

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 :

**Analyse spatial de la surface foliaire spécifique SLA en  
tant que prédicteur de la distribution de la végétation.**

Présenté par :

**GHOUDBANE Zina**

**KADRI Manar**

Devant le jury :

Président : Pr. BOUNAMOUS Azeddine (Pr) Centre universitaire de Mila

Examineur : Dr. SMARA Lounis (MCB) Centre universitaire de Mila

Promoteur : Dr. 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 style. 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) written in a cursive script. The calligraphy features thick black lines and intricate flourishes, including small decorative elements like squares and dots. The overall appearance is that of a traditional Islamic calligraphic work.

# *Remerciement*

*Nous exprimons d'abord nos profonds remerciements et nos vives reconnaissances à **Monsieur** Tabet Slimane. Maître Assistant au Centre Universitaire de Mila pour avoir accepté de diriger et de réaliser ce travail. Nous vous remercions pour votre confiance, votre soutien et votre disponibilité. Vos qualités morales, intellectuelles et surtout votre intérêt pour la science forcent le respect et l'admiration.*

*Nous exprimons également nos vifs remerciements à **Monsieur** Bounamous A. Maître de conférences au Centre Universitaire de Mila d'avoir accepté d'assurer la présidence du jury de notre mémoire. Votre simplicité et votre modestie sont à la dimension de votre envergure scientifique.*

*Nous tenons à exprimer notre vive reconnaissance à **Monsieur** Smara Lounis. Maître de conférences au Centre Universitaire de Mila pour avoir accepté de juger ce travail et nous honorer de sa présence.*

*Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance à ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

# *Dédicace*

*A l'aide d'Allah, le tout puissant, j'ai réalisé ce travail que je dédie à :*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études*

*A mes grands parents*

*A mes chères sœurs Selma, Amira et Marwa, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*A mon cher frère Youcef*

*A ma chère tante Ghodbane Selma*

*A mes chères cousines Moures Meryem et Belatar Aicha*

*A tous mes chers oncles et tantes*

*A quelqu'un qui compte beaucoup pour moi, qui a été mon soutien et ma constante source des forces*

*A toute mes amies Meryem, Manar, Nina, Sabrina, chahinez, Zahira et Bochra*

*A tous ceux qui me sont chers*

*A tous ceux qui m'aiment*

*A tous ceux que j'aime.*

**ZINA**

# *Dédicace*

*A mes chers parents.*

*Ma mère pour m'avoir mis au monde et pour m'avoir accompagné tout le long de ma vie. Mon père qui sans lui je ne serais pas arrivé jusqu'ici. J'espère toujours rester fidèle aux valeurs morales que vous m'avez apprises.*

*A mes sœurs : Amina, Imene. Qui ont su me reconforter, me redonner du courage et m'épauler lors des moments difficiles.*

*A mon petit frère : Hatem. Qui m'a toujours étonné*

*A toutes les personnes que je porte dans le cœur, mes très chers ami(e)s : Sabrina,  
Zina, Narimene*

*Je vous dédie ce travail car je ne peux que vous offrir ce que j'ai appris de mieux dans ma vie.*

*MANAR*

## Résumé

Les traits fonctionnels des espèces sont définis comme étant des caractéristiques morpho-physicothéologiques qui influencent les performances d'un individu donné, par leurs effets sur sa croissance, sa reproduction ou sa survie. La présente étude a pour objectif d'appréhender, d'une part, l'influence des conditions environnementales sur la variation spatiale de SLA et Ps/Pf et d'autre part de comprendre le changement de la distribution des groupes d'espèces en fonction des variations spatiales des variables environnementales. Seul BIO5 (la température maximale de mois le plus chaud) et l'altitude présente une corrélation significative avec SLA. Alors que Ps/Pf ne présente aucune corrélation significative avec l'ensemble des variables environnementales. La classification hiérarchique a dégagé trois classes principales. En perspective le choix des sites et le nombre de points doivent être bien étudiés et les points doivent être éloignés afin de couvrir au maximum le gradient écologique.

## Abstract

The functional traits of species are defined as morpho-physic theological characteristics that influence the performance of a given individual, through their effects on its growth, reproduction or survival. The objective of this study is to understand, on the one hand, the influence of environmental conditions on the spatial variation of SLA and Ps / Pf, and on the other hand to understand the change in the distribution of groups of species according to the spatial variations of environmental variables. Only BIO5 (the maximum temperature of the hottest month) and altitude shows a significant correlation with SLA. Whereas Ps / Pf does not show any significant correlation with all the environmental variables. The hierarchical classification has identified three main classes. In perspective, the choice of sites and the number of points must be well studied and the points must be distant in order to cover the ecological gradient as much as possible.

## ملخص

تُعرّف السمات الوظيفية للأنواع بأنها الخصائص المورفولوجية الفيزيائية التي تؤثر على أداء فرد معين ، من خلال تأثيرها على نموه أو تكاثره أو بقائه. الهدف من هذه الدراسة هو فهم ، من ناحية ، تأثير الظروف البيئية على التباين المكاني لـ SLA و Ps / Pf ، من ناحية أخرى ، لفهم التغيير في توزيع مجموعات الأنواع وفقاً للمكان. متغيرات المتغيرات البيئية. فقط BIO5 (درجة الحرارة القصوى للشهر الأكثر سخونة) والارتفاع يظهران علاقة كبيرة مع اتفاقية مستوى الخدمة. في حين أن Ps / Pf لا يظهر أي علاقة معنوية مع جميع المتغيرات البيئية. حدد التصنيف الهرمي ثلاث فئات رئيسية. في المنظور ، يجب دراسة اختيار المواقع وعدد النقاط جيداً ويجب أن تكون النقاط بعيدة من أجل تغطية التدرج البيئي قدر الإمكان.

Remerciement  
Dédicace  
Résumé  
Sommaire  
Liste des tableaux  
Liste des figures  
Les abréviations  
Introduction

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Changement climatique.

1. Notions associées au changement climatique ..... 5  
    1.1. Climat ..... 5  
    1.2. Système climatique ..... 5  
    1.3. Variabilité climatique ..... 6  
    1.4. Changement climatique ..... 6  
2. Classification climatique ..... 6  
    2.1. Le climat tropical humide ..... 6  
    2.2. Le climat subtropical ..... 6  
    2.3. Le climat tempéré ..... 6  
    2.4. Le climat polaire ..... 7  
    2.5. Le climat désertique ..... 7  
3. Synthèse des travaux du GIEC et l'indicateur du changement climatique ..... 7  
    3.1. Présentation du GIEC ..... 7  
    3.2. Les indicateurs du changement climatique ..... 8  
        3.2.1. À l'échelle globale ..... 8  
        3.2.2. A l'échelle régionale (l'Algérie) ..... 9  
4. Les causes des changements climatiques ..... 10  
    4.1. Causes naturelles ..... 10  
        4.1.1. L'effet de serre ..... 11  
        4.1.2. L'activité solaire ..... 12  
        4.1.3. Les activités volcaniques ..... 13  
    4.2. Causes anthropiques ..... 13

Chapitre 2 : Les conséquences du changement climatique sur les végétaux

1. Les conséquences des changements climatiques sur les végétaux ..... 17

1.1.Le dépérissement .....	18
1.1.1.Les phénomènes de dépérissement .....	19
1.1.2.Les types de dépérissement.....	19
1.1.3.Les facteurs du dépérissement .....	19
1.1.4.Le stress hydrique : une cause majeure du dépérissement des arbres forestiers.....	21
1.1.5.Les symptômes du dépérissement.....	22
1.2.Changement dans la phénologie des espèces .....	23
1.3.Les conséquences du changement climatique au niveau de feuilles .....	23
1.3.1.Sur le nombre du stomate .....	23
1.3.2.Sur le Fonctionnement des stomates.....	24
1.3.3.Sur l'échange gazeux .....	24
2.Les traits fonctionnels .....	24
2.1.Définition.....	25
2.2.La Surface Spécifique Foliaire (SLA pour Specific leaf area).....	25
2.2.1.Notions associées de La Surface Spécifique Foliaire (SLA).....	25
2.2.2.L'importance d'étude de SLA .....	26
2.2.3.Les facteurs environnementaux interviennent dans la variation de la SLA.....	27
 Chapitre 3: Monographie du cèdre de l'Atlas 	
1.Aperçu historique sur le cèdre.....	30
2.Classification systématique .....	30
3.Caractéristiques botaniques du cèdre de l'Atlas .....	31
4.L'aire de répartition géographique du cèdre de l'Atlas.....	32
4.1.L'aire naturelle .....	32
4.2.L'aire d'introduction .....	34
5.Ecologie du cèdre de l'Atlas .....	35
5.1.Les conditions climatiques .....	35
5.1.1.Les précipitations .....	35
5.1.2.Les températures .....	36
5.1.3.L'altitude.....	36
5.1.4.Le substrat .....	37
5.1.5.La lumière .....	37
5.1.6.L'exposition .....	38
5.1.7.Etages bioclimatiques .....	38
5.1.8.Autres facteurs climatiques.....	38



---

5.2.Conditions édaphiques.....	39
6.Cortège floristique.....	40
7.Facteurs de dégradation.....	41
7.1.Les insectes.....	41
7.2.Les champignons .....	41
7.3.Les animaux.....	42
7.4.L'homme .....	42
7.5.Les incendie.....	42
8.Intérêts de la cédraie.....	43
8.1.Intérêt socio-économique .....	43
8.2.Intérêt patrimonial .....	43

Etude expérimentale

Matériels et méthodes

1.Présentation de la zone d'étude.....	47
1.1.Historique sur le Parc National de Belezma.....	47
1.2.Présentation du Parc National de Belezma.....	47
1.2.1.Situation géographique .....	48
1.3.Carte de végétation .....	49
1.4.Caractérisation de la zone d'étude.....	50
1.4.1.Etude du milieu physique.....	50
1.4.2.Etude du milieu biotique.....	55
1.4.3.Étude climatique .....	56
1.5.Importance et originalité du parc national du Belezma.....	59
2.Méthodologie .....	61
2.1.L'échantillonnage .....	61
2.2.Travaux de labo .....	61
2.3.Variables environnementales.....	62
2.3.1.Variables édaphiques .....	62
2.3.2.Variable climatique .....	63
2.3.3.Variables liées à la topographie : .....	64
2.4.Capacité en eau disponible du sol.....	66
2.4.1.Méthodologie de calcul du Bilan hydrique du sol .....	66
2.5.Méthodes statistiques.....	69

Résultats et discussion

1.Résultats .....	71
1.1.Sélection des Variables environnementales .....	71
1.2.Corrélations entre variables environnementales et les deux indicateurs SLA et Ps/Pf ..	72
1.2.1. Corrélations des variables climatique et SLA et ps/Pf.....	72
1.2.2. Corrélations de SLA et Ps/PF avec les facteurs pédologiques .....	72
1.2.3.Corrélations avec les facteurs liés à la topographie .....	73
1.3.Classification Ascendante Hiérarchique des cites d'échantillonnage selon les espèces présentes .....	76
1.4.Analyse des données environnementales .....	77
1.4.1.Analyse des composante principale des facteurs environnementales.....	77
1.5.Classification Ascendante Hiérarchique des points d'échantillonnages. ....	78
2.Discussion .....	80
Conclusion	
Références bibliographiques	

**Liste des tableaux**

**Tableau 1:** Répartition des terres par classe d'altitude en % par rapport à la superficie totale.  
..... 51

**Tableau 2:** La répartition des terres par classe de pente par rapport à la superficie totale..... 51

**Tableau 3:** Liste des variables Édaphiques ..... 63

**Tableau 4 :** Liste des variables bioclimatiques exploités ..... 64

**Tableau 5:** Liste des variables Topographiques exploités dans la modélisation de la distribution de l'espèce dans le nord-est algérien..... 65

**Tableau 6:** Coefficient de corrélation entre les variables climatique et SLA et Ps/Pf ..... 72

**Tableau 7:** Coefficient de corrélation de SLA et Ps/PF avec les facteurs pédologiques ..... 72

**Tableau 8 :** Coefficient de corrélation de SLA et Ps/PF avec les facteurs liés à la topographie  
..... 73

**Tableau 9 :** Fréquences du Taux de recouvrement des espèces par rapportaux points d'échantillonnages,..... 73

Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale (Aliouche, 2016).....	8
<b>Figure 2:</b> Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000) .....	9
<b>Figure 3:</b> Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000) .....	9
<b>Figure 4 :</b> processus de l'effet de serre .....	11
<b>Figure 5 :</b> Cèdre de l'Atlas ( <i>Cedrus atlantica</i> ) dans le Belezma.....	32
<b>Figure 6:</b> Carte de répartition du Cèdre de l'Atlas dans la région Nord-Africaine .....	34
<b>Figure 7:</b> Carte de répartition du Cèdre dans le pourtour méditerranéen .....	35
<b>Figure 8:</b> Carte de localisation du Parc National de Belezma. ....	49
<b>Figure 9:</b> Carte de végétation de parc national de Belezma 9DGF, modifiée 2006.....	50
<b>Figure 10:</b> Carte géologique du parc Belezma (station SIG- PNB Bala Belabes) .....	53
<b>Figure 11:</b> carte pédologique du PNB (station SIG-PNB Bala Belabes) .....	54
<b>Figure 12:</b> Carte hydrologique du PNB (station SIG-PNB Bala Belabes).....	55
<b>Figure 13:</b> Carte de la localisation géographique des points d'échantillonnage. ....	61
<b>Figure 14:</b> Schéma représentant la réserve utile en eau du sol .....	68
<b>Figure 15 :</b> La corrélation entre les 50 variables environnementales utilisées.....	71
<b>Figure 16:</b> Classification Ascendante Hiérarchique. ....	76
<b>Figure 17 :</b> Graphe des variables de l'ACP.....	77
<b>Figure 18:</b> Classification Ascendante Hiérarchique des points d'échantillonnages.....	78
<b>Figure 19:</b> Carte de la distribution des classes des points d'échantillonnage en fonction des conditions écologiques. ....	79

**Les abréviations**

CCNUCC :	La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements
GIEC :	Le Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat
C.E.I :	Communauté des Etats Indépendants
URSS :	Union des République Socialistes Soviétiques
IPCC :	Intergouvernemental Panel on Climate Change
NMW :	L'organisation métrologique mondiale
PNUE :	Le programme des Nation unies pour l'enivrement
CO2 :	Dioxyde de carbone
SLA :	Specific leaf area (Surface Spécifique Foliaire)
LMA :	Leaf Mass per Area (masse foliaire spécifique)
LDMC :	Leaf Dry Matter Content
UV :	Ultra-Violets
DPI :	Dot Per Inch (en français, point par pouce)
F.A.O :	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
BNEF :	Bloomberg New Energy Finance
INRF :	L'institut national de la recherche forestière
ISRIC:	International Soil Reference and Information Centre
UTM Wgs84 :	Universal Transverse Mercator World Geodetic System 1984
RUM :	Réserve utile maximale
PF :	Point de flétrissement
CC :	Charge caillouteuse du sol
RUR :	Réserve utile réelle du sol

# *Introduction*



## **Introduction**

L'évolution récente du climat indique que le réchauffement est de plus en plus important que la moyenne et qu'il se manifeste sous forme d'épisodes de sécheresses plus intenses et prolongées (Aliouche, 2016)

D'après plusieurs auteurs (Garrec et al, 1989 ; Houston, 1992 in Zine el abidine, 2003 ; Chbouki, 1994 ; Lebourgeois et Becker, 1996 ; Bentouati et Bariteau, 2006), le déficit hydrique apparaît comme un facteur prédisposant et/ou d'incitation le plus associé au dépérissement des forêts. (Lieutier et Levieux, 1985 ; Zine el abidine, 2003 ; Rouault et al, 2006).

Le stress hydrique affecte en premier lieu la croissance (Finkelstein, 1981 ; Aussenac et Finkelstein, 1983 ; Ducrey, 1994), perturbe ensuite les échanges gazeux et modifie enfin le métabolisme biochimique et les propriétés spectrales des feuilles (Zine el abidine, 2003).

Un arbre stressé ou affaibli est exposé souvent aux attaques parasitaires (pathogènes et insectes) (Charara, 1982 ; Zine el abidine, 2003 ; Rouault et al, 2006 ; Boukerker, 2016)

En Algérie, la tendance à la baisse des précipitations est à l'augmentation de la température, à partir de 1961 jusqu'à nos jours, accompagnés d'autres facteurs comme la croissance démographique rendent très vulnérables les formations forestières au changement climatique. Ce dernier laisse un effet négatif sur l'environnement et provoque une sévère sécheresse dans les régions de l'Atlas, emmenant sans doute des perturbations physiologiques sur le comportement forestier. Cette situation pourrait se traduire par un stress hydrique, une évapotranspiration élevée et une pression très forte sur les ressources, ainsi que la pérennité de la forêt tandis que les zones forestières et les espèces végétales pourraient subir un déplacement significatif vers d'autres aires plus favorables, comme une conséquence du réchauffement climatique (Houamel, 2012).

Les traits fonctionnels des espèces sont définis comme étant des caractéristiques morpho-physiophénologiques qui influencent les performances d'un individu donné, par leurs effets sur sa croissance, sa reproduction ou sa survie (Violle et al, 2007). La SLA est le rapport entre l'aire de la feuille fraîche et le poids sec de la feuille, couramment exprimé en  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

Une pénurie en eau favorisant les cellules scléreuses augmenterait la densité de la feuille sans pour autant modifier son épaisseur. La valeur de la SLA serait par conséquent diminuée (Niinemets, 2001 ; Marc, 2018 ; Poorter et al., 2009).

Le rapport Ps/Pf est un bon indicateur de croissance, qui rapporte la qualité de la matière sèche issue de matière organique qui reste après élimination de toute l'eau qu'elle contient.

Dans la présente étude a pour objectif d'appréhender, d'une part, l'influence des conditions environnementales ( Climatiques, Edaphique et Liées a la topographie) sur la variation spatiale des deux indicateur du bien-être du végétale, à savoir ; i) l'aire foliaire Spécifique SLA ( *Specific Leaf area*) et ii) le rapport entre poids sec divisé par le poids frais Ps/Pf, d'autre part nous avons essayé comprendre la changement de la distribution des groupe d'espèces en fonction des variations spatiale des variables environnementales, ce qui pourrait être très utile a projeté sur le devenir de ces groupe d'espèces, dans le contexte le l'éventuel changement climatique, au futur.



# *Synthèse bibliographique*



*Chapitre 1*  
*Changement climatique.*

## 1. Notions associées au changement climatique

### 1.1.Climat

Le mot climat apparaît en français au XIIe siècle, dérivant du latin cliamtis .Pourtant son origine est grecque : le klimat est l'inclinaison d'un point de la Terre au Soleil. Cette notion ce « klimat » y est très éloignée du concept moderne de climat.

En **1910**, **Hann** défini le climat comme étant « l'ensemble des éléments métrologique qui caractéristique l'état moyen de l'atmosphère au-dessus d'un lieu ». Ainsi au cours du 1987 Gibbs a proposé une définition plus dynamique « la probabilité d'occurrence de divers états de l'atmosphère dans un lieu ou une région, au cours d'une certaine période donnée. ».

Autrement dit le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période donnée. Il est effectué à l'aide de valeurs moyennes établies à partir de mesures statistiques, mensuelles et annuelles, ainsi que sur la base des données atmosphériques locales : température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. (**Aliouche, 2016**)

### 1.2.Système climatique

Le système climatique de la Terre se compose d'éléments en interaction complexe. L'élément moteur est le Soleil, dont l'énergie se réchauffe la Terre. Cette énergie est à l'origine de la circulation atmosphérique et océanique ainsi que des processus d'évaporation et de précipitation qui font partie du cycle de l'eau. En plus de l'atmosphère et des océans, le système climatique englobe les eaux douces, les plantes, les animaux, les couvertures de glace et de neige, les masses terrestres et même la croûte terrestre.

Donc en résumé, l'étude du changement climatique nécessite de définir le système climatique se compose de cinq élément :

- L'atmosphère ;
- Les surfaces continentales ;
- L'hydrosphère (océans, lacs, rivières, nappe d'eau souterraine...)
- La cryosphère (glace, terrestre ou marines, manteau neigeux)
- la biosphère (tous les organismes vivants dans l'air, sur et dans les océans).

Le comportement de l'ensemble du système climatologique est influencé ou contraint par l'évolution de certains paramètres extérieurs que l'on appelle forçage extérieure. (**Aliouche, 2016**)

### 1.3.Variabilité climatique

Elle est représentée par les déviations des valeurs des évènements observés par rapport à leur valeur moyenne pour l'état climatique contemporain. Autrement dit c'est l'évolution du climat par rapport à une tendance générale ou à une période de référence souvent trois décennies. (Aliouche, 2016)

### 1.4.Changement climatique

Selon la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), le changement climatique est un changement du climat attribué directement ou indirectement à toute activité humaine qui modifie la composition de l'atmosphère de la Terre et qui s'ajoute à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes de temps comparables.

Selon, le Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC), le changement climatique se réfère à une variation statistiquement significative dans l'état moyen du climat ou dans sa variabilité, variation persistant sur une longue période de temps

(Décades ou plus). Le changement climatique peut être dû aux processus naturels internes ou à des forçages exogènes ou à des changements anthropogéniques persistants dans l'atmosphère ou dans les usages du sol. (Adamou, 2010)

## 2. Classification climatique

### 2.1.Le climat tropical humide

Présent de part et d'autre de l'équateur, La température mensuelle moyenne est toute l'année au-dessus de 18° C. On distingue une saison sèche et une saison humide.

### 2.2.Le climat subtropical

Offre un ressenti agréable (douceur, ensoleillement), mais il est aussi sujets à des phénomènes brutaux (orages, inondations, tempêtes tropicales, cyclones). Ils prennent en compte le climat méditerranéen, réputé pour ses étés secs et chauds ainsi que pour ses hivers doux et humides.

### 2.3.Le climat tempéré

Entre également en ligne de compte. Ces climats sont en général caractérisés par les saisons tempérées : une saison froide et une saison chaude.il comprend le climat océanique ou

la température varie entre 3 et 18 degrés et le climat continental caractériser par un été court et chaud et un hiver longs et froids. La température moyenne se situe autour de -9° C et 18° C.

#### **2.4.Le climat polaire**

Les plus froids du monde. Il s'étend surtout sur les régions de l'Arctique et de l'Antarctique ainsi que dans le Grand Nord québécois, les Territoires du Nord-Ouest et au nord de la C.E.I. (ancienne URSS). Les températures moyennes de janvier sont de -34° C et celles de juillet de 4° C. Les précipitations sont très rares et le sol est toujours gelé en profondeur. On l'appelle d'ailleurs pergélisol.

#### **2.5.Le climat désertique**

Que l'on trouve dans certaines régions de l'Afrique, du Nord de l'Océanie, du Sud de l'Eurasie et du Sud-ouest des États-Unis. Le temps y est très sec et chaud. Il y a, par contre, de très grandes différences de températures entre le jour et la nuit les températures moyennes de ces régions sont variées de 28° C à 11°C. (Baghdadli, 2014)

### **3. Synthèse des travaux du GIEC et l'indicateur du changement climatique**

#### **3.1. Présentation du GIEC**

La principale source d'information scientifique de la qualité sur le réchauffement climatique est le GIEC, le groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (Intergovernmental Panel On Climate change- IPCC). Compte tenu l'importance de cet organisme mérite d'être présenté. Le GIEC, fondé en 1986 par l'organisation métrologique mondiale (NMW) et par le programme des Nation unies pour l'environnement (PNUE), n'est pas un organisme de recherche. Il s'est donné pour rôle d'expertiser l'information technique et socio-économique qui concerne le risque de changement climatique provoqué par l'homme. Cela consiste à fournir à intervalle régulière (tous les cinq à six ans), des rapports qui résument l'état des connaissances scientifique sur le climat à un instant donné. Le GIEC compte aujourd'hui 195 pays Membres. Il se réunit au moins une fois par an dans le cadre d'assemblées plénières où les représentants des gouvernements prennent les grandes décisions relatives au programme de travail du Groupe d'experts et élisent les membres et le président du Bureau. Le GIEC se compose actuellement de trois groupes de travail et d'une équipe spéciale secondés par des unités d'appui technique :

- Le groupe I : travail sur les bases scientifiques du changement climatiques
- Le groupe II : se penche sur les conséquences de ce changement sur notre société. Il évalue aussi la vulnérabilité de ces dernières et les adaptations possibles.

- Le groupe III : étudie les solutions pour atténuer les différents effets du changement climatiques.
- L'équipe spéciale : s'occupe des inventaires nationaux des gaz à effet de serre. Ainsi, chaque rapport comporte trois volets correspondant à chaque groupe de travail, suivi d'un volet final de synthèse.

Le GIEC a présenté 5 rapports entre 1990 et 2013. Depuis le premier rapport d'évaluation, les prévisions des scientifiques se sont affinées et prédisent désormais avec certitude le réchauffement climatique d'ici la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. (Aliouche, 2016)

### 3.2. Les indicateurs du changement climatique

#### 3.2.1. À l'échelle globale

Selon le 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC publié en 2007, les changements climatiques observés à l'échelle globale peuvent être résumé en :

- L'augmentation de la température moyenne à la surface de la terre. Selon le même rapport la nouvelle valeur de la vitesse moyenne du réchauffement au cours des cents dernières années (1906-2005) de 0,74 (0,56 à 0,92) °C est donc plus grande que n'était la valeur analogue calculée au moment du troisième Rapport de 0,6 (0,4 à 0,8) °C pour la période 1901-2000.
- L'augmentation du niveau de la mer d'environ 17cm au cours du dernier siècle.
- Une diminution dans la masse des calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique.
- Modification de la fréquence des évènements extrêmes. (Aliouche, 2016)

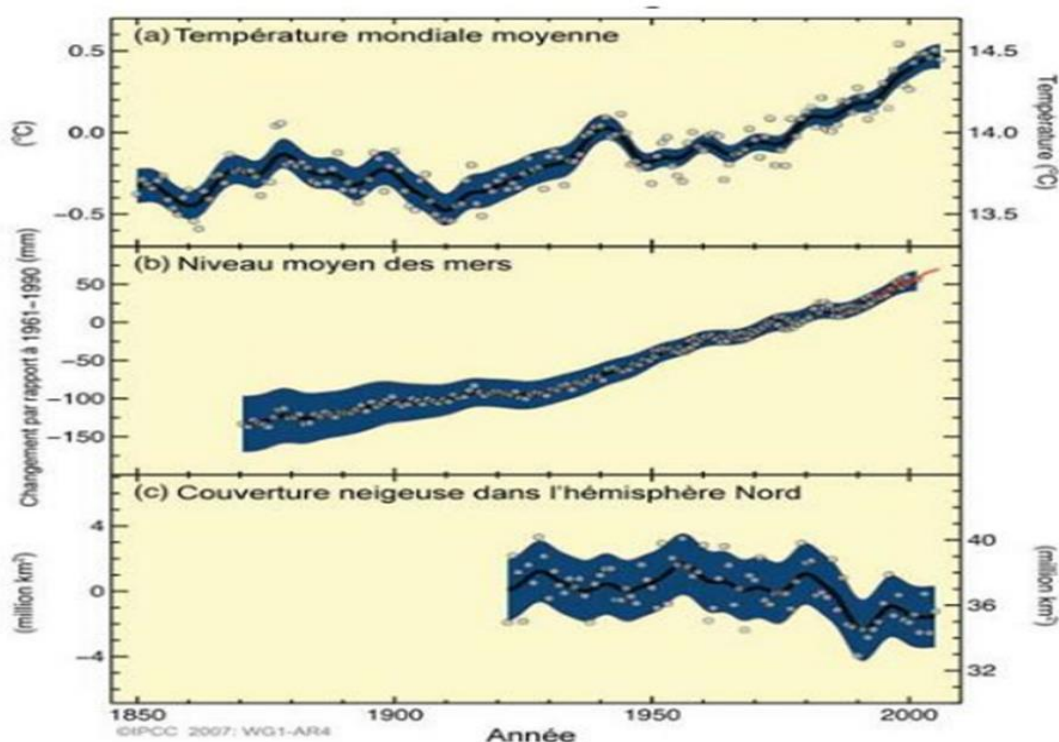
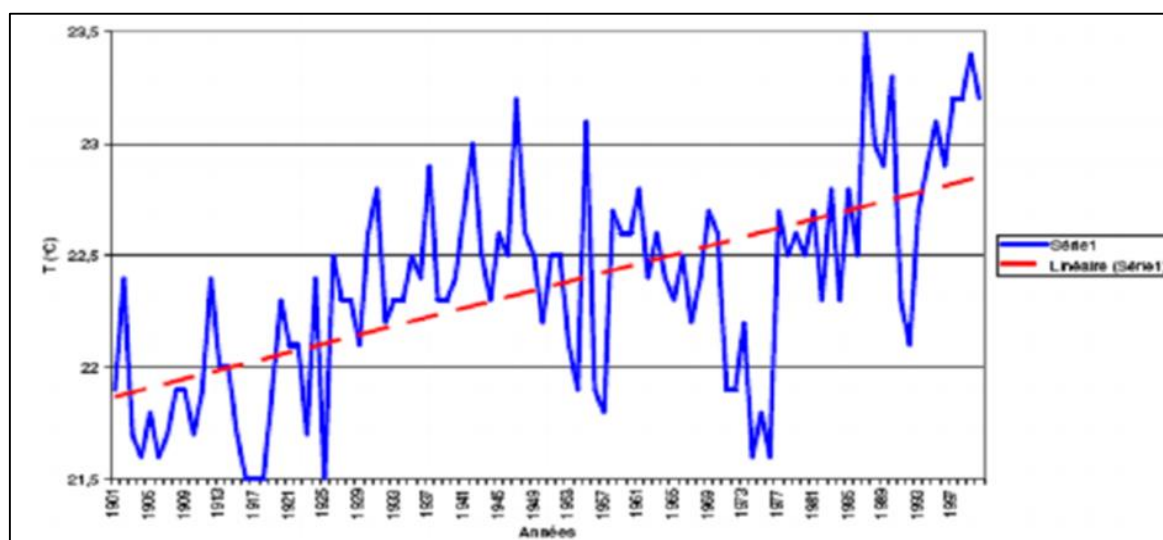


Figure 1: Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale (Aliouche, 2016).

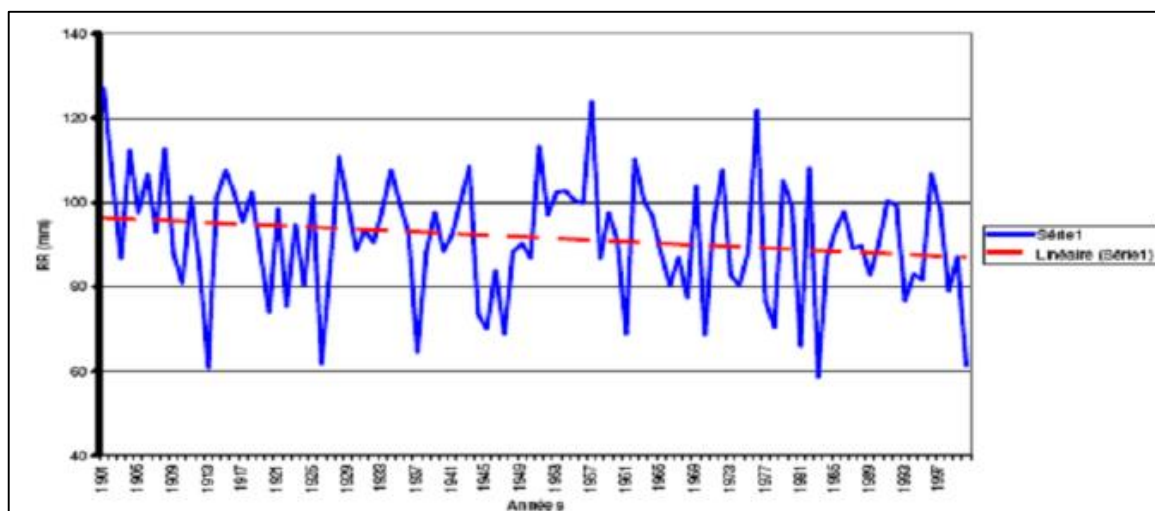


### 3.2.2. A l'échelle régionale (l'Algérie)

En Algérie, l'évolution récente du climat montre que le réchauffement est plus important que la moyenne et qu'il se manifeste sous forme d'une sécheresse. En effet sur les 40 dernières années les températures moyennes annuelles ont subi une augmentation de 0.5°C (figure 3). Ainsi les sécheresses de la même période sont encore plus remarquables compte tenu du déficit pluviométrique enregistré un peu partout sur le territoire, particulièrement à l'Ouest du pays. La baisse de la pluviométrie dans cette période est estimée à environ 10% de la moyenne. Donc le changement climatique en Algérie se présente sous forme d'une sécheresse. (Aliouche, 2016)



**Figure 2:** Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000) (Djellouli, 2008).



**Figure 3:** Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000) (Djellouli, 2008).

#### 4. Les causes des changements climatiques

Les changements climatiques s'entendent d'une modification à long terme dans les conditions météorologiques mesurée par les changements dans la température, les précipitations, les vents, l'enneigement et d'autres indicateurs. Ils peuvent comprendre à la fois les changements des conditions météorologiques moyennes ainsi que de la variabilité, y compris, par exemple, les changements dans les conditions extrêmes.

Le climat de la Terre est naturellement variable à toutes les échelles temporelles. L'équilibre entre la quantité d'énergie solaire reçue et la quantité de chaleur rayonnante, qui détermine l'équilibre énergétique de la Terre, régule toutefois l'état climatique à long terme et la température moyenne de la planète. Tout facteur qui cause un changement soutenu de la quantité d'énergie solaire reçue ou de chaleur rayonnante peut mener à des changements climatiques. Ces facteurs étant externes au système climatique, ils sont appelés 'agents de forçage du climat', invoquant l'idée qu'ils forcent ou poussent le climat vers un nouvel état à long terme - un climat plus chaud ou plus froid selon la cause du changement. Des facteurs différents agissent à des échelles temporelles différentes, et les facteurs à l'origine des changements dans le climat de la Terre dans le passé éloigné ne jouent pas tous un rôle dans les changements climatiques contemporains. Les facteurs responsables des changements climatiques peuvent être divisés en deux catégories : ceux liés à des processus naturels et ceux liés à l'activité humaine. En plus des causes naturelles des changements climatiques, des changements internes dans le système climatique, comme les variations dans les courants océaniques ou la circulation atmosphérique, peuvent aussi agir sur le climat pendant de courtes périodes. Cette variabilité interne naturelle du climat se superpose sur les changements climatiques forcés à long terme. (Daif, 2017)

##### 4.1.Causes naturelles

Des facteurs naturels externes au système climatique, comme des changements dans l'activité volcanique, la production solaire et l'orbite de la Terre autour du Soleil, peuvent altérer le climat de la Terre. Parmi ceux-ci, les changements dans l'activité volcanique et les changements dans le rayonnement solaire constituent les deux facteurs pertinents à des échelles temporelles des changements climatiques contemporains. En ce qui a trait à l'équilibre énergétique de la Terre, ces facteurs agissent principalement sur la quantité d'énergie solaire reçue. Les éruptions volcaniques sont épisodiques et ont des effets relativement courts sur le climat. Les changements dans l'irradiation solaire ont contribué aux tendances climatiques au cours du dernier siècle mais, depuis la Révolution industrielle, l'effet des apports de gaz à effet



de serre dans l'atmosphère a été plus que cinquante fois plus marqué que l'effet des changements dans la production solaire. (Daif, 2017)

#### 4.1.1. L'effet de serre

L'effet de serre est un processus naturel résultant de l'influence de l'atmosphère sur les différents flux thermiques contribuant aux températures au sol d'une planète. La prise en compte de ce mécanisme est nécessaire pour expliquer les températures observées à la surface de la terre et de vénus. Dans le système solaire, l'essentiel de l'énergie thermique reçue par une planète provient du rayonnement solaire et, en l'absence d'atmosphère, une planète rayonne idéalement comme un corps noir, l'atmosphère d'une planète absorbe et réfléchit une partie de ces rayonnements modifiant ainsi l'équilibre thermique. Ainsi l'atmosphère isole la Terre du vide spatial comme une serre isole les plantes de l'air extérieur. (Daif, 2017)

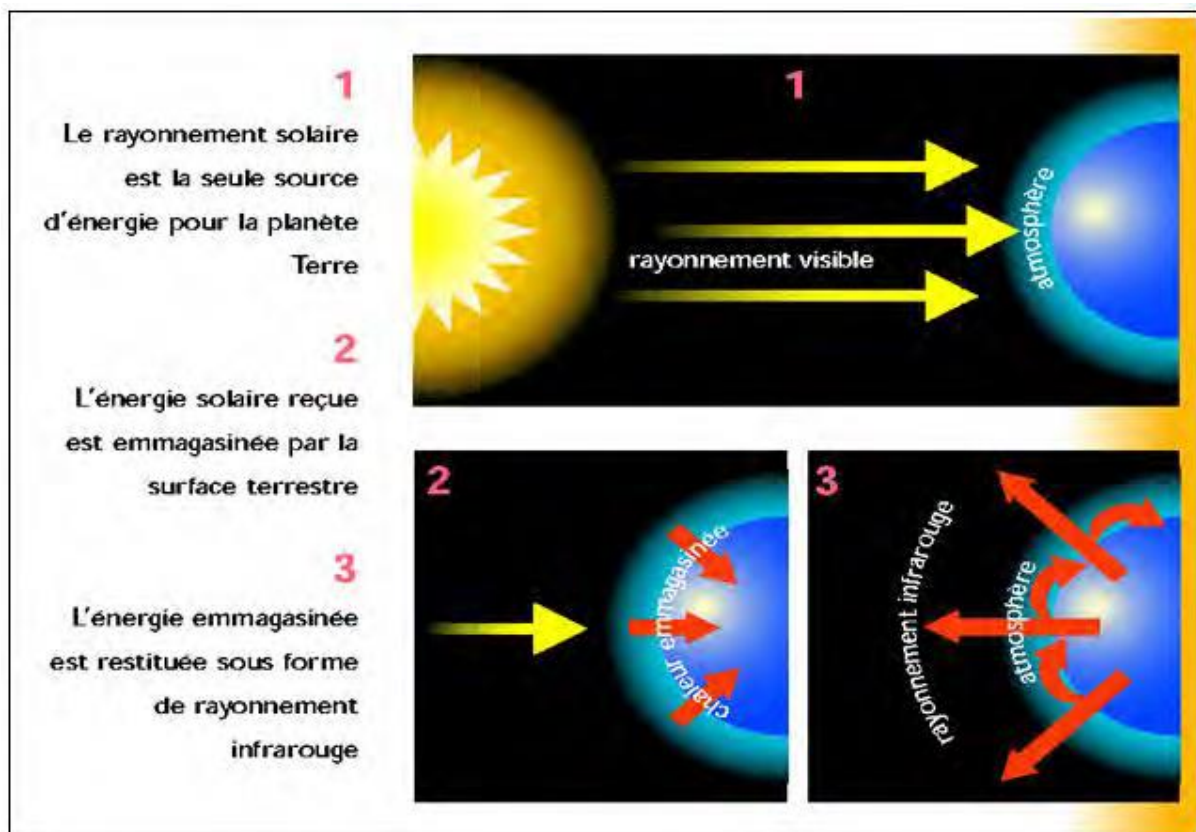


Figure 4 : processus de l'effet de serre (Tabet, 2008)

- **Les principaux gaz à effet de serre et leurs sources**

Il existe un grand nombre de gaz à effet de serre naturellement présents dans l'atmosphère mais dont la concentration varie du fait des activités humaines. Leurs impacts sur le climat dépendent de leur capacité à absorber et émettre du rayonnement infrarouge, de leur concentration dans l'atmosphère et de leur durée de vie.

La vapeur d'eau est responsable à elle seule de la grande majorité de l'effet de serre naturel.

Elle a également un effet de rétroaction important sur le changement climatique : lorsque la température augmente, l'évaporation augmente et la quantité de vapeur d'eau relâchée dans l'atmosphère aussi, accélérant encore le réchauffement.

- Le dioxyde de carbone, ou CO<sub>2</sub>, dont la concentration peut augmenter du fait de processus naturels comme les éruptions volcaniques et les feux de forêts ou de brousse. Mais ce sont les activités humaines avec l'utilisation de carbone fossile (pétrole, gaz naturel et charbon notamment pour l'industrie, le chauffage et les transports), ou encore la fabrication du ciment et les changements d'occupation des sols, qui sont responsables de l'essentiel de l'augmentation de sa concentration depuis 1750.

- Le méthane est un gaz à effet de serre bien plus puissant que le CO<sub>2</sub>, mais moins concentré.

Il est souvent lié aux processus de fermentation (marécages, décharges, digestion des ruminants, etc.). L'agriculture intensive est ainsi l'un des responsables de l'augmentation des concentrations de méthane dans l'atmosphère au cours des derniers siècles.

- L'ozone. Présent naturellement dans la stratosphère, vers 20 km d'altitude, il nous protège du rayonnement solaire ultraviolet qu'il absorbe. De l'ozone est également produit dans les basses couches de l'atmosphère à partir de composés organiques volatiles semi par les activités humaines (transports).

- Le protoxyde d'azote, appelé également « gaz hilarant », est émis naturellement par les sols et provient notamment de l'utilisation d'engrais azotés. (Daif, 2017)

#### 4.1.2. L'activité solaire

Il est raisonnable de supposer que des changements de l'activité solaire entraîneraient un changement climatique, puisque le soleil est la principale source d'énergie qui anime notre système climatique.

En effet, des études montrent que la variabilité solaire a joué un rôle dans les changements climatiques passés. Par exemple, une diminution de l'activité solaire pourrait avoir déclenché le petit âge glaciaire entre environ 1650 et 1850.

Mais plusieurs éléments révèlent que le réchauffement climatique en cours ne peut pas être expliqué par des changements dans l'intensité de l'activité solaire :

- Depuis 1750, l'énergie moyenne provenant du soleil est demeurée constante ou a légèrement augmenté.
- Si le réchauffement a été causé par une activité solaire plus intense, les températures auraient augmenté dans toutes les couches de l'atmosphère. Or, les observations mettent en évidence un refroidissement de la haute troposphère, et un réchauffement à la surface et dans les parties inférieures de l'atmosphère. (Daif, 2017)

#### 4.1.3. Les activités volcaniques

Plusieurs études ont montré que l'activité volcanique est un autre moteur de la variabilité climatique (Budyko, 1984 ; Touchard, 2022 ; Baroni, 2006). Les grandes quantités de particules et de gaz émis dans l'atmosphère suite aux éruptions empêchent le rayonnement solaire de passer. Toute fluctuation de ce rayonnement a une incidence sur le climat, en particulier sur la température.

Le volcanisme implique une chute des températures à court terme, mais s'avère être un puissant facteur de réchauffement sur le long terme. Les éruptions volcaniques sont parfois si violentes que de grandes quantités de poussière et de gaz sont projetées à haute altitude dans l'atmosphère. Les particules qui atteignent la stratosphère peuvent persister plusieurs années. Elles provoquent une baisse des températures en réfléchissant le rayonnement solaire. (Aliouche, 2016)

#### 4.2. Causes anthropiques

Les changements climatiques peuvent également être causés par les activités humaines, comme le brûlage de combustibles fossiles et la conversion de terres pour la foresterie et l'agriculture. Depuis le début de la Révolution industrielle, l'influence des humains sur le système climatique a considérablement augmenté. En plus d'autres incidences environnementales, ces activités modifient la surface terrestre et émettent diverses substances dans l'atmosphère. Ces substances, en retour, peuvent avoir un effet sur la quantité d'énergie solaire reçue et la quantité de chaleur rayonnante, ce qui peut avoir à la fois un effet de réchauffement ou de refroidissement du climat. Le dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre, est le principal produit de la combustion de combustibles fossiles. L'effet global des activités humaines depuis le début de la Révolution industrielle a été un effet de réchauffement, actionné principalement par les émissions de dioxyde de carbone et aggravé par les émissions d'autres gaz à effet de serre.

L'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère a mené à un accroissement de l'effet de serre naturel. Cet accroissement de l'effet de serre par l'activité humaine est

préoccupant, car les émissions continues de gaz à effet de serre ont le pouvoir de réchauffer la planète à des niveaux jamais connus dans l'histoire la civilisation. De tels changements climatiques pourraient avoir des répercussions environnementales, sociales et économiques vastes et/ou imprévisibles. (Daif, 2017)

- **Facteurs de forçage de courte et de longue durée**

Le dioxyde de carbone est la principale cause des changements climatiques d'origine anthropique. Émis en vastes quantités lors du brûlage de combustibles fossiles, il a une très longue durée de vie, ce qui signifie qu'il continue d'altérer le système climatique durant sa longue durée de séjour dans l'atmosphère. Toutefois, le brûlage de combustibles fossiles, les processus industriels et les activités agricoles et forestières émettent d'autres substances qui agissent également comme agents de forçage du climat. Certains, comme l'oxyde nitreux, sont des gaz à effet de serre de longue durée de vie comme le dioxyde de carbone, et contribuent donc aux changements climatiques à long terme. D'autres substances ont une durée de vie plus courte dans l'atmosphère parce qu'elles en sont éliminées assez rapidement. Leur effet sur le système climatique est par conséquent d'aussi courte durée. Ensemble, ces facteurs de forçage climatique à courte durée de vie sont responsables en bonne partie des changements climatiques attribuables aux substances d'origine anthropique. Certains de ces facteurs ont un effet de réchauffement du climat ('facteurs de forçage climatique positifs'), tandis que d'autres ont un effet inverse ('facteurs de forçage climatique négatifs').

Si les niveaux atmosphériques des facteurs de forçage climatique à courte durée de vie sont continuellement renouvelés par des émissions continues, ces facteurs continuent à exercer un effet de forçage du climat. La réduction des émissions mènera toutefois assez rapidement à une réduction des niveaux atmosphériques de ces substances. Un certain nombre de facteurs de forçage climatique à courte durée de vie ont des effets de réchauffement climatique et, ensemble, contribuent le plus à l'accroissement d'origine anthropique de l'effet de serre après le dioxyde de carbone. Ces facteurs incluent le méthane et l'ozone troposphérique - deux gaz à effet de serre - et le carbone noir, une petite particule solide issue de la combustion incomplète de carburants à base de carbone (p. ex. charbon, pétrole et bois).

D'autres facteurs de forçage climatique à courte durée de vie ont des effets de refroidissement du climat, plus particulièrement les aérosols de sulfate. Le brûlage de combustibles fossiles émet du dioxyde de soufre dans l'atmosphère (en plus du dioxyde de carbone), qui se combine ensuite avec la vapeur d'eau pour former de minuscules gouttelettes (aérosols) qui reflètent la lumière du soleil. Les aérosols de sulfate demeurent dans l'atmosphère

quelques jours seulement (ils en sont éliminés par le biais des précipitations acides) ; ils n'ont donc pas le même effet à long terme que les gaz à effet de serre. Toutefois, le refroidissement attribuable aux aérosols de sulfate présents dans l'atmosphère a compensé une partie du réchauffement attribuable à d'autres substances. C'est-à-dire que, n'eût été les niveaux élevés d'aérosols de sulfate dans l'atmosphère, le réchauffement que nous avons connu jusqu'à maintenant aurait été encore plus marqué. **(Daif, 2017)**

## *Chapitre 2*

*Les conséquences du changement  
climatique sur les végétaux*

## 1. Les conséquences des changements climatiques sur les végétaux

Les changements climatiques ont donc modifié l'environnement dans lequel tous les organismes se développent (Nicotra et al., 2010). Les espèces qui ont une faible mobilité comme par exemple la plante, sont les plus désavantagées face aux changements climatiques (Newton et al., 2012).

Les conditions climatiques et édaphiques vont assurer pour la plante, soit un environnement favorable à ces besoins, soit un environnement défavorable (stress biotique et abiotique) qui perturbe son métabolisme et va provoquer des anomalies (Beebe et al., 2011). Par exemple, la sécheresse, le stress hydrique et le dépérissement. (Sbeiti, 2016)

La température joue un rôle important pour la croissance de la plante, elle agit sur le volume et la taille et enfin sur la productivité de la plante. Une faible augmentation de la température peut agir positivement sur la croissance de la plante, parce que la plante reçoit un minimum d'énergie thermique ce qui induit à une croissance maximale de la plante. (Sbeiti, 2016)

Une augmentation de la température affecte pratiquement l'ensemble des processus physiologiques. La photo respiration, la respiration nocturne, la conductivité stomatique, la photosynthèse et le taux de croissance augmentent généralement avec une hausse de la température avec la disponibilité en eau.

La haute température peut conduire à la sécheresse édaphique, sans exclure les risques d'embolie qui ont pu altérer une partie des structures pérennes, la fermeture des stomates pour limiter les pertes en eau. Cette fermeture associée aux fortes chaleurs, à supprimer tous moyens aux arbres d'abaisser la température de leurs feuillages grâce à l'évapotranspiration. De cette conséquence primaire des effets de la sécheresse, une conséquence secondaire liée à la disparition précoce du feuillage peut facilement être déduite : la diminution de leurs réserves glucidiques. En effet, la fermeture stomatique limite la circulation du gaz carbonique et donc, interrompt la photosynthèse qui, suite aux dommages foliaires liés à la canicule, ont supprimé toutes capacités à produire de nouvelles réserves carbonées. Les arbres sont donc affaiblis et les conséquences de cet affaiblissement peuvent avoir des répercussions sur leurs capacités à supporter d'autres stress abiotiques ou biotiques dans les années futures.

La productivité des écosystèmes peut aussi être affectée indirectement par une augmentation de la température. Par exemple, le taux de décomposition de la matière organique

augmente avec une hausse de la température, rendant les nutriments plus rapidement disponibles pour les plantes. (**Tabet, 2008**)

Les basses températures, des épisodes de gel-dégel en hiver, de gels hâtifs à l'automne, de gels tardifs au printemps, de canicule ou de périodes prolongées sans pluie pourraient causer des dommages aux écosystèmes. Les dégâts dépendront non seulement de la température extrême, mais aussi de la durée de l'exposition, des caractéristiques des fluctuations thermiques (augmentation ou diminution, vitesse de variation et écarts entre maxima et minima de température) et de l'état physiologique de la plante au moment où se produisent ces phénomènes, les espèces sensibles au dégel, pourraient montrer des signes de dépérissement. Des températures basses du sol qui augmentent la viscosité de l'eau, affectent la perméabilité des racines et, par conséquent, diminuent l'absorption racinaire. Le dépérissement est causé par une perte de conductivité irréversible au niveau du xylème et par des dommages au système racinaire. Suite à des événements de gel-dégel, une relation existe entre les périodes de sécheresse ou de chaleur intense et le dépérissement.

L'augmentation des précipitations pourrait être bénéfique en compensant pour la hausse de l'évaporation causée par l'augmentation de la température. Par contre, dans le cas d'une hausse de l'évapotranspiration causée par une augmentation des températures sans changement au régime de précipitations, le stress hydrique subi par les arbres pourrait être accentué considérablement. (**Tabet, 2008**)

Les conditions climatiques et édaphiques vont assurer pour la plante, soit un environnement favorable à ces besoins, soit un environnement défavorable (stress biotique et abiotique) qui perturbe son métabolisme et va provoquer des anomalies (**Beebe et al. 2011**). Les conditions climatiques et de composition de la plante assureront, soit un environnement favorable à ces besoins, soit un environnement défavorable (stress biotique et abiotique) qui perturbe son métabolisme et provoquera des anomalies (**Beebe et al., 2011**). Comme le dépérissement et il est conséquence majeure de changement climatique. (**Sbeiti, 2016**)

### 1.1. Le dépérissement

Tendance à la baisse des précipitations est à l'augmentation de la température, à partir de 1961 jusqu'à nos jours, accompagnés d'autres facteurs comme la croissance démographique rendent très vulnérables les formations forestières au changement climatique. Ce dernier laisse un effet négatif sur l'environnement et provoque une sévère sécheresse dans les régions de l'Atlas, emmenant sans doute des perturbations physiologiques sur le comportement forestier. Cette situation pourrait se traduire par un stress hydrique, une évapotranspiration élevée et une



pression très forte sur les ressources, ainsi que la pérennité de la forêt tandis que les zones forestières et les espèces végétales pourraient subir un déplacement significatif vers d'autres aires plus favorables, comme une conséquence du réchauffement climatique et une baisse de la pluviométrie sur une période prolongée par rapport à la moyenne des apports observés sur cette période. La sécheresse constitue un facteur limitant pour le développement des plantules. Les conséquences des changements climatiques pourraient se traduire par une augmentation de la mortalité des espèces forestières due au stress hydrique, la diminution des taux de germination, avec l'augmentation du stress hydrique, et facilitant ainsi, les attaques d'insectes et l'apparition des maladies, la modification des taux de croissance des arbres, avec des changements au niveau des stations provoquant un déséquilibre accompagné d'un passage de la forêt dense à la forêt claire. (Houamel, 2012)

### 1.1.1. Les phénomènes de dépérissement

Le dépérissement est un terme de symptomatologie, qui caractérise un ensemble d'anomalies perceptibles à l'œil nu sur le terrain. Ces anomalies correspondent à l'idée que l'on se fait de la détérioration de la santé de l'arbre. C'est un phénomène causé par un ensemble de facteurs interagissant et se succédant d'une façon particulière et qui entraîne une détérioration générale et graduelle se terminant souvent par la mort de l'arbre.

### 1.1.2. Les types de dépérissement

Les types du dépérissement seront distingués selon leurs évolutions (Pujos, 1966 in Aitamara et Harrache, 2008). On distingue trois types :

- **Le dépérissement brusque** : Il apparaît pendant quelques semaines, se manifeste par un dessèchement des feuilles qui restent pendantes (sur leurs rameaux).
- **Le dépérissement rapide**: Il peut apparaître durant une ou deux années, et conduit à une mort brusque d'organes ciblés.
- **Le dépérissement lent** : Ce type apparaît pendant plusieurs années. (Houamel, 2012).

### 1.1.3. Les facteurs du dépérissement

Le phénomène du dépérissement est beaucoup plus compliqué, et il est loin d'être la résultante d'un simple facteur. Il peut s'expliquer par l'interaction de plusieurs facteurs de stress de nature biotique et abiotique agissant de façon indépendante, additive, synergique ou antagoniste. (Boukerker, 2016).

### 1.1.3.1. Facteurs abiotiques

Parmi les facteurs abiotiques, il se dégage le stress climatique, facteur écologique le plus souvent impliqué à travers le monde dans la déstabilisation des écosystèmes forestiers et le déclenchement des phénomènes de dégradation de leur état sanitaire. Il intervient par la sécheresse qui peut sévir longtemps (**Garrec et al. 1989 ; Becer et Bert, 1995 in Thomas et al., 2002 ; Le bourgeois et Becker, 1996 ; Varela, 2008 ; Garrigue et al., 2008 ; Le Meignen et Micas, 2008**).

Le stress chimique traduit par l'acidification des sols (**Casparly, 1991**), le dépôt acide sec et humide, l'ozone et les micropolluants organiques (**Rice et Lewis, 1988 ; Garrec et al., 1989 ; Walters et MC Carthy, 1997 ; Dupouey et al., 1998 in Thomas et al., 2002**), est d'autant un facteur contribuant à l'affaiblissement des arbres. À ces facteurs s'ajoute, mais rarement, le facteur « altitude » qui semble affecter parfois indirectement le fonctionnement physiologique de l'arbre (**Thomas et al., 2002**). D'après **Schütt et Cowling (1985) in Rice et Lewis (1988)**, les arbres des hautes altitudes (> 550m) sont plus exposés au dépérissement que ceux de basses altitudes (< 500m). Généralement en altitude, les sols sont superficiels et bénéficient de quantités d'eau moins importantes, alors que ceux situés en basses altitudes profitent d'une réserve hydrique très importante (**Bruckert, 1993 in Thomas et al., 2002**).

### 1.1.3.2. Facteurs biotiques

Les facteurs biotiques représentés par les ravageurs aux régimes alimentaires variés (Défoliateurs, xylophages, séminiphages, etc.) et les maladies cryptogamiques (fongiques, bactériennes ou virales) sont parmi les agents qui interviennent dans l'altération physiologique des arbres forestiers (**Hanson et al., 1976 in Walters et MC Carthy, 1997**). Montre l'évolution régressive de la santé des arbres forestiers sujets à des stress biotiques et abiotiques dans le temps.

Selon l'ordre chronologique, tous ces facteurs peuvent être catégorisés en trois grandes classes, en partie interchangeables (**Sinclair 1964 et Manion 1981 in Auclair et al., 1997**).

#### a. Les facteurs prédisposant

Ce sont des facteurs qui exercent leur action de façon permanente durant une bonne partie de la vie de l'arbre provoquant généralement des stress de faible intensité (**Roy et Gagnon, 1991 in Moore, 1999**). Durant cette période, la sensibilité de l'arbre envers l'action d'autres facteurs s'accroît (**Maugard, 1992**).

Parmi les principaux facteurs qui prédisposent les arbres au processus d'altération sanitaire, nous citons les facteurs édaphiques, climatiques et sylvicoles mais aussi, les mauvais aménagements (**Manion, 1981 in Moore, 1999**), l'exploitation acéricole (**Roy et Gagnon, 1991 in Moore, 1999**), la pollution atmosphérique (**Rice et Lewis, 1988**) et même l'acidification des sols (**Dessureault, 1986 in Moore, 1999**).

#### **b. Les facteurs déclenchant**

Contrairement aux premiers, les facteurs déclenchant (ou incitants) sont des facteurs défavorables qui agissent en peu de temps sur la physiologie des arbres. Ils représentent donc pour l'arbre un stress de forte intensité mais de courte durée (Moore, 1999). Ce qui déclenche habituellement le dépérissement de l'arbre (**Dessureault, 1986 in Moore, 1999**). L'auteur note que l'influence des facteurs déclenchant, combinée à celle des facteurs prédisposant, provoquent une détérioration de la cime et du système racinaire. Ils sont essentiellement de nature abiotique comme la sécheresse et biotique comme les attaques d'insectes défoliateurs en particulier (**Auclair et al., 1997**). Il convient de signaler ici que les défoliateurs forestiers sont beaucoup moins dangereux sur les essences feuillues que sur les conifères (**Bovey, 1971**).

D'après cet auteur, il est rare qu'une défoliation consécutive ait une conséquence néfaste sur la vitalité des arbres. Au contraire, chez les résineux, la destruction des aiguilles perturbent la physiologie des arbres et les exposent à un affaiblissement plus avancé.

#### **c. Les facteurs aggravants (ou contribuant)**

Sont des facteurs qui interviennent en phase terminale du déclin ; c'est à dire sur les arbres profondément stressés. Ils accélèrent donc leur dépérissement en entraînant le plus souvent leur mort (**Dessureault, 1986 in Moore, 1999**). Ils sont essentiellement d'origine biotique, ou sont rarement représentés par les xylophages secondaires et les champignons de faiblesses.

#### **1.1.4. Le stress hydrique : une cause majeure du dépérissement des arbres forestiers**

Le stress hydrique est l'une des causes majeures du dépérissement des arbres forestier en région méditerranéenne. L'eau est le principal facteur limitant de la végétation forestière, et lorsque son contenu dans les tissus des plantes s'écarte suffisamment de l'optimum de façon à nuire à la croissance et aux processus physiologiques, la plante est sujette à un stress hydrique (**Levitt, 1980 in Zine el abidin, 2003**).

D'après plusieurs auteurs (**Garrec et al., 1989 ; Houston, 1992 in Zine el abidine, 2003 ; Chbouki, 1994 ; Lebourgeois et Becker, 1996 ; Bentouati et Bariteau, 2006**), le déficit

hydrique apparaît comme un facteur prédisposant et/ou d'incitation le plus associé au dépérissement des forêts. Au début du développement du stress, ce sont les processus les plus sensibles qui sont affectés ; mais s'il continue, les réponses s'intensifient et les processus physiologiques sont de plus en plus altérés (**Lieutier et Levieux, 1985 ; Zine el abidine, 2003 ; Rouault et al., 2006**).

Le stress hydrique affecte en premier lieu la croissance (**Finkelstein, 1981 ; Aussenac et Finkelstein, 1983 ; Ducrey, 1994**), perturbe ensuite les échanges gazeux et modifie enfin le métabolisme biochimique et les propriétés spectrales des feuilles (**Zine el abidine, 2003**). Il peut même induire des phénomènes de cavitation et d'embolisme dus à la rupture des colonnes d'eaux dans les vaisseaux (**Cruiziat et Tyree, 1990 in Zine el abidine, 2003**). Ceci peut entraîner le dessèchement partiel ou total des arbres et arbustes, observé souvent au niveau des branches supérieures.

Un arbre stressé ou affaibli est exposé souvent aux attaques parasitaires (**pathogènes et insectes**) (**Charara, 1982 ; Zine el abidine, 2003 ; Rouault et al, 2006 ; Boukerker, 2016**)

### **1.1.5. Les symptômes du dépérissement**

Les essences forestières sont confrontées aux diverses atteintes pathologiques. La description d'une telle maladie observée sur la plante-hôte nécessite impérativement des connaissances étiologiques préalables. Selon **Lanier (1976)**, les symptômes sont les indicateurs les plus évidents des maladies. Ils jouent ainsi le premier rôle dans l'établissement du diagnostic. Un symptôme est une modification, dans l'aspect ou dans les manifestations d'un être vivant qui traduit un état maladif.

#### **1.1.5.1. Les symptômes des bourgeons, des pousses et des rameaux**

Chute et cassure de pousses, prennent une décoloration jaunâtre, ou un brunissement donnant un aspect de flétrissement, et encore des anomalies de croissance, avec un avortement total des bourgeons Latéraux ; qui laisse les petites branches périphériques dénudées et se portant qu'un bouquet de feuilles a les extrémités chez les feuillus, par contre chez les résineux, l'arbre prend un aspect échevèle, du aux pousses principales qui ne portent que de courte ramification.

#### **1.1.5.2. Les symptômes des troncs et des branches**

Chutes des branches, avec une décoloration. Des nécroses sur l'écorce. Ecoulement remarquable de mucilage, de gomme et même de la résine. Des renflements et des tumeurs

chancreuses spécialement sur les feuillus. Un raccourcissement des branches maitresses portées directement par le tronc donnant a l'arbre un port triste, ce phénomène est remarqué surtout chez l'Epicéa c'est le (lametta symptom) des allemands.

### 1.1.5.3. Les symptômes des feuillages

Ceux sont ceux qui apparaissent en premier car visibles, on y distingue quatre types :

- **Comportement du feuillage** : Des abscissions prématurées des feuilles ou des aiguilles. Le plus manifeste est la chute du feuillage qui donne souvent un aspect dégarni avec des touffes de feuilles.
- **Rabougrissement** : Il correspond à un état de dépérissement (d'étiollement) général et de déclin physique de l'arbre.
- **Flétrissement** : Perte de fraîcheur ou de vigueur de l'arbre par Effet de dessèchement.
- **Changement de couleur du limbe** : Généralement est le jaunissement des feuilles ou des aiguilles parfois on peut signaler une coloration rouge fonce on brune de la couche cambial des branches. (Houamel, 2012).

## 1.2.Changement dans la phénologie des espèces

Le cycle de vie des plantes est fortement influencé par les variations du climat. Le réchauffement a déjà plusieurs effets écologiques sur les végétaux du monde entier. Il modifie leur écologie, leur comportement, leur morphologie, leur densité de population, leur aire de distribution et, surtout, leur phénologie.

La phénologie (date des activités saisonnières des plantes) est peut-être le processus le plus simple pour appréhender les changements dans l'écologie des espèces en réponse aux changements globaux. Plusieurs auteurs ont mis en évidence des changements dans les dates d'activités printanières, comme les dates de floraison précoces. Certaines études indiquent aussi des événements phénologiques automnaux plus tardifs, mais ces modifications sont moins prononcées et montrent un patron plus hétérogène.(Tabet, 2008)

## 1.3. Les conséquences du changement climatique au niveau de feuilles

### 1.3.1.Sur le nombre du stomate

Face au changement climatique et à l'augmentation des teneurs en CO<sub>2</sub> de l'air, Cette élévation de la teneur en CO<sub>2</sub> est responsable du réchauffement climatique, dont les effets néfastes sont désormais bien connus. Les arbres réagissent à l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> en diminuant le nombre de stomates présents sur la face inférieure de leurs feuilles, et

en réduisant l'ouverture de ces minuscules orifices. On savait que cette adaptation était courante chez les végétaux à long terme, à l'échelle des temps géologiques. (Site 1)

### **1.3.2. Sur le Fonctionnement des stomates**

L'ouverture et la fermeture de l'ostiole des stomates se fait en fonction des conditions climatiques (chaleur, humidité, luminosité), afin de réduire les échanges gazeux pour assurer la photosynthèse et la respiration. En condition de déficit d'eau une régulation stomatique permettra de minimiser l'échange gazeux notamment celui de la transpiration pour éviter la perte d'eau des tissus du végétal. (Site 2)

### **1.3.3. Sur l'échange gazeux**

Tout d'abord, les plantes ont toute leur surface foliaire qu'est en contact avec l'atmosphère, les échanges gazeux s'effectuent par des pores nommés ostiole, qui se situent entre les stomates, des cellules de garde de petits organes particuliers. Néanmoins les plantes possèdent une pellicule imperméable qui protège l'épiderme du contact avec l'atmosphère.

Ensuite, les échanges gazeux réalisés par la plante sont de deux types, il y a la perte de vapeur d'eau due à la transpiration et il y a l'absorption du gaz carbonique, avec la photosynthèse et la respiration de la plante.

En modifiant le degré d'ouverture des stomates, la plante régule ses échanges gazeux. Cependant, elle ne peut pas fermer complètement ses stomates en cas de sécheresse pour éviter les pertes d'eau car cela bloque la photosynthèse à cause du gaz carbonique qui ne peut plus rentrer. De plus, elle ne peut pas fermer ses stomates parce que la transpiration est nécessaire au flux d'eau qui traverse la plante puisqu'elle représente le moteur de la circulation et donc de l'absorption de l'eau. (Site 3)

## **2. Les traits fonctionnels**

L'écologie végétale peut être envisagée selon différentes approches (**Shipley 2010**). L'approche classique consiste à étudier les relations entre les individus appartenant à différentes espèces et ainsi se concentrer sur la taxonomie des individus pour expliquer les relations entre eux et avec le milieu.

Considère les interactions entre les individus et leur milieu différemment, en se concentrant plutôt sur les traits qui définissent l'individu. En déterminant lesquels de ces traits sont importants dans les différentes interactions, on peut limiter les interactions à un certain nombre de ces traits plutôt qu'à une série de taxons. Par exemple, on pourrait déterminer que la

résistance à la sécheresse et la quantité de graines produites sont déterminantes du succès d'implantation d'une plante plutôt que de vérifier quelles espèces seront dominantes en fonction de la présence ou l'absence de chacune des autres espèces. Un trait peut se définir de plusieurs façons dépendamment du niveau auquel on le considère ainsi que de son impact sur la dynamique de vie de l'individu. Si l'on considère seulement les traits qui ont un impact sur la valeur adaptative de l'individu. (Marc, 2018)

## 2.1. Définition

Les traits fonctionnels des espèces sont définis comme étant des caractéristiques morpho-physiophénologiques qui influencent les performances d'un individu donné, par leurs effets sur sa croissance, sa reproduction ou sa survie (Violle et al., 2007). Ils sont définis à travers différentes échelles spatiales et temporelles, au sein de nombreux types d'écosystèmes (Hevia et al., 2017). La mesure des traits se réalise au niveau d'un individu ou d'une placette (Petchey et al., 2004). Ils sont notamment utilisés à l'échelle écosystémique pour caractériser la façon dont les espèces répondent aux facteurs environnementaux. Par exemple, Soudzilovskaia et al.,(2013) les utilisent en tant que prédicteurs des corrélations entre l' Les traits fonctionnels étudiés dans ce mémoire sont la surface foliaire spécifique des feuilles (SLA pour Specific Leaf Area) abondance d'espèces végétales et les changements climatiques. (Marc, 2018)

## 2.2.La Surface Spécifique Foliaire (SLA pour Specific leaf area)

### 2.2.1.Notions associées de La Surface Spécifique Foliaire (SLA)

#### 2.2.1.1. La matière sèche

La matière sèche quantifie la biomasse totale d'une culture produite sur la base du poids sec. Par exemple, le grain sec + la paille d'une culture. Même si cela n'est pas correct, ce terme exclut généralement les racines, les feuilles tombées, etc. et tout autre matière organique produite en annexe.

En bref, une matière sèche est une substance issue de matière organique qui reste après élimination de toute l'eau qu'elle contient. Elle est la partie d'une denrée alimentaire ou d'une autre substance qui resterait si toute sa teneur en eau était supprimée. (Site 4)

#### 2.2.1.2. La teneur en matière sèche des feuilles

La teneur en matière sèche des feuilles ou LDMC (Leaf Dry Matter Content) est la masse sèche sur la masse fraîche d'une feuille. Elle traduit la croissance de la plante et sa capacité d'assimilation du carbone. Ce trait est habituellement négativement corrélé avec la SLA. La

surface spécifique foliaire ou SLA (Specific Leaf Area) est le ratio de la masse sèche de la feuille par sa surface. (Soudant, 2007).

### 2.2.1.3. Surface foliaire (SF, cm<sup>2</sup>)

La surface foliaire de la feuille étandard exprimée en cm<sup>2</sup> est définie comme le produit de la longueur totale (L, cm) par la largeur moyenne (I, cm) des feuilles par 0,7149, d'après Spagnoletti-Zeuli et Qualset, (1990). (Nadjem Kamel, 2012)

### 2.2.1.4. La Surface Spécifique Foliaire (SLA)

C'est la surface foliaire par unité de poids foliaire. (Dingkuhn et Al, 1998 ; Jonhson et Al., 1998b) c'est-à-dire : accumulation de biomasse sèche par unité de surface.

En d'autre terme, c'est la surface d'interception lumineuse par unité de masse sèche foliaire (Poorter et Garnier, 1999).

La SLA est le rapport entre l'aire de la feuille fraîche et le poids sec de la feuille, couramment exprimé en cm<sup>2</sup>/g. Elle est par ailleurs l'exact inverse de la masse foliaire spécifique ou Leaf Mass per Area (LMA) (Lambers et Poorter, 1992). En tant que tel, c'est un indicateur de croissance des végétaux et d'acquisition des ressources, bien corrélé avec le taux de croissance relatif potentiel de la plante (Cornelissen et al, 2003 ; Lambers et Poorter, 1992). La méta-analyse de Poorter et al. (2009) a montré que la valeur médiane de la SLA est de 13.333 mm<sup>2</sup>/mg pour les espèces décidues et de 12.346 mm<sup>2</sup>/mg pour l'ensemble des espèces de la forêt tempérée. (Marc, 2018)

La SLA est relative à l'épaisseur et à la densité de la feuille (Abrams et al., 1994 ; Wilson et al., 1999). Ces deux paramètres peuvent varier indépendamment l'un de l'autre et sont régis par différents phénomènes (Milla et al., 2008). Par exemple, lors de l'augmentation de l'éclairage ou de la température, des changements dans la composition des tissus de la feuille peuvent augmenter son épaisseur sans modifier sa densité, ce qui diminuerait la SLA (Oguchi et al., 2003). A l'inverse, une pénurie en eau favorisant les cellules scléreuses augmenterait la densité de la feuille sans pour autant modifier son épaisseur. La valeur de la SLA serait par conséquent diminuée (Niinemets, 2001 ; Marc, 2018)

### 2.2.2. L'importance d'étude de SLA

La feuille est le siège des activités physiologiques intenses des métabolismes de la plante, intervenant dans les processus directeurs 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). Il apparaît que les plantes à stratégie d'acquisition des ressources et de croissance rapide auront tendance à avoir une valeur de la SLA élevée (Wright, I.J. 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 SLA 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 SLA et de limiter l'investissement en masse sèche pour l'interception lumineuse. Ce paramètre est contrôlé par les facteurs climatiques et les conditions stationnaires, en particulier l'alimentation hydrique et la disponibilité en élément dans le sol. (Fenosoa, 2010).

### **2.2.3. Les facteurs environnementaux interviennent dans la variation de la SLA**

#### **2.2.3.1. La température**

Les basses températures limitent la croissance cellulaire de la feuille, conduisant à un plus grand nombre de petites cellules par unité de surface foliaire et à l'augmentation du nombre de couches cellulaires. Par conséquent, la densité et l'épaisseur de la feuille augmentent, ce qui induit une réduction de la SLA (Atkin et al, 2006 ; Poorter et al., 2009). A l'inverse, les températures élevées ont tendance à augmenter la SLA. (Marc, 2018)

#### **2.2.3.2. La concentration en CO<sub>2</sub>**

L'augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> conduisant l'augmentation de la teneur en amidon par unité de surface foliaire augmentant la densité foliaire. Il s'en suit par conséquent une diminution de la SLA (Schmitt et al., 1999). La diminution de la SLA est relativement plus faible qu'avec une augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub>. (Marc, 2018)

#### **2.2.3.3. La disponibilité en nutriments**

La disponibilité des nutriments dans le sol a une influence modérée sur la SLA, dans la mesure où cette dernière peut être réduite par un manque de nutriments et plus particulièrement d'azote (Ordoñez et al., 2009). Le manque de nutriments induit une diminution de la SLA par l'augmentation de la densité foliaire (Poorter et al., 2009). Plus la disponibilité en azote du sol est élevée, plus la SLA l'est également. Cette réduction serait due à l'accumulation des glucides

non-structuraux dans la feuille telle que l'amidon, suite au ralentissement de la croissance par rapport à la photosynthèse. Parmi tous les facteurs environnementaux. (Marc, 2018)

#### 2.2.3.4. La disponibilité et la saturation en eau

L'intensité du stress hydrique affectant chaque espèce est très variable. En conséquence, l'influence de la disponibilité en eau sur la SLA est aussi très variable selon les espèces. De manière générale, il est tout de même admis que le stress hydrique réduit la SLA (Poorter et al., 2009). La régulation osmotique mise en place par le métabolisme sous stress hydrique induit une augmentation des hexoses (glucose et fructose) ainsi qu'une réduction de la concentration en amidon et en saccharose dans les feuilles (Abrams., 1990 ; Epron et Dreyer, 1993 1996 ; Osonubi et Davies, 1981). De plus, les cellules foliaires deviennent plus petites, alors que l'épaisseur de la paroi cellulaire augmente (Shields, 1950). Le ralentissement de la croissance des feuilles diminue la surface foliaire. La valeur de la SLA est par conséquent réduite par le stress hydrique.

Paradoxalement, la SLA a tendance à diminuer lorsque les sols sont saturés en eau. En effet, la saturation en eau du sol conduit à un environnement anaérobique qui abaisse la conductance racinaire et empêche l'assimilation de l'eau par les racines de beaucoup d'espèces. C'est probablement pour cette raison que la réponse de la SLA est plutôt similaire à celle d'un stress hydrique (Poorter et al., 2009 ; Marc, 2018)

#### 2.2.3.5. L'irradiante solaire

Le flux total journalier de photons (DPI) influence la valeur de la SLA (Chabot et al., 1979 ; Niinemets, et al., 2004). Plus le DPI est élevé, plus la LMA est élevée, autrement dit, plus la SLA est faible. Cela est dû un phénomène d'acclimatation des feuilles. Ces dernières tendent à augmenter leur surface pour maximiser l'interception de la lumière en condition lumineuse réduite, ce qui augmenterait la SLA (Poorter et al., 2009). Le ratio rouge/rouge lointain, ou Red/Far- Red (R/FR) ne semble pas altérer la SLA de manière significative. L'intensité du rayonnement UV-B peut modifier la SLA dans la mesure où les végétaux fabriquent des composés phénoliques solubles dans leurs vacuoles pour se protéger du rayonnement UV-B. Par conséquent, la valeur de la SLA pourrait être réduite avec l'augmentation de l'intensité des rayonnements Ultra-Violet, bien que cette variation soit relativement faible (Poorter et al., 2009; Marc, 2018)

*Chapitre 3*

*Monographie du cèdre de*

*l'Atlas*

## 1. Aperçu historique sur le cèdre

Le genre *Cedrus* est un élément eurasiatique très ancien connu avec certitude depuis le Tertiaire avec une large répartition (**Boudy, 1950 ; Debazac, 1968**). Il occupait une aire très vaste durant le Tertiaire et au début du Quaternaire. Il semble que, son ancienne aire naturelle qui était beaucoup plus étendue en fonction des paléoclimats, montrait des frontières orientales en Tunisie et méridionales dans le Haut Atlas que les actuelles. Le morcellement de son aire est essentiellement lié aux variations climatiques passées (**Cheddadi, 2005**) et l'action de l'Homme (**Yahi et Médiouni, 1997**). En effet, des études palynologiques ont montré que, l'aire naturelle de cette espèce avant et durant le début de l'Holocène, était plus étendue qu'actuellement (**Salamani, 1991 ; Cheddadi, 2005**). En Algérie, (**Salamani, 1990**) a montré l'existence de cette espèce sur les sommets de l'Akfadou avant 7000 B.P. (**Alileche, 2012**)

Selon **Debazac, 1968 et Gaussen, 1964**, actuellement, il est représenté par quatre (04) espèces de l'étage montagnard de la région méditerranéenne et himalayenne. On en trouve :

- **Cèdre de l'Himalaya : *Cedrus deodora* London** qui est une espèce importante se répandant dans les montagnes de l'Ouest de l'Himalaya depuis l'Afghanistan jusqu'au Népal occidental.

- **Cèdre de Chypre : *Cedrus brevifolia* Henry**, espèce endémique du Sud-Ouest de l'île de Chypre.

- **Cèdre du Liban : *Cedrus libani* Barrel** : Cette espèce occupe les montagnes de la méditerranée orientale (Liban, Syrie, Turquie). Au Liban, elle occupe 1700 ha et en Turquie, sa superficie est estimée à plus de 16.000 ha ; alors qu'en Syrie, elle est rétrécie et ne dépasse guère quelques centaines d'hectares.

- **Cèdre de l'Atlas : *Cedrus atlantica* Manetti** : C'est une espèce endémique des montagnes de l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie). Elle se répartit entre les Atlas marocain (1400 000 ha), le Rif (20 000 ha) et l'Atlas algérien (23 000 ha). (**Alileche Ahmed, 2012**).

## 2. Classification systématique

*Cedrus Atlantica*, appelé en arabe Arz El Atlas, et Idhguel en Berbère, sa systématique est décrite par Emberger 1960 comme suite :

- Règne : Plantae
- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Gymnospermes
- Ordre : Coniférales

- Classe : Coniferopsida
- Famille : Pinaceae
- Sous-famille : Abiétées
- Genre : Cedrus
- Espèce : Cedrus atlantica Manetti.(Arar, 2020)

### 3. Caractéristiques botaniques du cèdre de l'Atlas

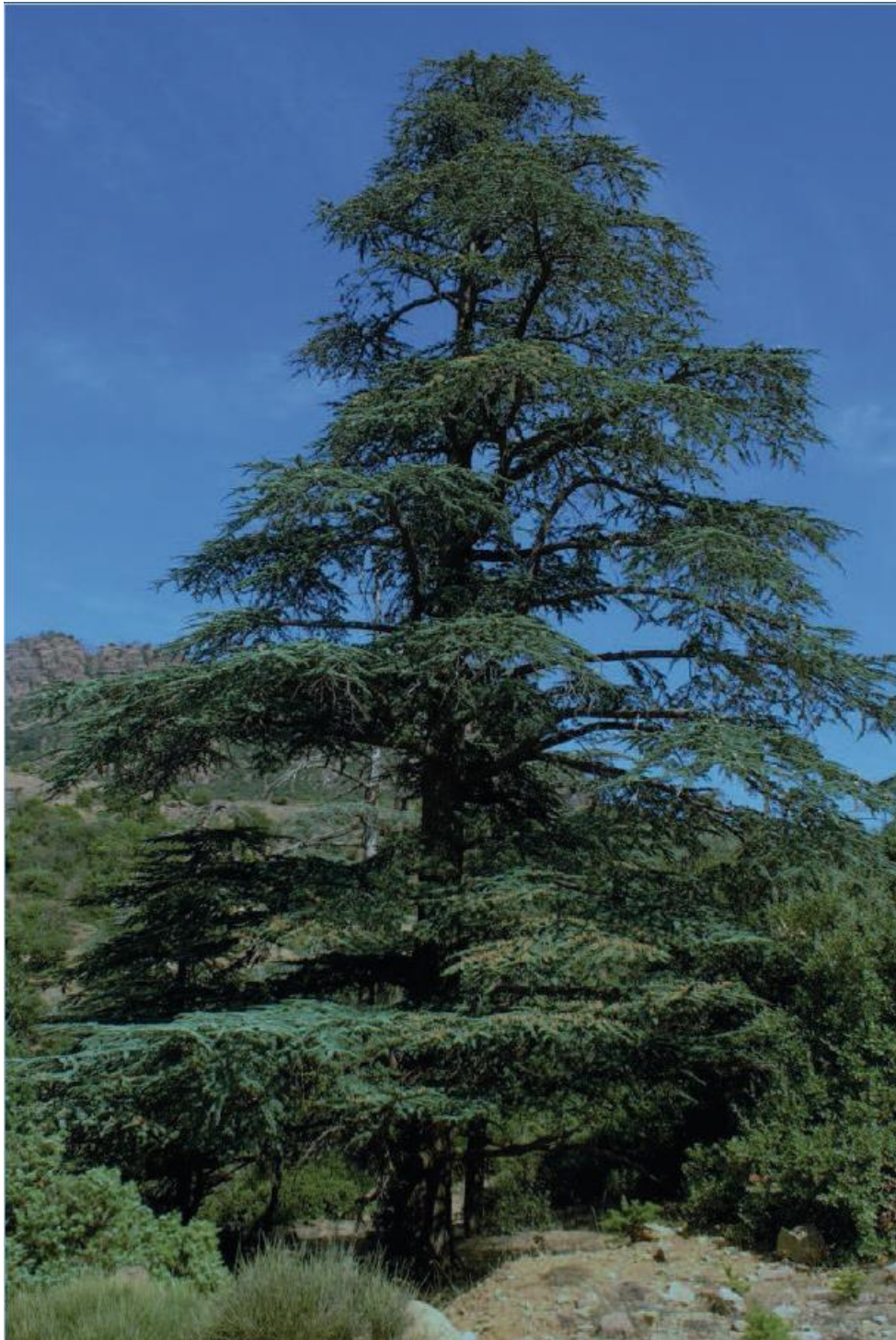
Le Cèdre de l'Atlas est une espèce du pourtour méditerranéenne à côté d'autres plusieurs espèces de Cèdre. Parmi ceux-ci on note : Le Cèdre de Liban (Cedrus Libani Barrel) qui se trouve au niveau du Liban, la Turquie et Syrie, Le Cèdre de l'Himalaya (Cedrus deodara London) qui se distribue dans l'Asie, Cèdre de Chypre (Cedrus brevifolia Henry) qui se trouve comme son nom l'indique à Chypre, et finalement le Cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) qui se trouve au niveau de l'Algérie et au Maroc ( **Ladjal et al., 2007**).

Cedrus atlantica est une espèce conifère qui peut atteindre plus de 40 mètre de hauteur, c'est une espèce de grande taille (**Boudy, 1950**) a l'âge adulte elle présente une cime de forme tabulaire, bien qu'elle a des âges plus jeunes elle a une forme d'une pyramide en élargissant avec le temps pour devenir globuleuse (**Toth, 1970**). Une espèce montagnard a feuilles sous forme d'aiguilles disposées en rosette toujours vertes (sempervirents) et persistantes, a longueur entre 1 et 2.5 mm (**Boudy, 1952 ; Toth, 1980**).

C'est une espèce monoïque, les fleurs de Cèdre de l'Atlas sont groupées en chatons, qui sont unisexuées (chatons mâles) qui ont une forme ovoïde, de même forme les inflorescences femelles mais plus petites que les mâles, apparaissent trois mois après, de couleur verte-bleuâtre (**Toth, 1978**).

Le cèdre de l'atlas est une plante a graine appartenant à l'embranchement des spermaphytes, sous –embranchement des gymnospermes c'est un arbre a ovule nu, qui porte des cônes du fait qu'il est conifère, C'est une plante monoïque qui possède deux genres des cônes mâles et femelles séparés qui se trouve sur un même spécimen. Les écailles des cônes mâles portent 2sacs polliniques à leur face inférieure et femelle qui portent 2 ovules à la face supérieure. Ses cônes sont de forme ovoïde, leur taille peut varier de 6 à 11 cm de long, avec un diamètre variant entre 4 et 6 cm, dressées, pourvues de graines de forme triangulaires et ailées, qui se détache du cône avant sa chute, la germination des graines ne peut s'effectuer que lorsque les températures se baissent en s'approchant à 10°C pendant 9 à 10 jours (**Lepoutre, 1964**).

Les feuilles de Cèdre de l'Atlas sont disposées sur deux types de rameaux à la différence des autres genres de Pinaceae, soit groupées en rosettes sur des rameaux courtes, ou bien se trouvent isolées sur des rameaux longs. (Arar, 2020)



**Figure 5** : Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) dans le Belezma.

#### **4. L'aire de répartition géographique du cèdre de l'Atlas**

##### **4.1.L'aire naturelle**



Comme répartition naturelle du Cèdre décrite par **Mhirit 1999**, Trois blocs géographiques distincts constituent l'aire de répartition de Cèdre, dont ce dernier est une espèce essentiellement montagnarde : L'Afrique du Nord, Himalaya et L'Asie mineur.

L'Afrique du Nord se divise en sept blocs de répartitions de Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti), ceci concerne quatre blocs dans les montagnes marocaines, et trois blocs dans les montagnes Algériennes.

Au Maroc les cédraies s'organises-en :

- Les Cédraies du Rif dont la superficie est d'ordre 15000 ha, de point de vue Écologique elles occurrent à partir de 1500 m d'altitude sur un sol calcaire, le substrat est de type quartzeux-schisteux de la nappe de kétama ou des substrats de type gréseux de la nappe de Tizirène (**Emberger, 1939 ; Ruiz De La Torre, 1956 ; Lecompte, 1969 ; Mhirit, 1982 ; Mhirit, 1999**).

- Les Cédraies de Tazekk dont la superficie est d'ordre 850 ha, leur occurrence est sur des substrats schisteux primaires non calcaires.

- Les Cédraies du Moyen-Atlas central avec une superficie considérée comme la plus importante de cette espèce d'ordre 120.000 ha, qui s'installent sur un substrat dolomitique ou calcaire du jurassique et du lias (**Peyre, 1979 ; Achhal et al., 1979**).

- Les cédraies du Moyen –Atlas Oriental avec une superficie d'ordre 23000 ha qui s'installe sur un substrat Marno-calcaire ou dolomitique du Toarcien-Aalenien, peuplement dispersée en petits îlots au Nord au niveau des massifs du Boulblane de Taffert et de Tamtroucht, et au Sud au niveau des massifs de BouNaceur (**Peyre, 1979 ; Achhal et al., 1979**).

En Algérie les cédraies s'organisent en :

- Les Cédraies du Haut-Atlas Orientale occurrent au niveau des montagnes de Jbel Masker et Jbel Layachi sur un substrat marno-schistes, calcaires avec une superficie d'ordre 26000 ha (**Peyre, 1979 ; Ziat, 1968**).

- Les Cédraies de L'Atlas Tellien : ces peuplements sont répartis en forme dispersée en quatre îlots : les massifs de l'Ouarsenis avec une superficie de 1000 ha, monts Blidien 1000 ha, les massifs de Djurdjura 200 ha, et les Babors 300 ha. Ces peuplements s'installent sur un substrat grés calcaire, schistes et marno-calcaire.

- Les cédraies de l'Atlas Saharien, occupent la surface la plus importante en Algérie, s'installent au niveau des massifs des Monts des Aurés et du Belezma avec une superficie de 17000 ha, les Monts du Hodna 8000 ha, ces peuplements sont installés sur un substrat calcaire

dolomitique et dolomites du jurassique supérieur et sur calcaire du crétacé inférieur (Faurel, 1947 ; Abdessemed, 1981).

En Asie mineur le Cèdre s'organise en deux parties chacune avec une espèce particulière comme suit :

- Le Liban constitue l'aire de répartition du *Cedrus libani* Barrel avec une superficie de 1700 ha en plus de la Syrie avec quelques centaines d'hectares et la Turquie au niveau des monts Taurus et L'Amanus avec 160 000ha.

- *Cedrus brevifolia* Henry, s'installe au niveau de l'île de Chypre au niveau de la forêt de Paphos sur une petite surface.

L'Himalaya au Nord-Ouest dans les grands massifs de l'Inde et de l'Afghanistan constitue le troisième bloc de l'aire de répartition de *Cedrus deodara* Loudon. (Arar Abdelkrim, 2020)

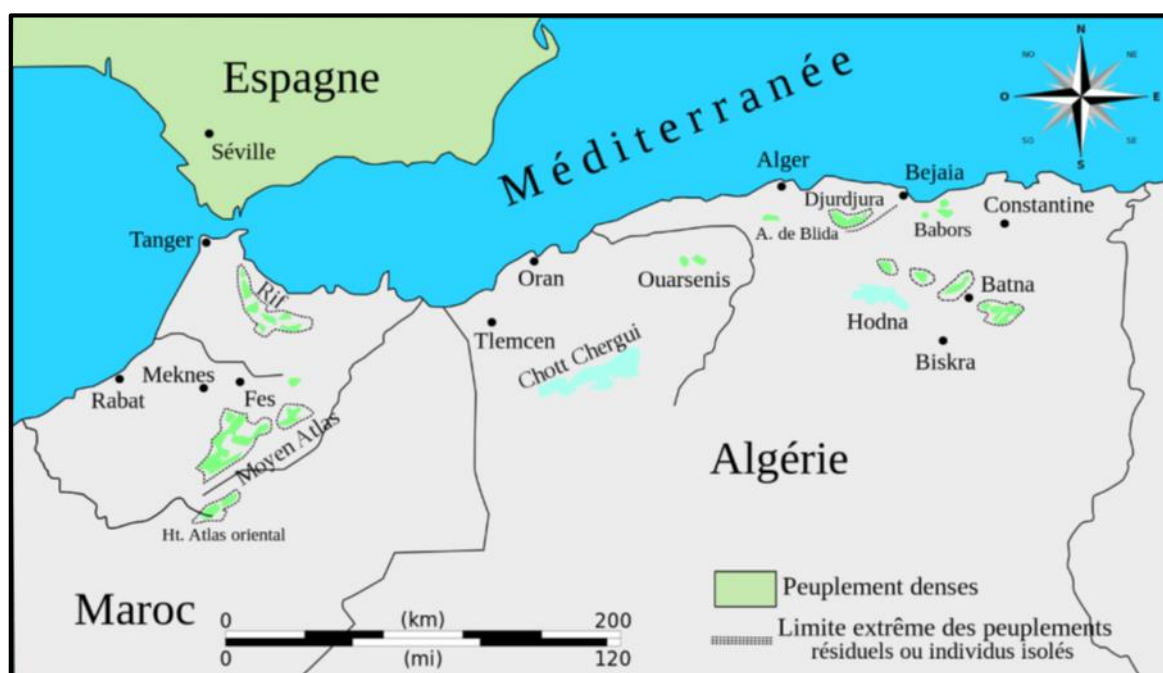


Figure 6: Carte de répartition du Cèdre de l'Atlas dans la région Nord-Africaine (source : <https://commons.wikimedia.org/>)

#### 4.2.L'aire d'introduction

L'introduction du Cèdre et plus particulièrement *Cedrus atlantica* Manetti a été effectuée depuis longtemps par des pays circumméditerranéens soit pour des fins de reboisement ou pour l'ornement. Parmi les pays qui ont introduit l'espèce on cite la France en 1886, l'Italie en 1864 et la Bulgarie en 1890, en plus d'autres pays où l'introduction du *Cedrus atlantica* Manetti a été



signalée tel qu'en états américains, Pennsylvanie, New York, Côte pacifique, aussi en URSS au niveau de Crimé (Caucase) en 1890, etc., d'où l'espèce a été le plus généralement utilisé pour des reboisements (Toth, 1980 ; M'herit, 198 ; Aussenac, 1984 ; Arar, 2020)

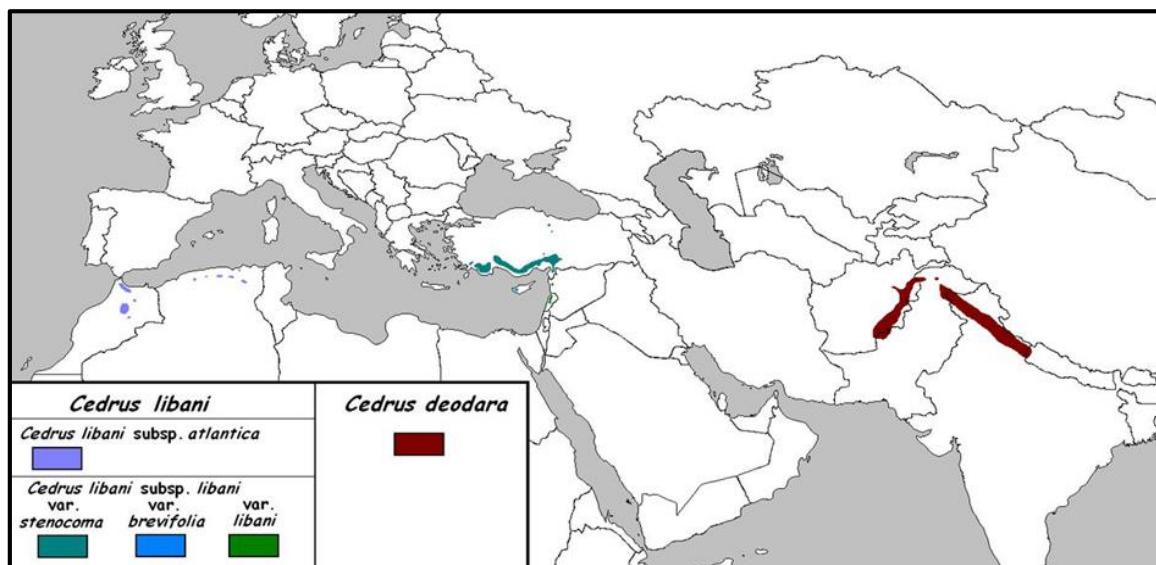


Figure 7: Carte de répartition du Cèdre dans le pourtour méditerranéen (source : <https://ar.m.wikipedia.org>).

## 5. Ecologie du cèdre de l'Atlas

### 5.1. Les conditions climatiques

#### 5.1.1. Les précipitations

D'après Putod (1979) in Abdessemed (2010), le cèdre de l'Atlas dans ses pays d'origine reçoit des lames de pluies annuelles comprises entre 450 et 1500 mm.

Selon (Derridj, 1990), les cédraies de Djurdjura méridional, l'Ouarsenis, Chréa et Meurdja reçoivent une lame de pluie entre 1126 et 1420 mm par année. Cependant, celle des Babors et Djurdjura septentrional, la pluviométrie annuelle varie entre 1600 à 2100 mm / an.

D'après (Boudy, 1950 ; M'herit, 1982 ; Toth, 1980 in Houamel, 2012), la pluviométrie annuelle au niveau des Aurès varie entre 400 et 500 mm/an et dans certaines conditions peut atteindre 800 à 900 mm. En revanche le (Houerou, 1975 in Abdessemed, 2010) estime 600 mm de précipitations comme limites inférieures.

Il faut cependant noter que si l'on recherche un bilan hydrique exact, la méthode est critiquable du fait qu'elle néglige les réserves en eau du sol au moment de la germination de la graine (Lepoutre, 1963). Ainsi que pour l'ensemble des montagnes méditerranéennes, les gradients pluviométriques sont élevés (25 à 50 mm /100 m) (M'herit, 1994 ; Madjour, 2015)

### 5.1.2. Les températures

La germination et la croissance du cèdre de l'Atlas s'effectue sous des températures moyennes annuelles comprises entre 8 et 14° C (**Toth, 1980 in Abdessemed, 2010**).

Le cèdre est une essence qui peut supporter sans dommage des froids hivernaux importants, mais en même temps, toutes les autres caractéristiques écophysiologiques analysées montrent que son écologie correspond à des climats doux (Aussenac, 1984 in Anonyme, 2014). Il vit dans ses pays d'origine avec des extrêmes absolus de (- 25 °C et + 35°C) (**Putod, 1979 in Abdessemed, 2010**).

Les cédraies du pourtour méditerranéen subissent un climat présentant un à trois mois biologiquement secs dans l'année (sécheresse estivale ;  $p \text{ (mm)} < 2T \text{ (}^\circ\text{C)}$ ). (**Quezel, 1976 in Krouchi, 2010 ; Abdessemed, 2010**)

### 5.1.3. L'altitude

Du point de vue de l'altitude, (**Aussenac et Guhl, 1990**), soulignent que, dans son aire d'origine, le cèdre pousse à des altitudes variant de 1.400 m à 2.200 m, ses limites inférieures et supérieures différentes d'une cédraie à l'autre en fonction des conditions climatiques et du relief.

En France, le cèdre de L'Atlas se trouve à basse altitude entre 250 m et 900 m et peut même aller jusqu'à 1.200 m (**Guibal, 1986**). On cite la cédraie artificielle du Mont Venteux, qui descend jusqu'à 680m (**Toth, 1980**).

Au Maroc, le cèdre de L'Atlas se trouve à des altitudes variant entre 1 .500 met 2. 100 ni (**Aussenac, 1984**).

Selon **M'hirit (1982)**, le cèdre de l'Atlas à partir de 1.500 m sur le Rif, 1 .600 m sur le moyen Atlas et 1.700 m sur le haut Atlas oriental. **Boudy (1952)**, souligne que sa limite supérieure peut aller jusqu'à 2.600 m ou 2.800 m.

En Algérie, le cèdre de l'Atlas commence à apparaître vers 1400m dans l'Aurès (**Abdessemed, 1981**), et Theniet El Had (**Boudy, 1950**), il peut même apparaître vers 1300 m au Chréa (Boudy, 1950 ; Zeraria, 1986). Par contre sa limite supérieure peut aller jusqu'à 2.200 m au Chélia (**Abdessemed, 1981; Bared, 2016**).

#### 5.1.4. Le substrat

Le substratum géologique constitue également un facteur de répartition des cédraies, on constate que :

- Le Cèdre est également rare sur calcaire.
- Sur des formations argileuses recouvertes d'éboulis.
- Sur grès et sur dolomies dans 4/5 des cédraies des Aurès et du BELEZMA, ce qui peut s'expliquer par le fait que les deux substratums donnent naissance à des sols légers dans lesquels les racines des jeunes cèdres peuvent pénétrer plus facilement. (**Halitim, 2006**).

**Lepoutre (1964)** a mis en lumière le fait que l'influence des facteurs édaphiques varie selon le climat ; plus le climat est sec, plus l'influence du sol est grande.

En Algérie comme au Maroc, le cèdre pousse sur des roches acides (granites, quartzites, schistes, grès siliceux) ou non acides (roches calcaires, marnes, dolomies, basalte grès calcaire).

**Boudy (1950)** note que le cèdre de l'Atlas se rencontre aussi bien sur les calcaires que sur les schistes calcaires ou gréseux et sur grès, et que les neuf dixième des cédraies algériennes se trouvent sur des formations siliceuses.

Au Maroc, l'analyse des aiguilles de cèdre a révélé des déficiences nutritionnelles en éléments nutritifs, l'apparition de ces déficiences chez les jeunes semis de cèdre constituera une contrainte majeure à la croissance et à la survie des plants (**Boudy, 1950; Bared, 2016**)

#### 5.1.5. La lumière

Divers facteurs influencent l'atténuation de la lumière dans les peuplements forestiers particulièrement la composition, la densité, la structure, l'architecture du peuplement, l'état du ciel et l'angle solaire. La biomasse foliaire réduit non seulement la qualité de la lumière qui atteint le sous-bois, mais produit de larges modifications de la qualité spectrale de la lumière. (**Lamhamedi et Chbouki, 1994**).

Dans les peuplements où le couvert est relativement fermé et dense, la présence des semis est rare et le système racinaire reste mal développé et superficiel. L'absence totale d'un couvert végétal favorise la mort prématurée des semis de cèdre suite à leur dessèchement par le rayonnement solaire.

Dans ces conditions, la réduction du stress thermique a une importance capitale.

La présence des tâches de lumière et de conditions microstationnelles favorables peut conditionner la régénération du cèdre dans les peuplements denses. (**Lamhamedi et Chbouki, 1994; Bared , 2016**)

#### 5.1.6. L'exposition

Elle joue un rôle important dans la répartition des pluies et des températures.

En Algérie comme au Maroc, les vents humides sont de direction Nord-ouest. Ainsi, les expositions faisant face à ces vents sont plus arrosées ; elles portent les plus belles cédraies.

- Au Maroc, la plupart des cédraies sont exposées aux vents d'Ouest chargés d'humidité (**Abourouh, 1983**).
- En Algérie, les expositions Nord et Nord –Ouest sont non seulement bien arrosées mais également à l'abri des vents desséchants, constate qu'au Belezma, l'exposition sud marque bien la limite de la cédraie (**Bentouati, 1993; Bared, 2016**)

#### 5.1.7. Etages bioclimatiques

Selon la classification d'Emberger, le cèdre de l'Atlas se trouve dans divers étages bioclimatiques : les étages semi-arides à hiver froid et humide, sub-humide à hiver froid, humide à hiver froid et humide et humide à hiver frais (**Aussenac, 1984**).

Mais il trouve son optimum écologique dans le bioclimat méditerranéen humide à hiver froid.

Quand le bioclimat devient humide et plus doux, le cèdre est fortement concurrencé par d'autres espèces.

En Algérie Meddour (**1994**) souligne que les cédraies septentrionales (Atlas Blidéen, Djurdjura et le massif de Babors) sont soumises à un bioclimat humide, variante fraîche voire per humide. Tandis que la majorité des cédraies méridionales (Aurès, Belezma, Hodna) sont soumises aux bioclimats subhumide froid et très froid (**Abdessemed, 1984 ; M'hirit, 1982**).

Notons qu'**Abdessemed (1982)** a signalé la présence de cette espèce dans les Aurès sous le bioclimat semi-aride supérieur. (**Abdessemed, 2010**).

#### 5.1.8. Autres facteurs climatiques

##### 5.1.8.1. Humidité de l'air

L'humidité relative constitue par ses écarts brutaux, l'un des caractères climatiques les plus importants des montagnes de l'Afrique du Nord (**Quezel, 1980**). La région de Tala-Guilef

est caractérisée par une hygrométrie variant au cours de l'année ; elle est de 64% au printemps et de 40% en été (**Abdesselam, 1995 in Krouchi, 2010**). (**Madjour Karim., 2015**)

#### 5.1.8.2. Enneigement

En plus du rôle que joue l'enneigement sur la levée de dormance des graines, il constitue un potentiel hydrique important pour le sol, et son importance augmente avec la persistance du couvert neigeux. Selon **Belin (1945) in Krouchi (2010)** le Djurdjura reçoit des précipitations neigeuses de Novembre à Mars. Elles tombent chaque année avec une moyenne annuelle de 15 jours/an à Tikjda (**Chalabi, 1980 ; Madjour, 2015**)

#### 5.1.8.3. Gelées

Malgré les effets négatifs du gel sur le développement et la croissance végétale par la chute brutale et excessive des températures, néanmoins ils contribuent à la désarticulation des cônes et donc la dissémination des graines du cèdre. Boutamine (1987), a signalé l'existence de gelées à Tikjda sur une période de 115 à 145 jours par année, allant de Décembre à Mars. (**Madjour, 2015**).

#### 5.1.8.4. Le vent

Le vent est un facteur climatique important qui intervient dans la pollinisation, la dissémination des graines du cèdre et contribue à l'arrosage des cédraies en y véhiculant les nuages chargés d'humidité. Cette dernière est assurée en grande partie par les vents du Nord et du Nord-Ouest (**Nait Abdelaziz et Challal, 2011 ; Tahanout, 2017**).

### 5.2. Conditions édaphiques

Les cédraies circum-méditerranéennes sont d'une façon générale localisée sur substrats calcaires (**Quezel, 1980**). En Afrique du Nord, le cèdre de l'Atlas se rencontre aussi bien sur les calcaires plus ou moins compacts du lias ou marneux du jurassique moyen, que sur les schistes calcaires ou gréseux ou les grés. Les neuf dixième (9/10) des cédraies Algériennes se localisent sur les formations siliceuses et en bien moindre proportion sur les calcaires du crétacé (**Boudy, 1950**). D'une façon générale il semble que c'est l'aspect physique du substrat qui joue le rôle le plus important dans le comportement écologique, plutôt que l'aspect chimique (**Yi, 1976 in Beghami, 2003**).

Le cèdre n'a pas d'exigences particulières pour le sol, mais ne vient pas dans les sols tourbeux ou humides (**Gaussen, 1967**). Il redoute les sols mal drainés, asphyxiants, hydro

morphes et la texture argileuse lui est défavorable (Toth, 1971). Les espèces végétales associées au cèdre sont différentes selon les conditions écologiques, c'est à dire la pluviométrie, l'altitude et les conditions édaphiques. La richesse floristique des cédraies est estimée à un millier d'espèces dont environ 10% d'arbres, 15% d'arbustes et arbrisseaux et 75% de plantes herbacées annuelles ou pérennes (M'hirit et al. 1999 ; Abdessemed , 2010)

## 6. Cortège floristique

Le cortège floristique du cèdre est considéré parmi les plus importants, qui est estimé à environ un millier d'espèces, entre 10% d'arbres, 15% d'arbrisseaux et 75 % de plantes herbacées annuelles ou pérennes (M'hirit, 1999 ; Benabid et Fennane, 1999), l'importance du cortège floristique est probablement lié aux variations topographiques et géomorphologique avec le gradient de continentalité plus qu'on s'éloigne de la mer méditerranéenne, ces variations sont accompagnés d'une variations bioclimatique influençant la composition végétale des écosystèmes forestiers méditerranéens (Barbero et al., 1990 ).

La composition fréquente du cortège floristique des cédraies :

- Les pins tel que : *Pinus halepensis* (Pin d'Alep), *Pinus pinaster* (Pin maritime), *Pinus nigra* ssp. *Mauretunica* (Pin noir).
- Les espèces des chênes tel que : *Quercus rotundifolia* (Chêne vert), *Quercus suber* (Chêne-liège), *Quercus faginea* (Chêne zeen).
- Les Genevriers tel que : *Juniperus oxycedrus* (Genévrier oxycèdre).
- Des arbres comme : les frênes (*Fraxinus dimorpha*), les sapins (*Abies numidica*, *Abies maroccana*), les érables (*Acer monspessulanum*, *Acer obtusatum*...), l'if commun (*Taxus baccata*).

A l'échelle de l'Algérie, la diversité des bioclimats suivent le gradient Nord Sud s'est accompagné d'une diversité des facies, selon (Ezzahiri et al., 1994) les facies en Algérie sont organisés comme suit : Dans les Aurés et Belezma, le facies a bioclimat sec est caractérisé par la présence des espèces arborescentes tel que : Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), Le chêne vert (*Quercus ilex*), le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le Genevrier thurifere (*Juniperus thurifera* subsp. *Africana*), *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea* et *Ampelodesma moritanica*, *Fraxinus xanthoxyoides*. Pour le facies humide au niveau de l'Atlas Blidéen, les massifs de Chréa, Djurdjura et les Babors sont caractérisés par les espèces suivantes : *Cedrus atlantica*, *Quercus ilex*, *Quercus faginea* et *Taxus baccata*.

Au niveau du Maghreb, l'association de Cèdre la plus fréquente est le plus particulier avec le chêne vert et avec d'autres chênes à feuilles caduques, avec *Ilex aquafolium*, *Taxus baccata*, il forme des associations avec des arbustes tel que : *Crataegus laciniata*, *Sorbus torminalis*, *Rhamnus alpina*, *Sorbus aria*, *Rhamnus alpina*, *Crataegus laciniata*, *Ruscus aculeatus*, *Cotoneaster fontanesii*, etc. (**Emberger, 1938**).

Concernant la strate herbacée, le cortège du Cèdre peut contenir les espèces suivantes : En Algérie, *Senecio perralderianus*, *Viola munbyana*, *Myosotis alpestris*, *Convolvulus dryadum*, tandis qu'en Rif c'est des taxa infra spécifiques vicariants.

Au niveau des zones de facies humide, les conditions d'humidité des cédraies sont des bon facteurs d'installation de plusieurs champignons, lichens et mousses, dont certains de ces espèces sont exclusives au Cèdre de l'Atlas et peuvent lui être utile (**Toth, 2005; Arar, 2020**)

## 7. Facteurs de dégradation

### 7.1. Les insectes

Le cèdre de l'Atlas peut être attaqué par les insectes tels que

- **Acleris undulana** (tordeuse du cèdre) : Insecte ravageur des aiguilles de cèdre de L'Atlas (**Roque, 1983**).
- **Thaumetopoea bonjeani** (processionnaire du cèdre) Insecte ravageur des aiguilles l'arbre apparaît totalement défeuillé et donne l'aspect d'un arbre incendié (**Roque, 1983**).
- **Megastigmus pinsapinis** Attaque les graines, il est le responsable de la perte d'an moins 13% des graines (**Bariteauet al., 1994**).
- **Epinotai cedria** Cause des défoliations périodiques sur les aiguilles, demeurant sur les branches, surtout en hiver.
- **Evertria Bualina schiff** (Tordeuse des pousses du cèdre) : Elle élimine la partie non ligneuse des pousses terminales.
- **Cedrobium laportei** (puceron du cèdre) : Cet insecte provoque des dégâts par ses pullulations printanières et automnales, entraînant une défoliation partielle ou totale des arbres et quelquefois la mort des sujets fortement infestés (**Farbet et Rabase, 1985 ; Houamel, 2012**)

### 7.2. Les champignons

Parmi les champignons qui causent des dégâts redoutables au cèdre on cite :

- **Trametes Pini, ou pourriture rouge du cèdre**, est un Basidiomycète de la famille des polyporacées.



- **Ungulina officinalis** est un polypore connu sous le nom de pourriture brune ou prismatique.
- **Polyporis officinalis** : cause des altérations plus au moins graves au cèdre (**Boudy, 1952**).
- **Armillariamilla** : champignon qui attaque surtout les racines et le tronc, ce champignon se développe surtout sur les arbres affaiblis par une cause quelconque (**Boudy, 1952**).

### 7.3. Les animaux

En plus les insectes, les champignons, on peut citer le sanglier comme un animal qu'endommage la régénération naturelle du cèdre par son mode de nourriture et notamment par le piétinant et qui se fait particulièrement sous couvert. Le singe Magot (*Macacasyllvanus*) provoque aussi parfois des dégâts sur le cèdre en écorçant les arbres et en se nourrissant des nouvelles pousses de l'année.

Le bétail (surtout le Bovins) lâché en liberté dans la forêt cause lui aussi de terribles dégâts par leur empiétement qui compacte le sol (**Mazirt, 1991 ; Belkhiri, 1993 in Bared, 2016**). Les jeunes cèdres n'échappent pas à leur tour à la dent du bétail, qui en broute les parties terminales vertes. De tels arbres, même s'ils grandissent donneront des individus avec des paramètres dendrométriques en dessous de la moyenne (faible production, hauteur insuffisantes) (**Bnef, 1985 in Bared, 2016**).

D'une manière générale, le pacage incontrôlé constitue l'une des principales causes de la destruction de l'écosystème forestier. (**Tahanout, 2017**)

### 7.4. L'homme

L'action de l'homme se manifeste par des coupes, des ébranchages et des défrichements. Les branches d'arbres sains sont coupées par les riverains pour leurs besoins quotidiens en bois (constructions des habitations,.. etc.) et pour le nourrir le bétail pendant la mauvaise saison. Cette pratique conduit à la mort des cèdres à cause du déséquilibre physiologique qui survient suite à la diminution de la biomasse aérienne par rapport à celle du système racinaire. (**Tahanout, 2017**)

### 7.5. Les incendie

De toutes les espèces qui composent la forêt méditerranéenne, le cèdre est le moins inflammable et le moins combustible. En peuplement dense, le cèdre élimine toute végétation herbacée, de ce fait il est peu propice au feu (**Boudy, 1950; Tahanout, 2017**)



## 8. Intérêts de la cédraie

Le simple fait d'avoir associé « Atlas » au nom de l'espèce traduit toute l'importance (Demarteau et al., 2007), de cette essence qualifiée de noble.

### 8.1. Intérêt socio-économique

Le cèdre de l'Atlas est une composante écologique et socio-économique essentielle du paysage forestier national. Ses valeurs bioécologiques et socioéconomiques lui confèrent une importance mondiale (M'herit, 1994).

Le cèdre de l'Atlas est une essence forestière tolérante à la sécheresse et productrice de bois de haute qualité (M'herit, 1994). Il joue un rôle important dans la structuration des écosystèmes et des paysages forestiers, grâce à ses qualités sylvicoles (sa résistance aux incendies et sa morphologie particulière). Toth (1990) signale qu'il protège le sol contre l'érosion, grâce à sa cime tabulaire et son système racinaire profond et ramifié, et qu'il élimine la strate herbacée, diminuant ainsi les risques d'incendie.

Des plantations effectuées avec succès dans l'Atlas tellien et l'Aurès témoignent de l'aptitude de cette espèce à coloniser des espaces vides, grâce à la puissance de sa régénération naturelle, et le cèdre se présente comme une essence de reboisement majeure dans l'étage montagnard (Harfouche et Nedjahi, 2003).

Ainsi, son excellente qualité de bois d'œuvre, sa productivité (**8 à 12 m<sup>3</sup>/ha/an dans les zones difficiles, selon Toth, 1973, 1977 ; M'herit, 1982**), sa résistance aux incendies, sa résistance à la sécheresse et au calcaire, son aptitude à protéger le sol et la faible inflammabilité de sa litière (Toth, 1970, 1972 ; Courbet et al, 2012), en font une essence de choix pour la reconstitution de la forêt méditerranéenne.

### 8.2. Intérêt patrimonial

La plupart des peuplements de cette espèce sont, à l'heure actuelle, gérés dans le cadre de parcs nationaux (Belezma, Djurdjura, Ouarsenis, Atlas Blidéen, Théniet El Had), où l'objectif principal est la recherche d'un équilibre entre conservation et développement. Des dérives protectionnistes constituent, dans certains cas, des contraintes à une gestion rationnelle de cette ressource génétique, dont l'utilisation doit dépasser les cadres régional et national (Harfouche et Nedjahi, 2003).

La multitude de qualités que possède ce conifère explique son emploi depuis l'Antiquité à nos jours dans les édifices les plus majestueux. Vénééré depuis toujours, le cèdre de l'Atlas

demeure un symbole de notre terre, de notre culture et de notre mémoire. Le nom de l'espèce est définitivement associé à la chaîne de l'Atlas et à la noblesse de l'essence (**M'hirit, 2006 ; Larbi, 2015**)

# *Etude expérimentale*



# *Matériels et méthodes*

## 1. Présentation de la zone d'étude

### 1.1. Historique sur le Parc National de Belezma

Le Parc National 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. La Chronologie historique du parc national de Belezma de 1953-2008 est résumée ainsi :

- **1953** : P. 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).
- **2002-2008** : Apparition du dépérissement du cèdre ; missions de l'INRF ; étude en dendrochronologie établie par l'institut d'Arizona (USA 2006-2008) (Boukerker, 2016).

### 1.2. Présentation du Parc National de Belezma

Le Parc national de Belezma a été créé par le décret 83-326 du 03 Novembre 1983 en vue de préserver l'écosystème contre les dégradations naturelles ou anthropiques (1). Le massif du Belezma est séparé de l'Aurès par le couloir synclinal de Batna qu'il domine, c'est un massif au

relief assez accentué et constitué par des plis orientés Sud-Ouest-Nord-Est. Il est limité au Nord par la plaine de Merouna et d'Ain Djaser, à l'est par la plaine d'El Mahder et à l'ouest par l'Oued Barika qui le sépare des monts du Hodna (**Abdessemed, 2009**)

Le Belezma est formé d'une série de plis plus au moins parallèles. A l'Est le premier pli est constitué par trois djebel au relief très escarpés : le Dj.Touggour (2091m) ; Dj.Boumerzoug (1778m) et Dj. Kasserou. Le second pli est constitué par la chaîne du Dj. Chellala qui se prolonge au Nord Est par le Dj. Maaguel et au Sud-ouest par le Dj. Bordjame et Tichao (2138m). A l'Ouest du Tihao et au-dessus de Merouana se dresse le pli du Dj. Refaa (2178m) (**Abdessemed, 2009**)

### 1.2.1. Situation géographique

La superficie du Parc est de 26.250 Ha dont 16091.9 Ha constituant la zone périphérique. Il est situé sur la partie orientale de l'Algérie du nord, exactement au Nord-Ouest de Batna, dans la partie boisée du massif montagneux de Belezma. Il présente une configuration allongée d'orientation Sud /Ouest, Nord / Est, il est compris entre : (**Beloula, 2010**)

#### 1.2.1.1. Coordonnées géographiques

35° 32' 40" à 35° 37' 46" de latitude Nord.

5° 55' 10" à 6° 10' 45" de longitude Est. (**Houamel, 2012**)

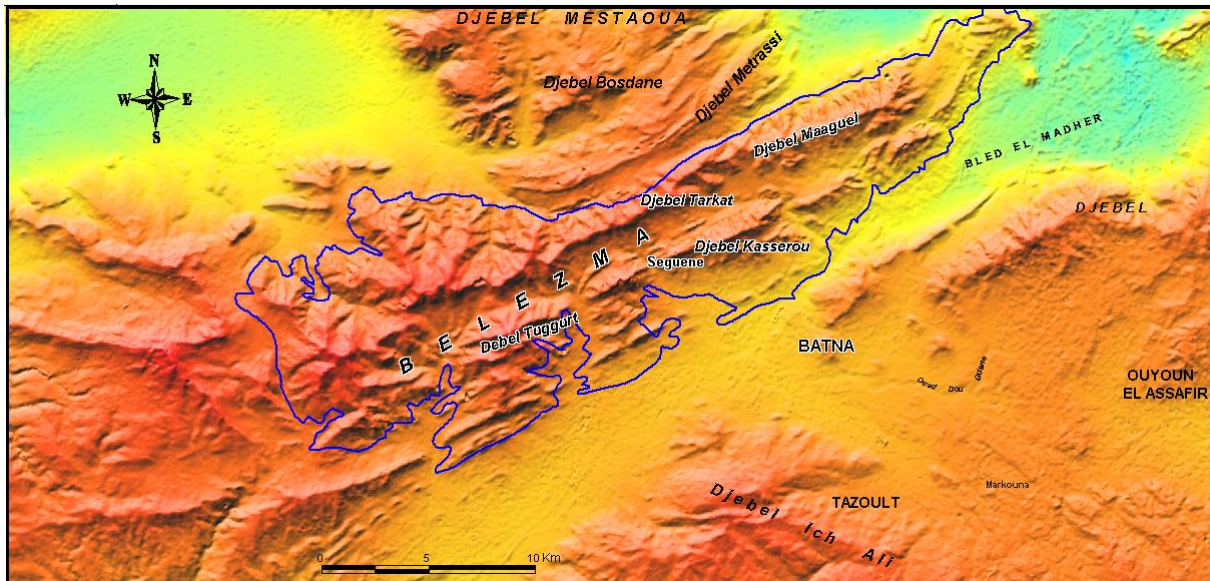
#### 1.2.1.2. Coordonnés Lambert

A l'Ouest	Y = 254,1	Au Nord	Y = 262,5
	X = 782,5		X = 802,0
A l'Est	Y = 363,5	Au Sud	Y = 254,5
	X = 816,0		X = 800,1

#### 1.2.1.3. Limites administrative

Les limites du parc national de Belezma s'étendent sur plusieurs communes appartenant à quatre daïra de la wilaya de Batna :

- Daïra de Batna : Communes de Fesdis, Batna et Oued Chaâba.
- Daïra de Merouana : Communes de Merouana, Oued El-Ma et Hidoussa.
- Daïra de Seriana : Commune de Seriana.
- Daïra d'El-Madher : Commune de Djerma (**BELOULA,2010**)



**Figure 8:** Carte de localisation du Parc National de Belezma.

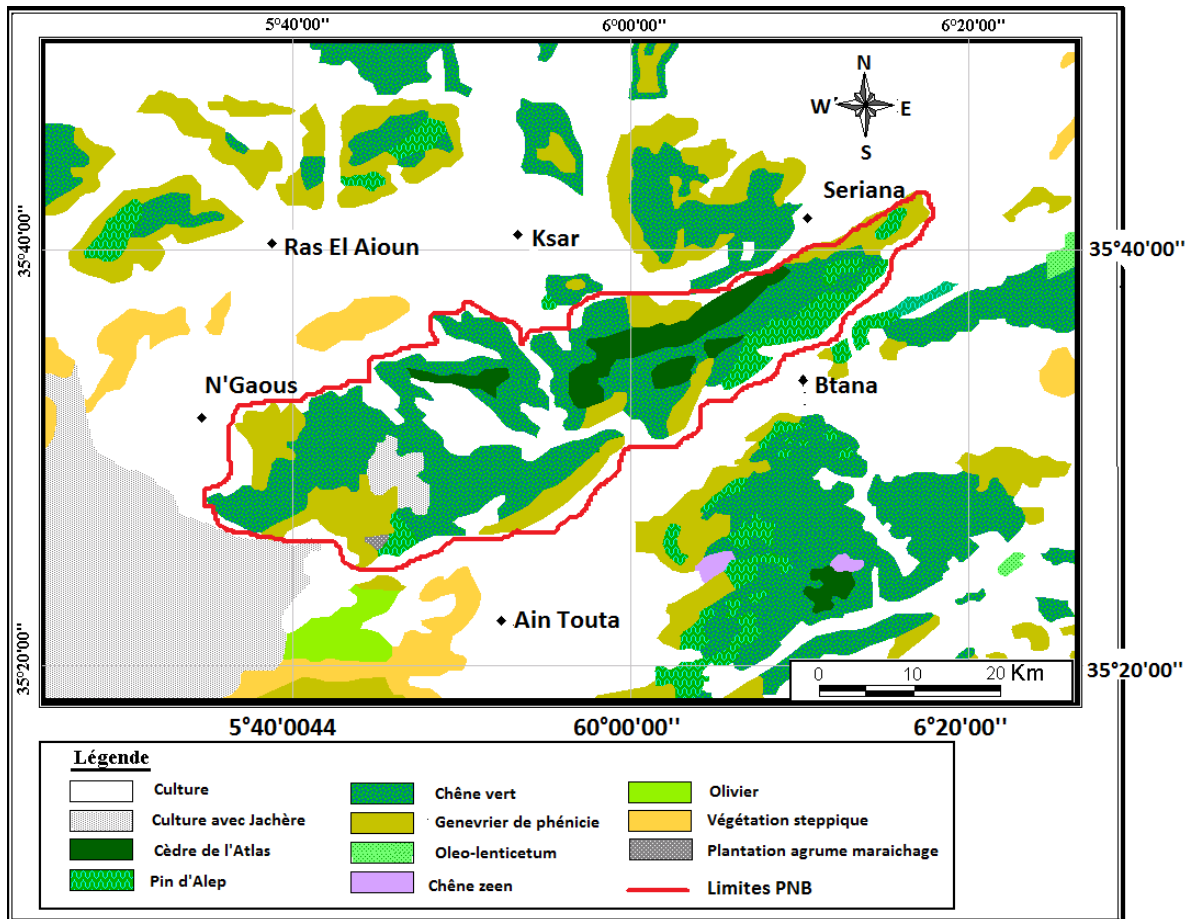
### 1.3. Carte de végétation

La végétation se distribue en ensembles cohérents, selon des séries de végétation ou des étages de végétation en montagne et dont la répartition géographique est déterminée par les conditions du milieu, le climat et la nature des sols. La série ou l'étage se définit à travers une essence forestière dominante (**Gauquelin, 2005**).

La carte de végétation offre une plateforme intéressante pour la connaissance de l'état actuel de la végétation (**Batunyi, 2005**).

La figure, montre l'existence d'une véritable ceinture de chêne vert autour des peuplements de cèdre, accompagnée d'autres espèces comme : le Pin d'Alep, le Genévrier, l'Olivier et le lentisque. (**BOUKERKER, 2016**)





**Figure 9:** Carte de végétation de parc national de Belezma 9DGF, modifiée 2006

## 1.4. Caractérisation de la zone d'étude

### 1.4.1. Etude du milieu physique

#### 1.4.1.1. Relief

Le parc national du Belezma correspond à une chaîne de montagne très accidentée marquant le début du massif des Aurès et s'étend sur des zones montagneuses de hautes et moyennes altitudes : Djebel Refâa (2178 m), Djebel Tichaou (2136 m), Djebel Tuggurt (2090 m), Djebel Kasrou (1641 m), Djebel Maâgel (1500 m).

11,4% de la superficie du parc se trouve à une altitude supérieure à 1400 m (**Betrouche, 2012**). La topographie du site est globalement orientée Nord/Sud avec un relief très accidenté et des pentes supérieures à 75%. Ce sont des barres rocheuses, des falaises sur les deux versants, et des vallées étroites formées de deux (02) lignes de crête de 60 km de longueur :

La première passe Koudiat Tsouchent, Dj Tuggurt (2090 m), Dj Boumerzoug (1778 m), Dj Kasserou (1641 m), Ce chaînon se prolonge vers la partie Nord-Est périphérique du Parc par Dj Takhabi, Dj Belkherz (1253 m), Dj Baâdach (1161 m) et Dj Sarif (1114m).



La deuxième ligne de crête qui passe par Dj Boukerouch, Dj Maâgal, DjTarkat (1803 m), Dj Chellala (1748 m), Dj Bourdjem (2074 m), Dj Tichaou (2091 m). (B.N.E.F, 1986). La zone d'étude, située dans la partie sud du parc national de Belezma, comprend le versant nord de Djebel Tuggurt et le versant sud du Col Telmet. Pour chaque versant 9 parcelles de 625m<sup>2</sup> (25 x 25 m) ont été retenues et matérialisées., ces chainons de montagne sont en altitude décroissante en allant du Sud au Nord en tout point du territoire du parc.

L'exposition dominante des versants est Nord et reconnaissable à l'état satisfaisant de la couverture végétal, en revanche sur les versants Sud la densité du reboisement est plus faible et dégradée (signe d'érosion apparent) (Houamel,2012)

#### 1.4.1.2. L'altitude

Dans tout le territoire du Parc de Belezma, l'altitude dépasse les 1000 m, soit 77,4 % de la superficie du Parc est constituée par des terrains dont l'altitude est supérieure à 1400 m ; 10 % environ sont supérieurs à 1800 m et seulement 1,4 % varient entre 1000 et 1200 m.

Le tableau suivant illustre la répartition des terres par classe d'altitude et leurs pourcentages respectifs par rapport à la superficie totale.

**Tableau 1:** Répartition des terres par classe d'altitude en % par rapport à la superficie totale. (Houamel, 2012)

Altitude en m	Pourcentage (%)
1000-1200	1,4
1200-1400	21,2
1400-1600	37,1
1600-1800	30
1800-2000	9,6
>2000	0,7

#### 1.4.1.3. La pent

Le tableau ci-dessous résume les superficies en relation avec les pentes qui caractérise le terrain de Parc de Belezma.

**Tableau 2:** La répartition des terres par classe de pente par rapport à la superficie totale. (Houamel, 2012)

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%.

#### 1.4.1.4. 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 % (Houamel, 2012)

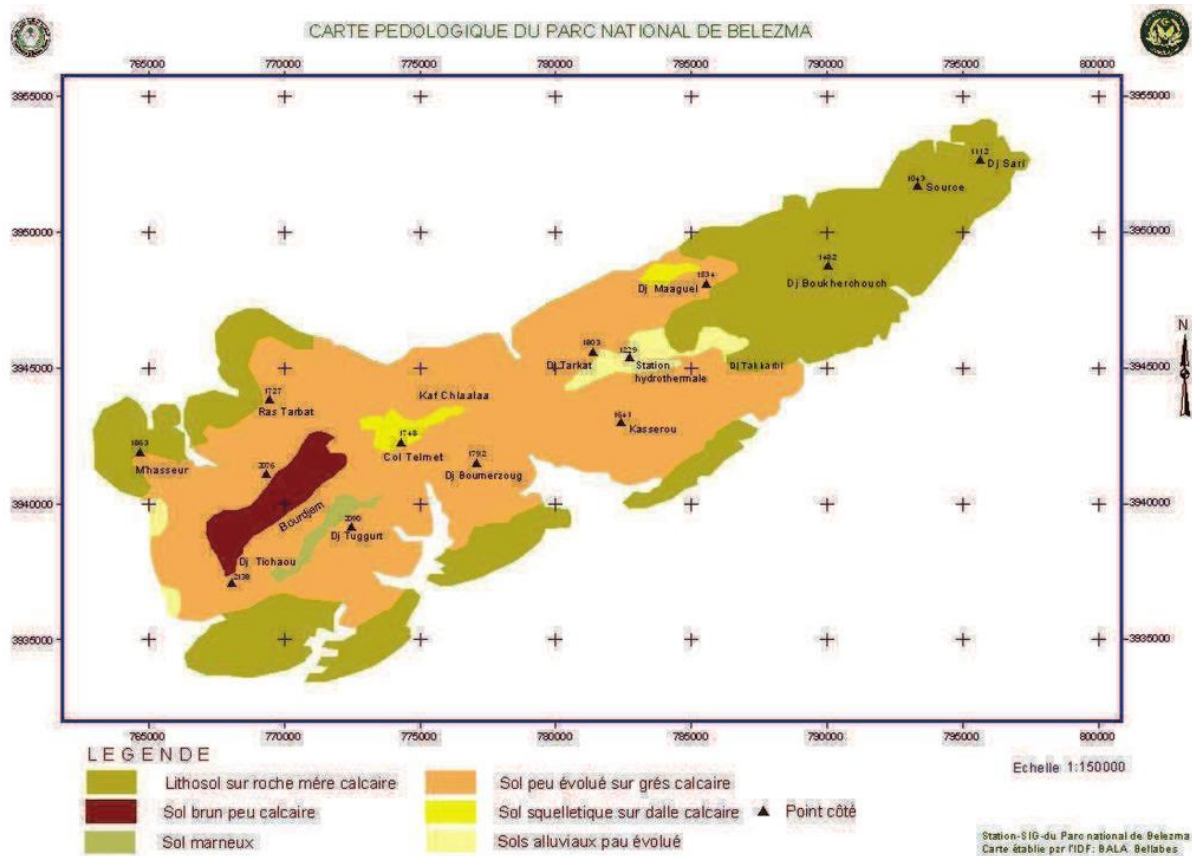
#### 1.4.1.5. Géologie

Les terrains du massif de Belezma sont de formation géologique secondaire appartenant au Triasique, Jurassique et Crétacé. Les principales structures géologiques dans la région du parc national de Belezma sont :

- Des marnes dans sa partie inférieure et du grès dans sa partie supérieure, cette structure se trouve dans la région de Boumerzoug.

- Des marnes dans la partie inférieure, des grés dolomitique dans sa partie centrale et du gré au sommet au niveau du djebel Tuggurt (2010 m) d'altitude. (Houamel, 2012)

- Des grés dans la partie inférieure, du calcaire dolomitique dans la partie centrale et du gré au sommet qui domine la région de Bordjem et Chllaala (Beloula ,2010)



**Figure 10:** Carte géologique du parc Belezma (station SIG- PNB Bala Belabes)

#### 1.4.1.6. Pédologie

D'après les travaux d'Abdessemed (1981), les sols de la région sont caractérisés par leur jeunesse relative, leur épaisseur ainsi que leur faible degré d'évolution, il existe dans notre zone d'étude :

- ✓ Les sols bruns calcaires : Ils sont représentés dans le bas versant de Dj Tuggurt et du Dj Boumerzoug à des altitudes allant de 1400 à 1600 m.
- ✓ Les sols bruns peu calcaires : Ils se trouvent sur Dj Chellala et dans la région de Theniet El Gontas. Ces sols dominent les versants Nord à partir de 1700 m, Ils se retrouvent notamment sous cédraies pures.
- ✓ Les rendzines : Ces sols se rencontrent sur Dj Tichaou et Dj Tuggurt sur des pentes allant de 1600 à 1800 m d'altitude.
- ✓ Les rendzines dolomitiques : Ces sols sont moins représentés au Belezma, ils se localisent sur des dolomies et sur les cédraies les plus sèches (Houamel, 2012)

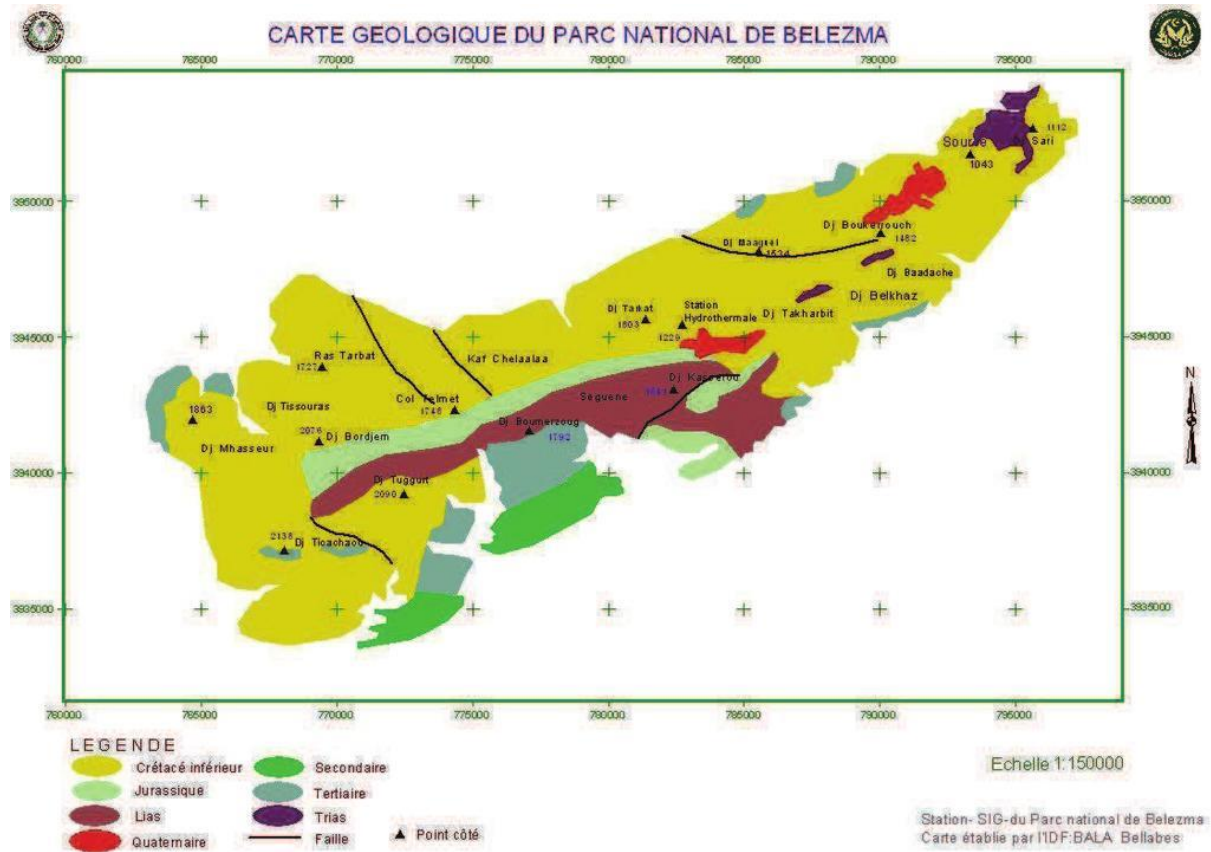


Figure 11: carte pédologique du PNB (station SIG-PNB Bala Belabes)

#### 1.4.1.7. Hydrologie

Le réseau hydrographique du Parc est simple et peu dense, il est essentiellement alimenté par plusieurs sources. Les deux lignes de crêtes des monts de Belezma matérialisent deux principales lignes de partage des eaux, déterminant ainsi deux réseaux hydrographiques distincts :

Au Nord : les réseaux se répartissent sur le versant Nord de la deuxième ligne de crête.

Ses cours d'eau constituent les affluents de deux principaux Oueds : Oued Ketami (Dj Maâgal et Dj Tarkat) et Oued Hrakta (Dj Tichaou, Bourdjem et Kef Chellala).

Au Sud : les Oueds s'écoulent en direction Sud. Ils prennent naissance au centre du massif et au bas versant Nord de la première ligne de crête et débouchent sur la dépression de Batna par les affluents suivants : Oued Nefla, Oued Hamla, Oued Sken, Oued Eddechera et Bouilef. Le débit des Oueds est relativement important en hiver et au printemps mais presque nul durant la période estivale. (Houamel,2012)

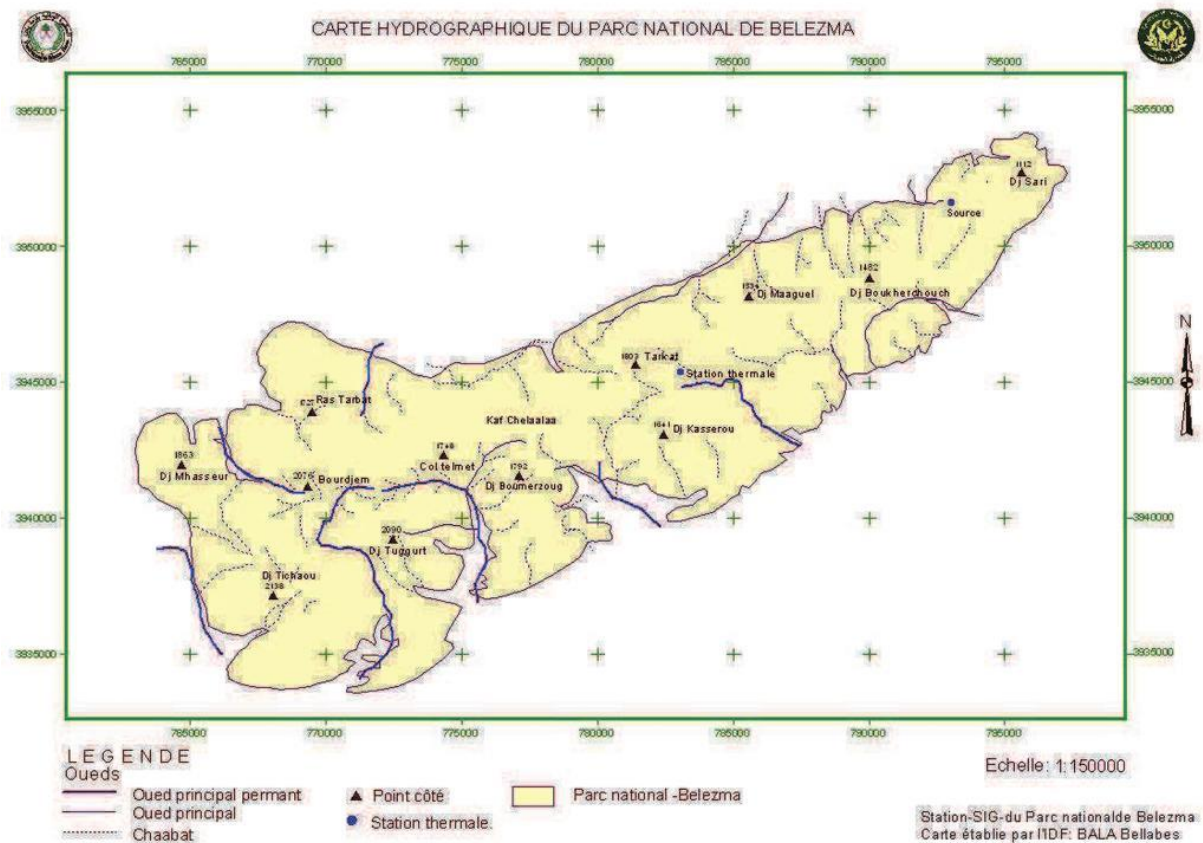


Figure 12: Carte hydrologique du PNB (station SIG-PNB Bala Belabes)

## 1.4.2. Etude du milieu biotique

### 1.4.2.1. Flore

La flore du parc est très diversifiée et c'est le domaine forestier qui est largement représenté avec 82 % de la superficie totale du parc. C'est ainsi qu'on observe le cèdre, le pin d'Alep et le chêne vert. Les particularités et les curiosités résident en l'existence d'une cédraie sur dalle unique en son genre dans la classe primitive d'une superficie de 30 ha avec la présence du houx en association avec le cèdre, ayant une superficie de 141.5 ha, l'autre curiosité c'est l'existence d'orchidées telles que *Epipactis helliborine*, *Ophirs* ...

Selon **Laabed (1999)** la cédraie occupe 5 679.3 ha soit 21.6% du territoire du parc. On peut le rencontre à l'état pur, à partir de 1800 m d'altitude, ou avec du chêne vert, et genévrier à partir de 1200 m. Les plus belle cédraie s'observent sur les expositions Nord et Nord - Ouest de Chelalaa, Bordjem, Thichaou, Boumerzoug, Tuggurt et Maagal. On le trouve aussi sur les expositions Sud – Est de Tuggurt et sur le versant sud de Thichaou et M'hasseur avec une faible superficie (**Nouredine, 1992 in Aidel, 2007**). En revanche les cédraies sur les versants Sud sont dans un état ardu (dépit) le cas du mont Boumerzoug (exposé directement aux Influences Sahariennes). (Beloula, 2010)

### ✓ Flore remarquable

Au parc national de Belezma, un nombre de 447 espèces de 9 espèces endémiques, 18 végétaux est recensé, dont 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 5679,3 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 (**Betrouche, 2012**)

#### 1.4.2.2. Faune

La faune du Parc National de Belezma est riche et très variée. Ainsi, plus des 1/5 des espèces protégées se trouvent présentes sur le territoire du parc ce qui démontre l'importance inestimable du capital faunistique. La faune mammalienne est riche de 17 espèces dont 09 sont protégées. Du grand et solitaire sanglier, au furtif et fantomatique lynx caracal, des espèces aux mœurs très différentes colonisent le parc. La mangouste, la genette, la belette, le porc-épic, la très énigmatique hyène rayée dont le retour est très perceptible, le chat sauvage, vivent en parfaite symbiose au niveau parc et en constituent l'essence même de sa biodiversité. L'avifaune est représentée par 106 espèces dont 35 sont protégées par la législation algérienne, parmi lesquelles les rapaces diurnes et nocturnes. Une forte colonie d'insectes peuple le territoire du parc. 177 espèces sont recensées actuellement dont 13 sont protégées. Les amphibiens et les reptiles sont aussi du lot. Sur 09 espèces Recensées, 02 sont protégées en Algérie, le caméléon commun et la tortue grecque. (Site 5)

#### 1.4.3. Étude climatique

Le climat représente l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné.

Deux notions sont contenues dans cette définition : la notion de climat moyen, qui correspond à l'ensemble des conditions qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un endroit ou une région, et la notion de variabilité climatique, qui correspond à la dispersion statistique des éléments caractéristiques climatiques autour de leur valeur moyenne.

La caractérisation des climats est réalisée à partir de mesures climatiques standardisées, effectuées par des stations au sol. Ce sont principalement les températures et les précipitations qui sont utilisées pour caractériser les différents types de climats. Néanmoins, d'autres paramètres comme la durée d'ensoleillement et le rayonnement global sont mesurés, mais dans une moindre quantité de stations.



Les paramètres climatiques influençant la vie des végétaux sont principalement la lumière, la température et les précipitations. Ainsi, dans notre étude, la neige, la grêle, les vents et d'autres facteurs sont prises en compte.

#### **1.4.3.1. Températures**

Parmi les facteurs limitant la présence et la répartition des espèces forestières, la température est l'un des éléments le plus déterminant dans la caractérisation de la végétation. Chaque espèce présente un seuil minima ou maxima qui lui permet de se maintenir en vie.

La température joue des rôles différents pendant le jour, alors que se produit notamment la photosynthèse, et pendant la nuit, alors que se produit la respiration cellulaire.

La température moyenne annuelle est de 15.69 °c avec un minimum de -043 °C enregistré en janvier et un maximum de 36.22 °c enregistré en juillet (PNB, 200S) (**Houamel, 2012**)

#### **1.4.3.2. Précipitations**

La disponibilité en eau est le premier des facteurs du milieu qui contrôlent la croissance des arbres (**Loustau et al., 2005**). Le territoire du massif de Belezma, de par son relief vigoureux, aux altitudes élevées (de l'ordre de 1200 m à plus 200m) présente une ambiance climatique beaucoup plus humide et froide dans les hautes altitudes, qu'aux altitudes plus basses. L'influence orographique (altitude, exposition) conditionne dans une large mesure les paramètres climatiques et par conséquent la répartition du couvert végétal. En général, l'augmentation de l'altitude engendre une augmentation de la pluviométrie, et selon l'exposition, **Seltzer (1946)**, préconise un accroissement de 40mm pour 100m de dénivelée sur le versant nord. **Le houerou (1975)** cité par **Abdessemed (1981)** donne une valeur de 20 mm pour 100m de dénivelée sur le versant sud. Il est à rappeler que le versant sud des monts de Belezma subit un régime climatique caractérisé notamment par une mauvaise répartition des précipitations annuelles, aboutissant à une longue période de sécheresse d'été par contre le versant nord subit une répartition pluviométrique annuelle utile aux peuplements existants. (**Betrouche, 2012**).

#### **1.4.3.3. La neige**

A durée et l'intensité des neiges sont irrégulières. En moyenne, la région reçoit un total de 12 jours de neige par an répartis en hiver et au printemps pour la période 1974-2004. En pleine montagne au niveau de la cédraie, le manteau neigeux est plus épais en raison de l'altitude et du relief du massif. Il peut subsister assez longtemps dans certains endroits plus

frais sur les expositions nord, il se maintient jusqu'à la fin du printemps « trous de neige ». (Alileche, 2012)

#### **1.4.3.4. La gelée**

Très fréquentes en hiver où la moyenne des minima peut atteindre  $-1^{\circ}\text{C}$ . Elles ont une action néfaste sur la végétation puisqu'elles agissent sur l'état sanitaire du peuplement (Nourredine, 1991). Le gel provoque une action mécanique importante sur les cellules végétales, par la formation de cristaux de glace qui peuvent détruire les parois cellulaires et provoquer des nécroses au niveau des tissus. Il provoque également une perte d'eau, qui entraîne une dessiccation de certains organes.

Leur fréquence, est assez importante surtout en période hivernale où les moyennes des minima peuvent atteindre  $-1^{\circ}\text{C}$  (Alileche, 2012)

#### **1.4.3.5. Le vent**

Dans le Belezma les vents sont souvent de direction Sud, ou Est. En effet, ils prennent des directions diverses. On note surtout les vents secs. Le vent a une influence directe sur les températures et l'humidité et l'activation de l'évapotranspiration.

Selon leurs origines, les vents jouent au Belezma des rôles opposés :

- Les vents du Sud (sirocco), chauds et secs surtout durant la période estivale où ils accentuent l'aridité. Ils soufflent pendant 20 jours au cours de l'année avec un pic de 5 jours pour le mois de juillet.

- Les vents dominants d'hiver Nord -Nord/Ouest qui sont des vents pluvieux et frais arrosent les faces Nord et Nord-Ouest du Parc National.

De ce fait nous pouvons dire que le climat du Parc National de Belezma est caractérisé par trois facteurs : sécheresse estivale, froid hivernal, pluviosité assez importante surtout sur le versant Nord et amplitude thermique important (Beloula, 2010)

#### **1.4.3.6. L'humidité**

L'humidité de l'air a une importance pour l'équilibre hydrique du sol. Lorsque la teneur du sol en humidité est plus élevée que celle de l'air, l'eau a tendance à s'évaporer dans l'air. Dans le cas contraire, l'eau se condensera dans le sol. L'humidité relative de l'air indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation ; c'est à la valeur de l'humidité relative que correspond la sensation d'humidité ou de sécheresse de l'air.



Dans le parc Belezma Elle est très faible durant les mois secs (40 % en juillet). Ce qui accentue la rigueur de sécheresse (Hadji, 1991) (**Beloula, 2010**)

### **1.5.Importance et originalité du parc national du Belezma**

✓ Les Monts du BELEZMA, sont situés à 35° de Latitude Nord de part et d'autre du longitude 6° Est. Ils 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 (**Houamel, 2012**)

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 (**Houamel, 2012**)

✓ 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 (**Houamel, 2012**)

✓ 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 (**Houamel, 2012**)

✓ De toutes les formations forestières de l'Atlas saharien du nord est algérien, seules les cédraies et les pinèdes constituent de véritables 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 cèdraie 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.

✓ Aujourd'hui, les massifs forestiers du BELEZMA se présentent en grande partie sous forme de lambeaux de forêts délabrés, entourés de maquis ou garrigues de chênes verts ou de genévriers. Les deux tiers des surfaces boisées sont constitués par ces derniers types de formations végétales, stades d'une régression de la forêt, et indice de dégradation très avancée.

✓ Actuellement, cette espèce a un pouvoir d'expansion quasi nul en raison d'une régénération naturelle difficile et capricieuse. Cette essence connaît actuellement une mortalité élevée sur de vastes espaces dans le Belezma et l'Aurès à cause du dépérissement. On peut dire, sans risque de se tromper, qu'elle est en régression.

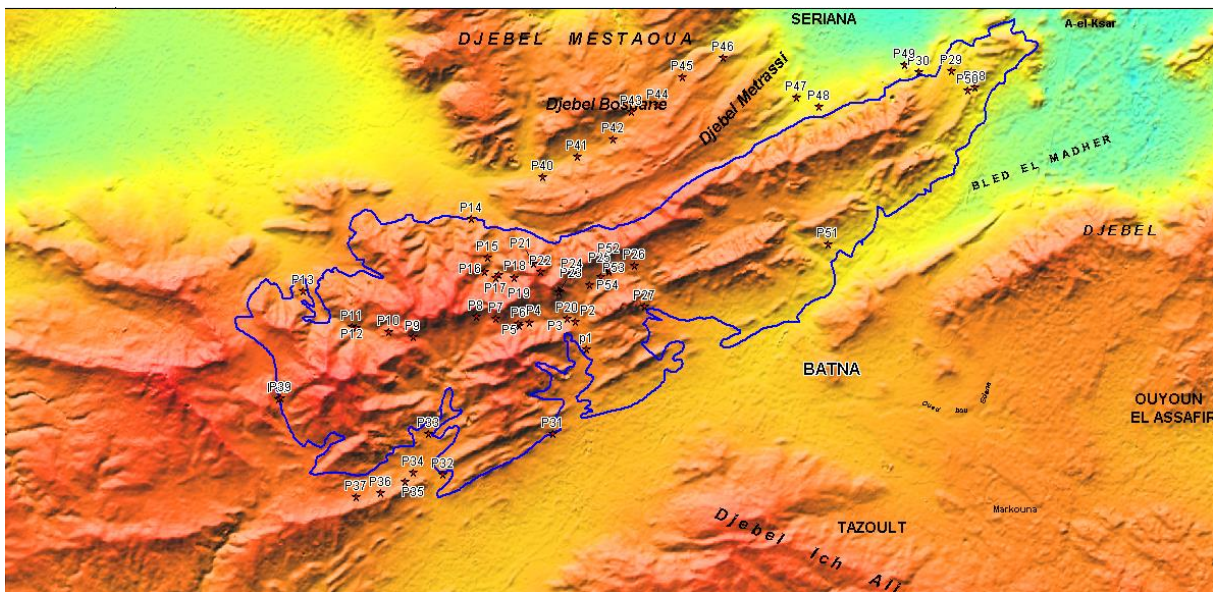
✓ De vastes surfaces de forêt se sont desséchées sur pied la décennie 1991–2000 affectant les versants méridionaux externes. Sa régression ne tiendrait pas uniquement aux attaques d'un insecte xylophage découvert en 1982 (*Thaumetopoea bonjiani*) dans les forêts du Belezma, mais aussi à l'homme et ses troupeaux.

✓ C'est ce qui explique pourquoi il est très important que cette essence bénéficie d'une protection des plus strictes non seulement sur les monts Belezma mais aussi sur l'ensemble de l'Aurès (**Houamel, 2012**)

## 2. Méthodologie

### 2.1. L'échantillonnage

L'échantillonnage est une pratique fondamentale pour l'étude quantitative et qualitative de la végétation. Il consiste à choisir des éléments d'un ensemble très volumineux de façons à obtenir des informations objectives et d'une précision mesurable sur cet ensemble. Dans cette étude, Les points d'échantillonnages spatiaux du cèdre d'atlas ont été recueillis sur le terrain selon un type d'échantillonnage mixte subjectif-aléatoire et en fonction de l'accessibilité du point en tenant compte des variations du gradient écologique (Altitude, Pente, Exposition). ; Au total, 54 points d'échantillonnages ont été acquises. En effet des feuilles du cèdre ont été prélevés d'un seul arbre choisie aléatoirement ainsi les taux de recouvrement des espèces accompagnatrices du cèdre ont été estimé en pourcentage selon la classification de Bran Branquet . La présence du Cedre de l'Atlas a été noté en 17 points parmi les 54 points échantillonnées. La compagnie de terrain a été effectué durant 5 jours du 4 jusqu'en 8 avril 2021).



**Figure 13:** Carte de la localisation géographique des points d'échantillonnage.

### 2.2. Travaux de labo

La première étape consiste à peser chaque 10 feuilles de cèdre d'atlas séparément dans la balance de précision, et les Seules les feuilles visiblement dépourvues de pathogène, de jaunissement ou de signe de maladie sont sélectionnées, Elles doivent être jeunes et pleinement développées, elles sont préservées dans des sachets en papier soigneusement fermés et annotés qui sont accompagnés du numéro du point d'échantillonnage et du poids des feuilles.

Par la suite, les feuilles fraîches prélevées sont scannées à l'aide d'un scanner de document à une résolution 300 dpi, et Les images ainsi scannées sont sauvegardées en format jpg.

Les sachets en papier sont ensuite misés à l'étuve à une température de 38°C pendant 24h pour le séchage des feuilles (Le séchage est une opération unitaire qui consiste à éliminer totalement ou partiellement un liquide imprégnant un matériau par apport d'énergie thermique. Il consiste à l'évaporation de l'eau et de composés volatils)

Après le séchage, nous répétons le processus de pesée des feuilles afin d'obtenir leur poids sec.

Finalement, Une fois les images obtenues, la surface foliaire des feuilles fraichie est calculée à l'aide de logiciels **Image J** par le comptage de pixels des feuilles. Le script utilise la fonction run.ij avec le chemin du dossier dans lequel se trouvent les images des feuilles scannées, la résolution et le format de l'image. Image J permet entre autres de calculer la surface d'objets irréguliers d'une image donnée,

Calcule d'indicateur ; le rapport Poids sec/ Poids frais (Ps/P) a été effectué et Aire Foliaire Spécifique SLA (*specific leaf area*) a été calculé pour l'ensemble des feuilles échantillonnées pour chaque points d'échantillonnages.

### 2.3. Variables environnementales

les variables utilisées dans l'analyse ont été acquies depuis des bases de données suivante: <http://soilgrids.org/>, Hengl *et al.*, (2014 et 2015), pour les caractéristiques édaphiques, le site (<http://gdem.ersdac.jp>) ASTER GDEM pour les Modèles Numérique de Terrain, (<http://www.worldclim.org>., 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), SPSS et R ; libraryFactoMiner et libraryFactoshiny.

#### 2.3.1. Variables édaphiques

Le sol est un milieu vivant complexe et dynamique, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus : physiques, chimiques et biologiques.

Les variables édaphiques englobent des caractéristiques physicochimique et nutritionnel du sol, a savoir : le taux d'Argile, taux de Limon, taux du Sable, la densité apparente du sol, les teneurs en Azote, les teneur de Carbone, porosité, le bilan hydrique ( ann,hive,Été,auto) , ces données ont été obtenu à partir de la base de données Soilgrid (<http://soilgrids.org/>: Hengl *et al.*,2014., 2015).

Ces données jusqu'à présent sont les plus détaillées, contenant des prédictions spatialement interpolées de certain nombre 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 information pour chaque paramètre édaphique.

**Tableau 3:** Liste des variables Édaphiques

Code du Variable	Description du variable	Source
<b>LIMON</b>	Fraction de texture du sol : Limon [%]	SoilGrids
<b>SABLE</b>	Fraction de texture du sol : Sable [%]	SoilGrids
<b>ARGILE</b>	Fraction de texture du sol : Argile [%]	SoilGrids
<b>AZOTE</b>	Azote total du sol [g / kg]	SoilGrids
<b>CARBONE</b>	Carbone total du sol [g / kg]	SoilGrids
<b>DENSIT_AP</b>	Densité apparente du sol (terre fine) [kg / m <sup>3</sup> ]	SoilGrids
<b>POROSIT_</b>	Porosité [%]	SoilGrids
<b>BILAN_ANN</b>	Capacité annuelle en eau disponible du sol [mm]	Calculé
<b>BILAN_HIVE</b>	Capacité en eau disponible du sol d'hiver [mm]	Calculé
<b>BILAN_AUTO</b>	Capacité disponible en eau du sol en automne [mm]	Calculé
<b>BILAN_PRIN</b>	Capacité disponible en eau du sol au Printemps [mm]	Calculé
<b>BILAN_ETE</b>	Capacité en eau disponible du sol estival [mm]	Calculé

### 2.3.2. Variable climatique

Elles sont obtenues à partir de la base de données Wordclim (version 1) pour la période (1950-2000). ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org); **Hijmans et al., 2005**).

Tableau 4 : Liste des variables bioclimatiques exploités

Variables bioclimatiques	Variable brute				
Variable	Description (Nom/Unité)	T min	T max	T moy	Préc.
<b>Bio1</b>	Température moyenne annuelle	×			
<b>Bio2</b>	Moyenne amplitude diurne (Moyenne mensuelle de (Tmax - T min)).	×	×		
<b>Bio3</b>	Isothermalité (Bio2/Bio7) (* 100).	×	×		
<b>Bio4</b>	Saisonnalité de la température (écart-type * 100).	×			
<b>Bio5</b>	Température maximale de Mois le plus chaud.	×			
<b>Bio6</b>	Température minimale de Mois le plus froid	×			
<b>Bio7</b>	Plage de température annuelle (Bio5-Bio6).	×	×		
<b>Bio8</b>	Température moyenne de trimestre le plus humide	×	×		
<b>Bio9</b>	Température moyenne de trimestre le plus sec	×	×		
<b>Bio10</b>	Température moyenne de trimestre le plus chaud	×			
<b>Bio11</b>	Température moyenne de trimestre le plus froid	×			
<b>Bio12</b>	Précipitations annuelles.	×			
<b>Bio13</b>	Précipitation de mois le plus humide	×			
<b>Bio14</b>	Précipitation de mois le plus sec	×			
<b>Bio15</b>	Saisonnalité des précipitations (coefficient de variation).	×			
<b>Bio16</b>	Précipitation de trimestre le plus humide	×			
<b>Bio17</b>	Précipitation de trimestre le plus sec	×			
<b>Bio18</b>	Précipitation de trimestre le plus chaud	×	×		
<b>Bio19</b>	Précipitation de trimestre le plus froid	×	×		

### 2.3.3. Variables liées à la topographie :

Elles sont générées à partir du Modèle Numérique Terrain à résolution de 30 mètres, à savoir : l'altitude, la distance à la mer, degré d'orientation Nord (Cos Exposition), la pente, ampleur des creux, ampleur des crêtes, rugosité topographique et le rayonnement global théorique mensuel. Les données sont sous forme de grille à 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-là 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). Les masques topographiques qui, souvent en montagne, imposent des ombres, sont détectés jusqu'à 2Km.

**Tableau 5:** Liste des variables Topographiques exploités dans la modélisation de la distribution de l'espèce dans le nord-est algérien.

Code du Variable	Description du variable	Source
ALT	Altitude [m]	Dérivé de l'MNT
<b>Pente</b>	Pente [%]	Dérivé de l'MNT
<b>Exp</b>	Exposition	Dérivé de l'MNT
<b>Rug_topo</b>	Rugosité topographique	Dérivé de l'MNT
<b>Dist_mer</b>	Distance à la mer [m]	Dérivé de l'MNT
<b>Reg_Ann</b>	Rayonnement global annuel [Wh / m <sup>2</sup> ]	Dérivé de l'MNT
<b>Reg_Été</b>	Rayonnement global d'été [Wh / m <sup>2</sup> ]	Dérivé de l'MNT
<b>Reg_Printemps</b>	Rayonnement global du printemps [Wh / m <sup>2</sup> ]	Dérivé de l'MNT
<b>Reg_Hivers</b>	Rayonnement global d'hivers [Wh / m <sup>2</sup> ]	Dérivé de l'MNT
<b>Reg_Autumn</b>	Rayonnement global d'automne [Wh / m <sup>2</sup> ]	Dérivé de l'MNT

## 2.4. Capacité en eau disponible du sol

### 2.4.1. 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.).

#### 2.4.1.1. Le model 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 matière organique.

##### ✓ 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 et la distance à la mer (continentalité) (**Touazi et Laborde, 2004**), ces facteurs au quels 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 :

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

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.
- ✓ **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 tous les profondeurs du sol (**Bruand et al., 2003**), en prenant en compte la densité apparente du sol en la multipliant la différence précédemment cité, dans le but d'exprimer les valeurs de la teneur en eau calculées en référence volumique (**Bruand et al., 1996**) et en soustrayant la charge caillouteuse du sol CC.

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

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

Dont

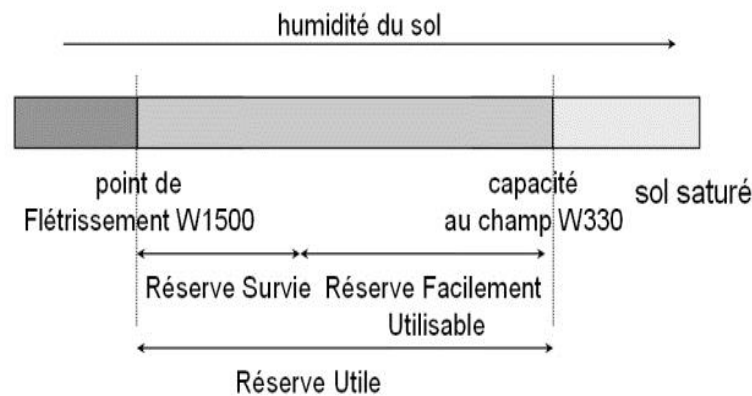
- RUM= réserve utile Maximale du sol
- CC= charge caillouteuse du sol,
- W330 = teneur en eau à -330 hPa (en mm/m) qui est la capacité au champ
- W15000 = teneur en eau à -15 000 hPa (en mm/m) qui est les points de flétrissements.
- h : épaisseur de l'horizon (en m)
- Pour le calcul de la teneur en eau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

$$\bullet W330 = 257,6 - (2 \times Sa) + (3,6 \times Ar) + (29,9 \times MO)$$

$$\bullet W15000 = 26 + (5 \times Ar) + (15,8 \times MO)$$

Dont

- SA : teneur en sable (en %)
- Ar : teneur en argile (en %)
- MO : teneur en Matière organique (en %)



**Figure 14:** Schéma représentant la réserve utile en eau du sol (Source Site d'université lemans : [http://ued.univ-lemans.fr/Grain-1\\_Kit\\_1-Bilan/co/grain\\_Exo\\_02.html](http://ued.univ-lemans.fr/Grain-1_Kit_1-Bilan/co/grain_Exo_02.html))

✓ **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) pour la période actuelle et pour les deux horizons futurs 2050 et 2070 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**).

Toutes les couches de données spatiales ont été créés et traitées à l'aide des logiciels de cartographie et télédétection spatiale ENVI 5.1, ArcGIS 10.3, Global Mapper 19, MapInfo 10.3. Toutes les données spatiales ont été rééchantillonnées a une résolution spatiale de 1 km à l'aide de la technique de rééchantillonnage du plus proche voisin.

## **2.5.Méthodes statistiques**

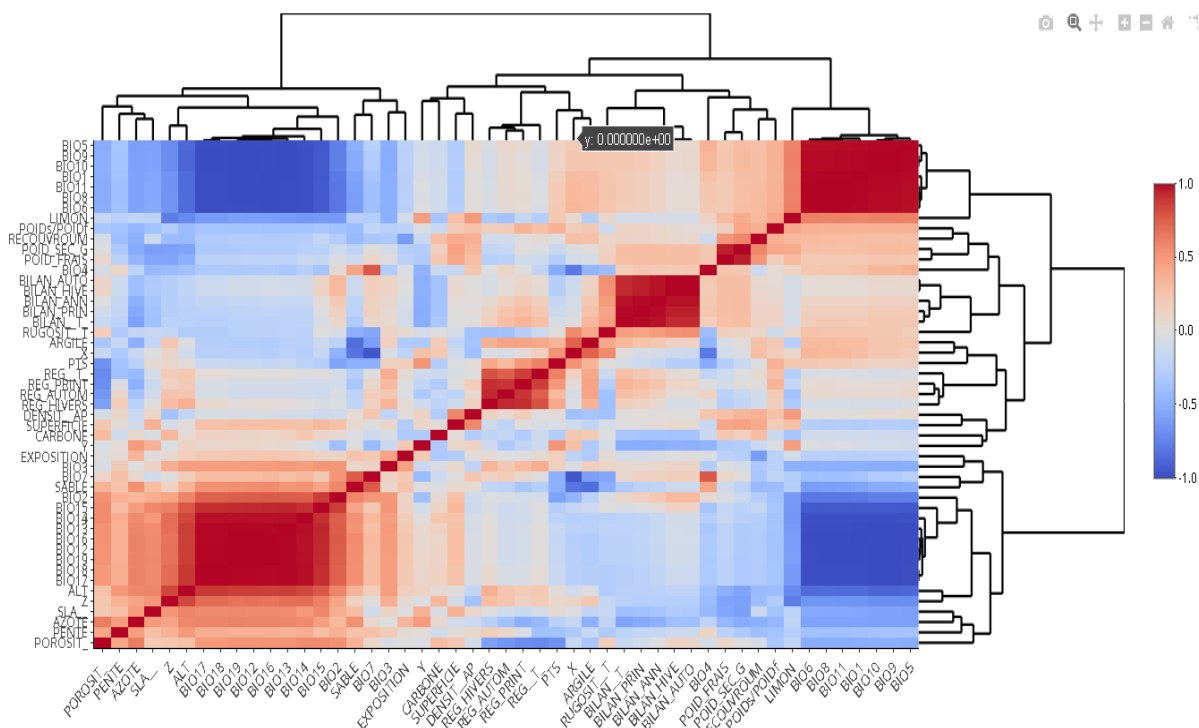
Avant toute opération une corrélation entre l'ensemble des 50 variables environnementales utilisées afin d'exclure les variables qui ont une corrélation linéaire avec un supérieur à 0.8, 34 variables, répartie en trois groupes, ont été retenue pour les analyses statistiques.

Une corrélation entre SLA et Ps/Pf avec les 3 trois groupes de variable à savoir ; i) variables climatiques, ii) variables édaphiques, iii) variables liées a la topographie, afin de déterminer la relation linéaire entre les variable environnementales et les indicateur SLA et Ps/Pf.

## *Résultats et discussion*

## 1. Résultats

### 1.1.Sélection des Variables environnementales



**Figure 15** : La corrélation entre les 50 variables environnementales utilisées

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. 34 variables environnementales retenues, qui constituent trois groupes de données (climatiques, édaphiques, topographiques), parmi 50 variables pour effectuer l'analyse statistique.

Avant toute exécution du modèle, les variables explicatives 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**) (Figure 15).

Les variables corrélées prise en compte ont été choisie en fonction de leur importance dans les mécaniques écophysiologicals des espèces (**Guisan et Zimmermann, 2000 ; Williams et al., 2012**).

## 1.2. Corrélations entre variables environnementales et les deux indicateurs SLA et Ps/Pf

Les deux indicateurs SLA et Ps/Pf ont été corrélés avec les trois groupes de variable environnementales à savoir ; variable climatiques, variable édaphiques et les variables liées à la topographie.

### 1.2.1. Corrélations des variables climatique et SLA et ps/Pf

**Tableau 6:** Coefficient de corrélation entre les variables climatique et SLA et Ps/Pf

	SLA	Ps/Pf
BIO1	,472	-,255
BIO2	-,347	,409
BIO3	-,287	-,137
BIO4	,409	,255
BIO5	,507*	-,204
BIO7	,072	,358

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

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

Les résultats de la Corrélation (tableau 6) rapportent qu'il existe une corrélation SLA avec les variables climatiques BIO5 (température maximale du mois le plus chaud) uniquement. Aucune corrélation significative n'existe avec les variable climatique et le rapport poids sec /poids frais.

### 1.2.2. Corrélations de SLA et Ps/PF avec les facteurs pédologiques

**Tableau 7:** Coefficient de corrélation de SLA et Ps/PF avec les facteurs pédologiques

	SLA	Ps/Pf
LIMON	,227	,227
SABLE	-,293	-,293
ARGILE	,185	,185
CARBONE	-,153	-,153
AZOTE	-,433	-,433
DENSIT_AP	-,296	-,296
POROSIT_	-,205	-,205
BILAN_ANN	,218	,218
BILAN_HIVE	,248	,248
BILAN_ETE	,248	,248
BILAN_AUTO	,248	,248
BILAN_PRIN	,248	,248
BILAN_AUTO	,248	,248

BILAN_PRIN	,248	,248
------------	------	------

Les résultats de la Corrélation (tableau 7) des variables édaphiques et SLA et Ps/Pf dégage qu'il n'existe aucune corrélation entre l'ensemble de variables et les deux indicateurs.

### 1.2.3. Corrélations avec les facteurs liés à la topographie

**Tableau 8 :** Coefficient de corrélation de SLA et Ps/PF avec les facteurs liés à la topographie

	SLA	Ps/Pf
ALT	<b>-0,512*</b>	,102
PENTE	-,264	,409
EXPOSITION	,158	-,204
RUGOSITE	,166	,155
REG_HIVERS	-,036	-,307
REG_ETE	,092	-,409
REG_AUTOM	,016	-,307
REG_PRINT	,092	-,409

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

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

Le tableau 8, illustre les corrélations du SLA et du Ps/Pf avec les variables liées à la topographie et montre une corrélation positive significative entre SLA et l'altitude uniquement, le reste des variables ne présente aucune corrélation avec SLA, l'ensemble des variables ne sont pas corrélées avec Ps/Pf.

**Tableau 9 :** Fréquences du Taux de recouvrement des espèces par rapportaux points d'échantillonnages,

		Effectif	N % colonne
Cedrus atlantica	0	37	68,5%
	1	4	7,4%
	2	1	1,9%
	3	6	11,1%
	5	6	11,1%
Quercus ilex	0	8	14,8%
	2	4	7,4%
	3	2	3,7%

	4	10	18,5%
	5	30	55,6%
Juniperus oxycedrus	0	6	11,1%
	1	9	16,7%
	2	5	9,3%
	3	12	22,2%
	4	20	37,0%
	5	2	3,7%
Calicotome spinosa	0	33	61,1%
	1	21	38,9%
Asphodelus aestvus	0	33	61,1%
	1	19	35,2%
	2	2	3,7%
Dryas integrifolia	0	45	83,3%
	1	9	16,7%
Ampelodesmos mauritanicus	0	25	46,3%
	1	27	50,0%
	2	2	3,7%
Asparagus actifolius	0	50	92,6%
	1	4	7,4%
Pistacia lentiscus	0	51	94,4%
	1	2	3,7%
	2	1	1,9%
Fraxinus excelsior	0	50	92,6%
	1	2	3,7%
	3	1	1,9%
	4	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%
Acacia sensu lato	0	50	92,6%
	1	4	7,4%
Ephedra sinica	0	32	59,3%
	1	16	29,6%
	3	4	7,4%
	4	2	3,7%

Le tableau 09 décrit les fréquences des taux et du recouvrement des principales espèces par classe ; 0 représente absences de l'espèce, 1 représente un taux de recouvrement de 0 à 5



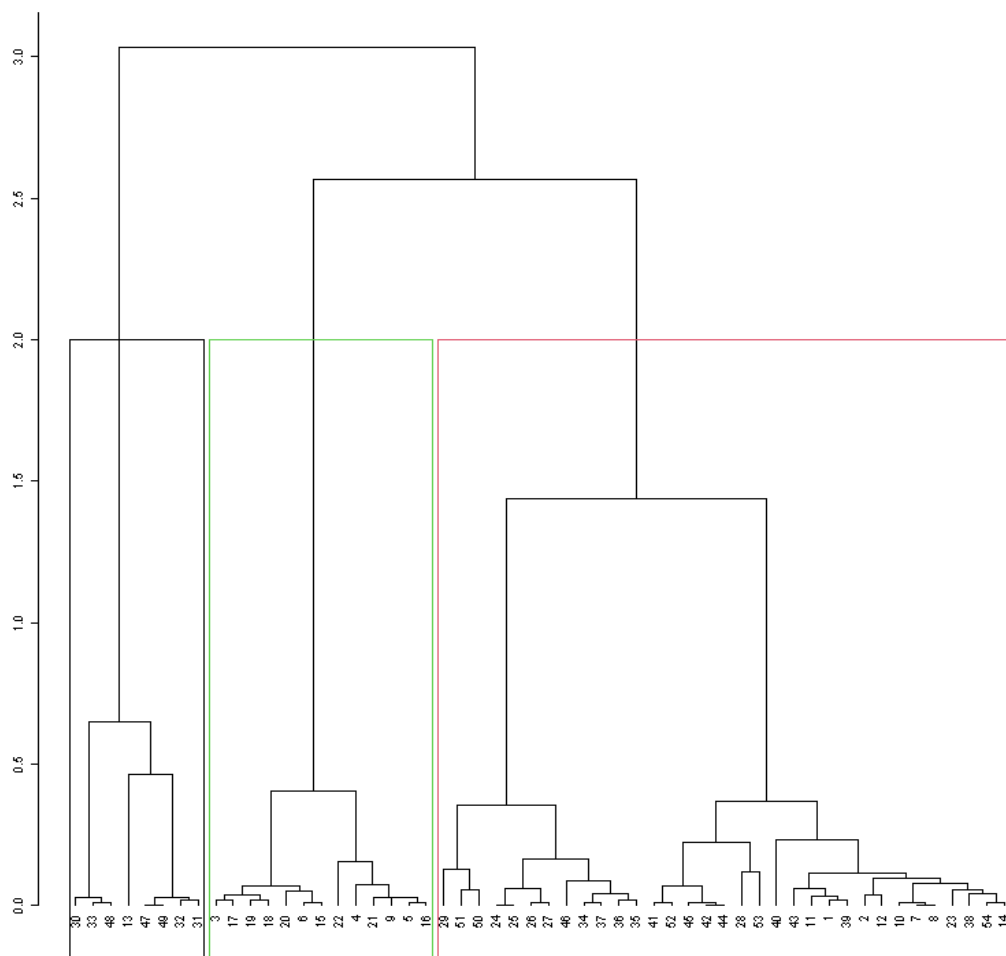
%, 2 représente un taux de 5 à 25 %, 3 représente un taux de 25 à 50 %, 4 représente un taux de recouvrement de 50 à 75 %, tandis que 5 représente le taux maximal de 75 à 100%.

- 1- *Cedrus atlantica* est absent dans 37 points et présent dans 17 points 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.
- 2- *Quercus ilex* est absent dans 8 points et présent dans 46 points avec un taux de recouvrement moins de 50% dans 6 points et présent avec un taux de recouvrement de plus 50% dans 40 points dans la zone d'échantillonnage.
- 3- *Juniperus oxycedrus* est absent dans 6 points et présent dans 48 points avec un taux de recouvrement moins de 50% dans 26 points et présente avec de taux de recouvrement de plus de 50% dans 22 points dans la zone d'échantillonnage.
- 4- *Calicotome spinosa* est absent dans 33 points et présent dans 21 points dans la zone d'échantillonnage avec un taux de recouvrement de 0% à 5% dans 21 points.
- 5- *Asphodelus aestvus* est absent dans 33 points et présent dans 21 points dans la zone d'échantillonnage avec un taux de recouvrement de 0% à 5% dans 19 points et présente avec un taux de recouvrement de 5% à 25% dans 2 points.
- 6- *Dryas integrifolia* est absent dans 45 points et présent dans 9 points avec un taux de recouvrement de 0% à 5% dans 9 points dans la zone d'échantillonnage.
- 7- *Ampelodesmos mauritanicus* est absent dans 25 points et présent dans 29 points dans la zone d'échantillonnage avec un taux de recouvrement de 0% à 5% dans 27 points et présente avec un taux de recouvrement de 5% à 25% dans 2 points.
- 8- *Asparagus actifolius* est absent dans 50 points et présent dans 4 points avec un taux de recouvrement de 0% à 5% dans 4 points dans la zone d'échantillonnage.
- 9- *Pistacia lentiscus* est absent dans 51 points et présent dans 3 points avec un taux de recouvrement 0% à 5% dans 2 points et présente avec un taux de recouvrement de 5% à 25% dans 1 point dans la zone d'échantillonnage.
- 10- *Fraxinus excelsior* est absent dans 50 points et présent dans 4 points avec de taux de recouvrement moins de 50% dans 3 points et présent avec un taux de recouvrement de 50% à 75% dans 1 point dans la zone d'échantillonnage.
- 11- *Stipa tenacissima* est absent dans 40 points et présent dans 14 points dans la zone d'échantillonnage avec un taux de recouvrement de 0% à 5% dans 13 points et présent avec un taux de recouvrement de 50% à 75% dans 1 point
- 12- *Malva paraviflora* est absent dans 50 points et présent dans 4 points dans la zone d'échantillonnage avec un taux de recouvrement de 0% à 5% dans 4 points

13- *Acacia sensu lato* est absent dans 50 points et présent dans 4 points avec un taux de recouvrement de 0% à 5% dans 4 points dans la zone d'échantillonnage.

14- *Ephedra sinica* est absent dans 32 points et présent dans 22 points avec un taux de recouvrement moins 50% dans 20 points et présent avec un taux de recouvrement de 50% à 75% dans 2 points dans la zone d'échantillonnage.

### 1.3. Classification Ascendante Hiérarchique des cites d'échantillonnage selon les espèces présentes



**Figure 16:** Classification Ascendante Hiérarchique.

Les résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique des site d'échantillonnage en fonction des espèces principales présentes ( figure 16), illustre trois classes distinctes :

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

- de fortes présence du *Ephedra sinica*.

- de faibles présence du *Quercus ilex* et *Asphodelus aestvus* (de la plus extrême à la moins forte).

- **La classe 2** : est composée des points suivants 1, 2, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 53 et 54. Ce groupe est caractérisé par : de fortes valeurs pour la variable *Quercus ilex*.

- de faibles présences du *Cedrus atlantica*.

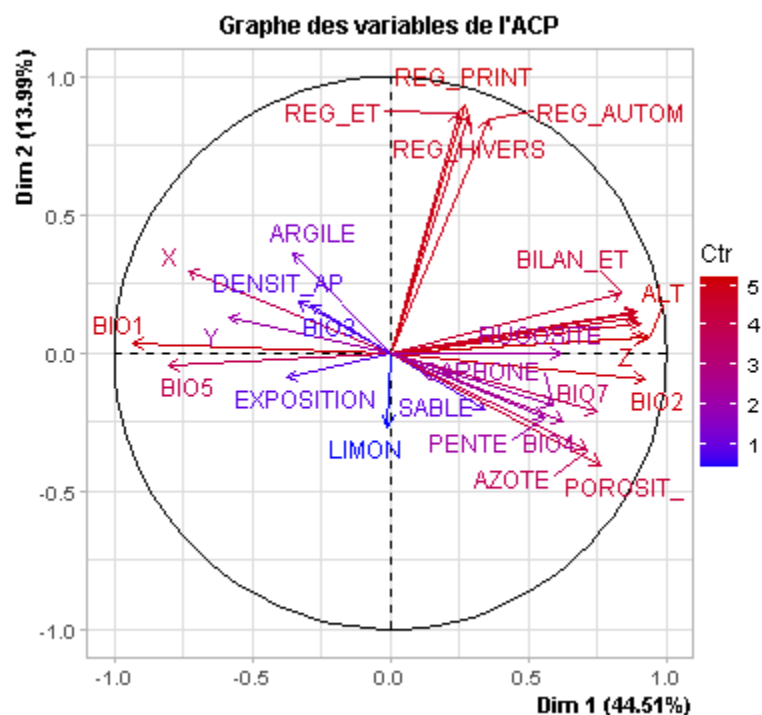
**La classe 3** : est composée des points suivants 3, 4, 5, 6, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 et 22. Ce groupe est caractérisé par :

- de fortes présence du *Cedrus atlantica* et *Dryas integrifolia* (de la plus extrême à la moins extrême).

- de faibles présences de l'*Ephedra sinica*.

#### 1.4. Analyse des données environnementales

##### 1.4.3. Analyse des composante principale des facteurs environnementales



**Figure 17** : Graphe des variables de l'ACP.

Les résultats de l'analyse des composantes principale a deux dimensions, décrite 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.

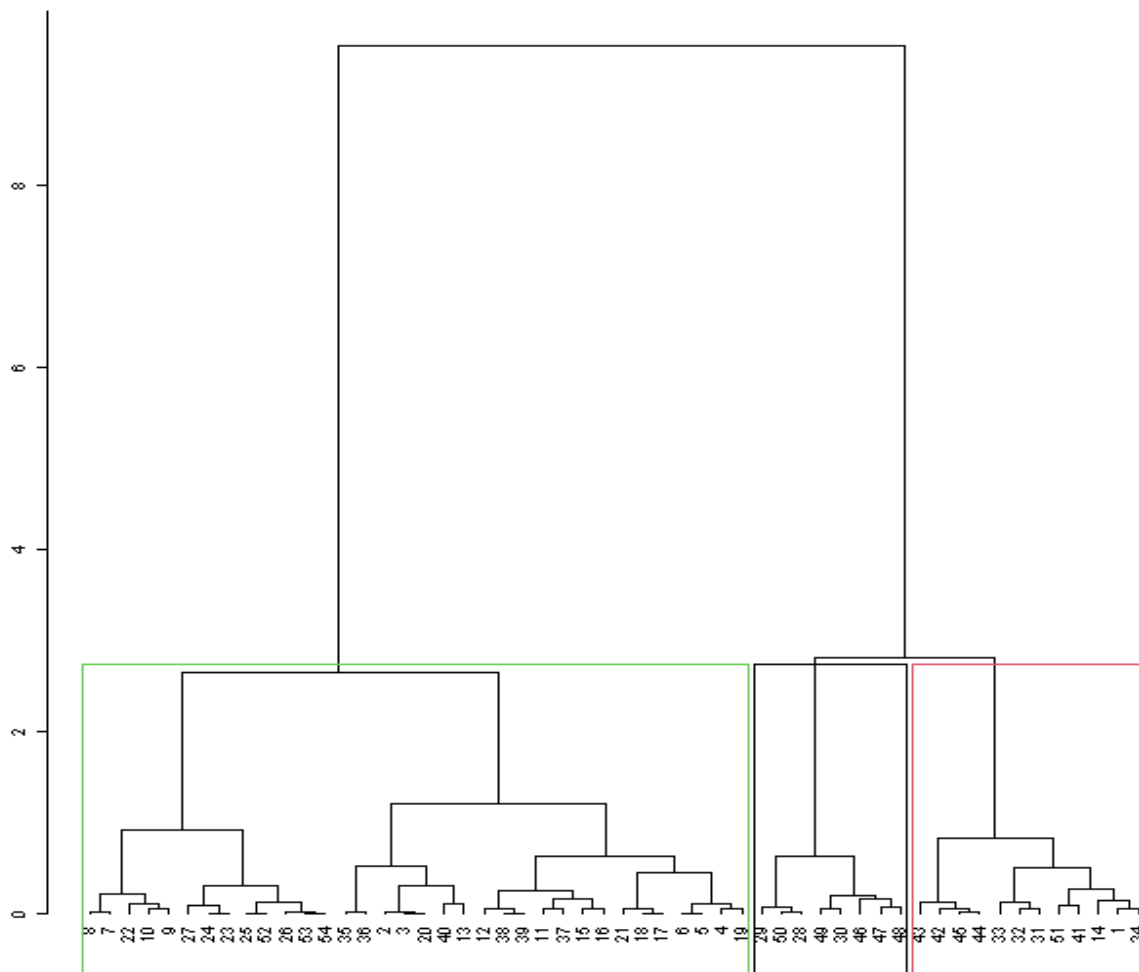
Alors que Bio1, Bio5 et X (la longueur), présentent des corrélations négatives les plus élevées avec la dimension 1.

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 faibles et représentées par la variable sable.

Au niveau des contributions, 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 variables 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).

### 1.5. Classification Ascendante Hiérarchique des points d'échantillonnages.



**Figure 18:** Classification Ascendante Hiérarchique des points d'échantillonnages.

Les résultats de la classification hiérarchique des points d'échantillonnage selon les conditions environnementales de chaque point dégagent 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 :

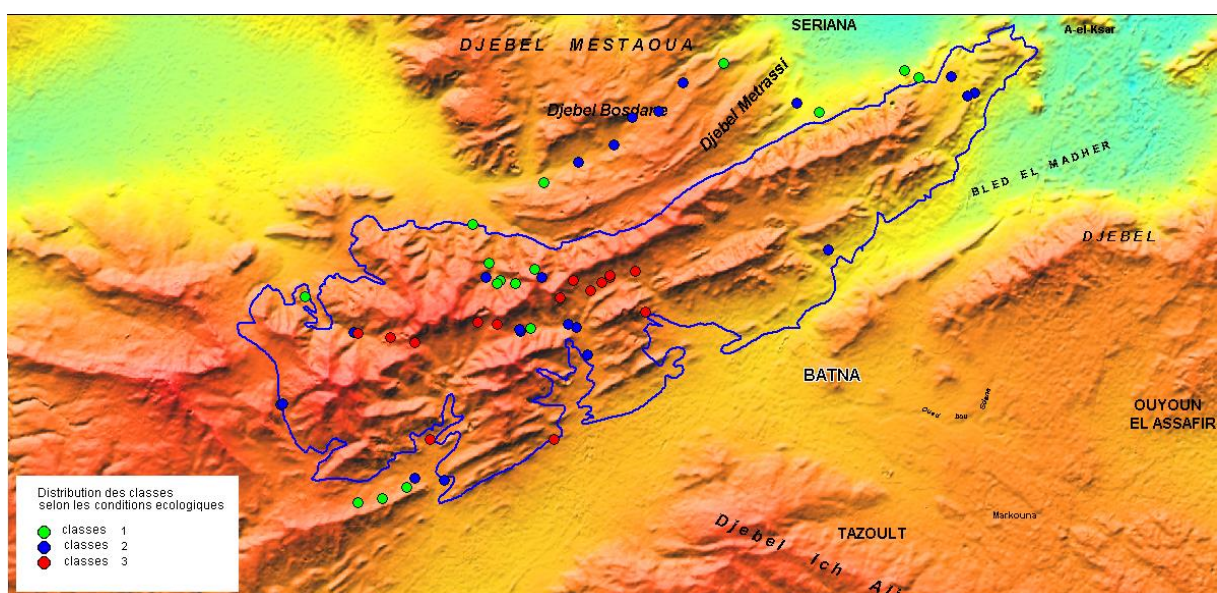
- De fortes valeurs pour la variable *LIMON*.
- De faibles valeurs pour les variables *REG\_AUTOM*, *REG\_PRINT*, *REG\_ETE* et *REG\_HIVERS* (de la plus extrême à la moins extrême).

**La classe 2** : est composée des points suivants 28, 29, 30, 46, 47, 48, 49 et 50. Ce groupe est caractérisé par :

- 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 1, 14, 31, 32, 33, 34, 41, 42, 43, 44, 45 et 51. Ce groupe est caractérisé par :

- de fortes valeurs pour des variables telles que *REG\_AUTOM*, *REG\_PRINT*, *REG\_HIVERS*, *REG\_ETE*, *BILAN\_ET*, *BILAN\_ANN*, *BILAN\_PRIN*, *ALT*, *BILAN\_AUTO* et *BILAN\_HIVE* (de la plus extrême à la moins extrême).
- de faibles valeurs pour les variables *BIO1* et *BIO5* (de la plus extrême à la moins extrême).



**Figure 19:** Carte de la distribution des classes des points d'échantillonnage en fonction des conditions écologiques.

## 2. Discussion

La diminution des éléments nutritifs dans les sols, en particulier l'azote et le carbone, sont des contraintes de la croissance des arbres (**Leuzinger et Hättenschwiler, 2013**), alors que les résultats des corrélations ne montre aucune corrélation significative des deux indicateurs SLA et Ps/PF avec les variables pédologique et nutritionnelles, probablement due au faible répétitions seulement 17 points de présence du cèdre de l'atlas.

De même pour bilan hydrique, résultant du cycle de l'eau dans le sol (**Armbruster et al, 2004, Cermak et al., 2010**). La végétation répond aux variations de la disponibilité de l'eau (**Zeng, 1999**).

L'eau peut être considérée comme un élément clé de la production et de durabilité des l'écosystème d'un point de vue écologique, tout en contribuant à sa stabilité, l'eau est essentielle, pour la nutrition, favorise les réactions chimiques, mais également favorise la croissance et le développement des végétaux. L'eau du sol agit par ses effets de translocation, hydrolytiques et floculant, 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.

**Rosbakh et al., 2015** ont montré la relation positive significative entre la SLA et la température annuelle moyenne ce qui concorde avec les résultats de cette étude qui montre une corrélation positive la température maximale de mois le plus chaud (bio5) avec l'indicateur SLA. Alors que Ps/Pf ne montre aucune corrélation significative

Le résultat de Smahi et kala (2017) sur classification la végétation dans le parc nationale en 5 classes, parmi ces classes la végétation trois classe principales de végétation arboré classé comme suite

1- La Forêt de cèdre de l'Atlas à chêne vert Constituée essentiellement Cèdres avec sous bois : Quercus. Ilex, Ilex aquifolium., Acer monspessulanum., Juniperus oxycedrus ., Fraxinus dimorpha,

2-Matorral de chêne vert à genévrier oxycèdre. Ce matorral est un taillis de Quercus. Ilex associé au Juniperus oxycedrus Fraxinus dimorpha et cedrus atlantica,

3- 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.

Cette affirmation concorde parfaitement avec les résultats de la classification hiérarchique du site selon la présence des espèces.

L'absence de corrélations entre les deux indicateurs SLA et Ps/Pf avec la majorité des variables explicatives peut être justifiée par la faible densité des points où le cèdre est présent.

# *Conclusion*



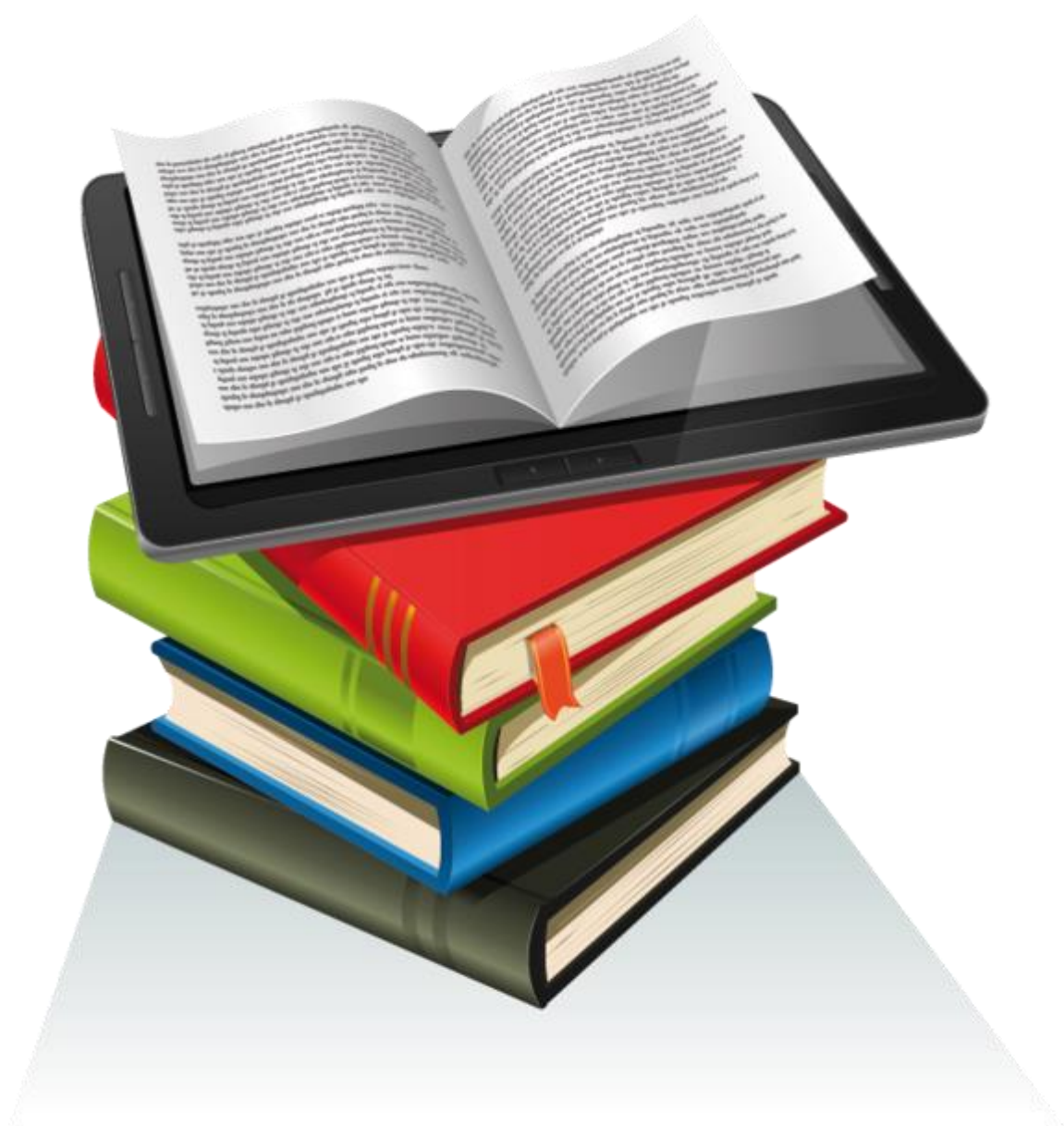
## **Conclusion**

On explorant les variables environnementales (variables climatiques, variables édaphiques et variables liées à la topographie) qui influencent l'activité biologique, le bien être et la distribution spatiale des espèces, seuls BIO5 (la température maximale de mois le plus chaud) et l'altitude présente une corrélation significative avec SLA. Alors que Ps/Pf ne présente aucune corrélation significative avec l'ensemble des variables environnementales. Ces résultats peuvent être expliqués par la faible densité de points de présence du Cèdre de l'atlas, seulement 17 points de présence parmi 54 points d'échantillonnage. On estime que la distribution du cèdre dans le parc est très contrastée dans des zones à relief très accidentées avec des pentes fortes et inaccessibles.

La classification hiérarchique des sites selon la présence de ces espèces dans le parc national a permis de dégager trois classes principales de végétation arborée ; i) la Forêt de cèdre de l'Atlas à chêne vert, ii) Matorral de chêne vert à genévrier oxycèdre (avec présence du cèdre), iii) Matorral de genévrier de Phénicie à chêne vert et genévrier oxycèdre.

En perspective le choix des sites et le nombre de points doivent être bien étudiés et les points doivent être rééloignées afin de couvrir au maximum le gradient écologique.

# *Références bibliographiques*



**Références bibliographiques**

1. Abdessemed, 2010 .Comportement des semis du Cèdre de l'Atlas en conditions de stress thermique. Mémoire de Magistère : Biologie Végétale .Université Mentouri Constantine. p : 10-14.
2. Adamou , 2010. Analyse de la variabilité hydro-climatique passée dans le haut bassin de l'ouemeabeterou au Benin. Mémoire de Master 2 : Ingénierie de l'eau et de l'environnement. Institut internationale d'ingénierie de l'eau et de l'environnement. p : 5.
3. Alileche, 2012. Etude du dépérissement du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans la cédraie des Aurés : Belezma (Batna) et chélia (khenchla).Mémoire de magister : Ecologie et environnement. Université Houari Boumediene. P : 2-18.
4. Aliouche, 2016. Impact du changement climatique sur la fluctuation piézométrique de la nappe de la Mitidja. Mémoire de master : Hydraulique, Irrigation et Drainage. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. P : 3-9.
5. Arar, 2020. Évaluation de la dynamique des niches écologiques distributionnelles des écosystèmes forestiers du Nord Algérien. Thèse de doctorat : Sciences Biologiques, Biodiversité, Santé et Environnement. Université Mohamed Boudiaf - M'sila. p : 23-30.
6. Baghdadli, 2014. L'influence du changement climatique sur les ressources en eaux du Meffrouch. Mémoire de master : Hydraulique, Eau, Sol et Aménagement (ESA). Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen. p : 3.
7. Bared, 2016. Contribution à l'étude dendrométrique du cèdre de l'Atlas de la forêt d'Ain Antar (Wilaya de Tissemsilet). Mémoire de Master : Foresterie, Aménagement et Gestion des Forêts. Université de Tlemcen. P : 5-8.
8. Bared, 2016. L'évaluation de la régénération naturelle du Cèdre de l'Atlas dans la forêt domaniale d'Ain Antar (W. Tissemsilt).Mémoire de MASTER : Foresterie, Aménagement et Gestion des Forêts. Université de Tlemcen. p : 7.
9. Beloula, 2010, Etude sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Belezma (Wilaya de BATNA) Apport de la télédétection et SIG, Mémoire de Magistère en Agronomie, Université El-Hadj Lakhda Batna. p : 26-32.
10. Betrouche , 2012. Évolution spatio-temporelle du dépérissement du cèdre de l'atlas *cedrus atlantica* Manétti dans le massif de Belezma wilaya de Batna : apport de la géomantique. Mémoire de magister en écologie et environnement. Université Houari Boumediene. p :31-33 .

11. Boukerker, 2016. Autoécologie et évaluation de la biodiversité dans les Cédraies de *Cedrus atlantica Manetti* dans le parc national de Belezma (Batna, Algérie) ». Thèse de doctorat en sciences Agronomiques, Université Mohamed Khider-Biskra. p : 27-32.
12. Daif, 2017. Etude des quelques variables climatiques du sous bassin de Sebaou (W.Tizi-Ouzou). Mémoire de Master 2 : Hydraulique, Alimentation en eau potable. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. P : 9-13.
13. Fenosoa, 2010 .Détermination de la surface spécifique foliaire (SLA), relation avec le fonctionnement physiologique chez dix variétés de riz pluvial. Mémoire de Master : biologie et écologie végétales, physiologie végétale(DEA). Université D'Antananarivo. P : 9.
14. Houamel, 2012. Contribution a l'étude du dépérissement de la cédraie dans la région de Batna (cas du parc national du Belezma). Mémoire de Magister : Gestion et Conservation des Ecosystèmes. Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen. P : 13-26.
15. Larbi, 2015. Analyse de la diversité floristique et de la phytodynamique de la série de végétation à *Cedrus atlantica* au Djurdjura Centro-méridional (Secteur de Tikjda), Mémoire de Magister : Sciences Biologiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. P : 9.
16. Madjour, 2015. Régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica Manetti*) au niveau du Parc National du Djurdjura (Secteur de Tala-Guilef). Mémoire de master : Sciences Biologiques, Ecologie Végétale Appliquée et Gestion de l'Environnement. Université Mouloud Mammeri de tizi-ouzou. p : 11-15.
17. Marc, 2018. Amélioration d'un modèle dynamique de végétation par l'apport des traits fonctionnels : application au chêne sessile et pédonculé. Mémoire de master : Sciences et Gestion de l'Environnement, monitoring environnemental. Liège Université. p : 13-14.
18. Nadjem, 2012. Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride, mémoire de magister : Production Végétale et Agriculture de Conservation. Université Ferhat Abbas Sétif. 44 P.
19. Sbeiti, 2016. effet du changement climatique sur la réponse des plantes et des pathogènes, lors du développement de la maladie racinaire provoquée par les champignons pathogènes du sol du genre *verticillium*, chez deux espèces du genre *medicago*, Thèse de doctorat .Université de toulouse. P : 6.
20. Soudant, 2007. Variations et convergences fonctionnelles de la végétation des Alpes le long d'un gradient environnemental. Mémoire de Master 1ere année systèmes écologiques spécialité Systèmes écologiques : fonctionnement, dysfonctionnement, gestion, modélisation. Université Joseph Fourier. P : 5.

21. Tabet, 2008. Le Changement Climatique En Algérie Orientale Et Ses Conséquences Sur La Végétation Forestière. Mémoire de Magistère : Ecologie végétale, Gestion et pathologie des écosystèmes forestiers. Université Mentouri Constantine.
22. Tahanout, 2017. Analyse de l'effet de l'année et de l'arbre sur la production de cônes du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* Manetti à Tala-Guilef. Mémoire de master : Écologie Forestière, Diversité, dynamique et adaptation. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. P : 9 -11.

### **Références webographies**

1. <https://www.gerbeaud.com/nature-environnement/arbres-adaptation-rechauffement-climat-CO2-stomates-200912.php>
2. <https://www.techno-science.net/definition/4706.html>
3. <http://tpeplantes.e-monsite.com/pages/iii-les-echanges-gazeux.html>
4. <https://www.aquaportail.com/definition-5583-matiere-seche.html>
5. <https://www.fichier-pdf.fr/2010/12/19/atlas-des-parcs-nationaux/preview/page/53/>





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

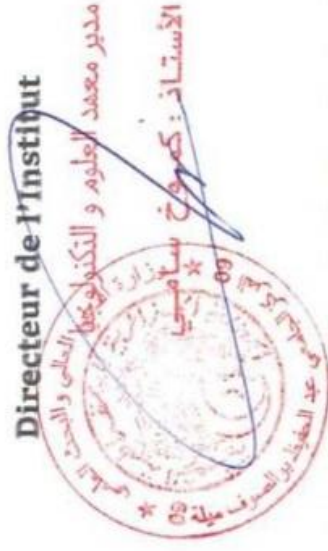
### Au 1<sup>er</sup> Séminaire National sur les Ressources Naturelles face aux Contraintes d'Usage et du Changement Climatique (SENACUC, 2021), le 04 Juillet 2021

La présidente du Séminaire Atteste que Mr/Mme : **Ghodbane Zina** a présenté une Communication Orale

**Sous le titre :** Distribution de la surface foliaire spécifique SLA du Cèdre de l'atlas dans le parc national de Belezma, le long des gradients d'intensité des perturbations et d'approvisionnement en ressources.

**Co-auteurs :** Kadri Manar, Arar Abdelkrim et Tabet Slimane.

Directeur de l'Institut



Présidente du Séminaire (SENACUC, 2021)

