la variabilité de la proline, des sucres solubles totaux et des protéines totales solubles, sous stress salin chez Vigna radiata. L Wilczek* (Doctoral dissertation, Université d'Oran1-Ahmed Ben Bella).

25. Mouton, J. A. (1966). Les types biologiques foliaires de Raunkiaer. Etat actuel de la question. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 113(sup2), 28-36.
26. Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., ... & Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change : Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332).
27. Poon, P. S. (1994). An Empirical Examination of the Return Volatility-Volume Relation in Related Markets: The Case of Stock and Options. *Financial Review*, 29(4), 473-496.
28. Resmond, R. (2011). *Relation entre traits fonctionnels de plantes de services et leur capacité à contrôler des adventices en bananeraies* (Doctoral dissertation, Agrocampus Ouest).
29. Rosbakh, S., Römermann, C., & Poschlod, P. (2015). Specific leaf area correlates with temperature: new evidence of trait variation at the population, species and community levels. *Alpine Botany*, 125(2), 79-86.
30. Ruget, F., Bonhomme, R., & Chartier, M. (1996). Estimation simple de la surface foliaire de plantes de maïs en croissance. *Agronomie*, 16(9), 553-562.
31. Sahli, M. (2004). Conservation et développement dans le Parc National du Belezma (Wilaya de Batna, Algérie). *مجلة العلوم الإنسانية*, 81-91.
32. Salmi, M. (2018). *Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F2 de blé dur (triticum durum desf.) sous conditions semi-arides* (Doctoral dissertation).
33. Seneviratne, S. I., Donat, M. G., Mueller, B., & Alexander, L. V. (2014). No pause in the increase of hot temperature extremes. *Nature Climate Change*, 4(3), 161-163.
34. Shipley, B., & Vu, T. T. (2002). Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts. *New Phytologist*, 153(2), 359-364.
35. Souidi, Z., Larbi, H., Hamimed, A., & Kattar, S. (2014). Adaptation des formations de chêne-liège (*Quercus suber*) de l'Algérie occidentale tellienne face aux changements climatiques. *IOBC-WPRS Bulletin*, 101, 1-9.
36. Sourour, A. (2017). Etude comparative de l'effet du stress hydrique sur le Comportement de quatre génotypes de blé dur (*Triticum durum Desf.*).
37. Suh, H. W., Dayton, A. D., Casady, A. J., & Liang, G. H. (1976). Diallel cross analysis of stomatal density and leaf-blade area in grain sorghum, *Sorghum bicolor*. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, 18(4), 679-686.

38. Sylvia, N. F. (2010). *DETERMINATION DE LA SURFACE SPECIFIQUE FOLIAIRE (SSF), RELATION AVEC LE FONCTIONNEMENT PHYSIOLOGIQUE CHEZ DIX VARIETES DE RIZ PLUVIAL* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE D'ANTANANARIVO).
39. Tshiabukole, J. P. K. (2018). *Evaluation de la sensibilité aux stress hydriques du maïs (Zea mays L.) cultivé dans la savane du Sud-Ouest de la RD Congo, cas de Mvuazi* (Doctoral dissertation, Université Pédagogique Nationale Kinshasa (République démocratique du Congo)).
40. Urban, M. C., Bocedi, G., Hendry, A. P., Mihoub, J. B., Pe'er, G., Singer, A., ... & Travis, J. M. (2016). Improving the forecast for biodiversity under climate change. *Science*, 353(6304).
41. Vile, D. (2005). *Significations fonctionnelle et écologique des traits des espèces végétales : exemple dans une succession post-culturale méditerranéenne et généralisations* (Doctoral dissertation, Montpellier 2).
42. Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, 116(5), 882-892.
43. Vitelli, M., Vessella, F., Cardoni, S., Pollegioni, P., Denk, T., Grimm, G. W., & Simeone, M. C. (2017). Phylogeographic structuring of plastome diversity in Mediterranean oaks (Quercus Group Ilex, Fagaceae). *Tree Genetics & Genomes*, 13(1), 1-17.
44. Wilson, P. J., Thompson, K. E. N., & Hodgson, J. G. (1999). Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *The New Phytologist*, 143(1), 155-162.



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf- Mila
Institut de Sciences et Technologie
Département de Sciences de la Nature et de la Vie
Laboratoire : Sciences de la Nature et des Matériaux (LSNM)



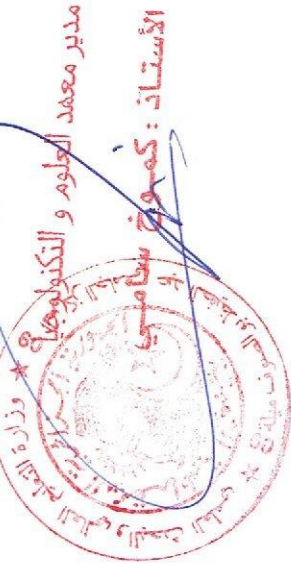
Attestation de Participation par Visioconférence

Au 1^{er} Séminaire National sur les Ressources Naturelles face aux Contraintes
d'Usage et du Changement Climatique (SENACUC, 2021), le 04 Juillet 2021

La présidente du séminaire atteste que Mr/Mme : **Ayadi Narimene** a présenté une communication orale
**Sous le titre : La variation spatiale de la surface foliaire spécifique SLA du Chêne vert dans le Parc
National de Belezma.**

Co-auteurs : Bouchatah malek, Arar Abdelkrim et Tabet Slimane.

Directeur de l'Institut



Présidente du Séminaire (SENACUC, 2021)

**Dr. KHERIEF-NACEREDDINE
Saliha**