



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
UNIVERSITE ABBAS LAGHROUR - KHENCHELA -
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

FILIERE : Science Biologique

OPTION : Ecologie fondamentale et appliquée

Thème

**Approche écotoxicologique de l'étude du dépérissement
du cèdre de l'Atlas dans la montagne d'Ain Mimoune**

Présenté par :

Harrat Nadia

Saidi Amel

Encadré par :

Dr. Dellaa Yasmina

Soutenu le : 07/07/2019.

Jury de soutenance :

Mlle. Dellaa Yasmina

MCB

ENCADREUR

Univ.Khenchela

Mr. Daif Allah

MCB

PRESEDENT

Univ.Khenchela

Mr. Ziouche Omar

MCB

EXAMINATEUR

Univ.Khenchela

Promotion : Juillet 2019

REMERCIEMENTS

Ce mémoire a été réalisé au Département de l'écologie et l'environnement de Khenchela.

La tradition veut qu'à l'issue de chaque travail on remercie les personnes qui y ont contribué de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre.

Tout d'abord On remercie Dieu notre créateur, pour tout.

En cette circonstance, on tient à exprimer nos profondes reconnaissances à notre promoteur Delaa Yasmina., pour avoir su diriger et superviser ce travail, tout au long de sa progression.

Monsieur Ziouche Omar Ramzi maitre assistant à l'université de Khenchela qui accepter de faire partie du jury.

Je le remercie vivement pour sa générosité, sa sympathie, et son esprit très humain.

Monsieur Daif Allah Tarek, maitre assistant à l'Université de Khenchela, d'accepter de présider le jury.

Qu'il reçoit toute nos sincères remerciements

En fin on exprime nos gratitudes pour Tous les enseignants du département de l'écologie et l'environnement à l'Université de Batna, pour leurs encouragements et leur soutien moral.

Amel et Nadia



Dédicace

Je dédie ce travail aux personnes dont le sacrifice, l'amour et l'attention m'ont permis de réaliser ce modeste travail :

Mes très chers parents surtout ma mère, qui a toujours cru en moi, elle m'a toujours poussée et encouragée dans les moments de doute

Mes chers frères : Abed el Ouahab, Abed Errazek, Yacine et Mohamed Amine

A tous mes collègues de promotion :

<< Ecologie et environnement >>

A toute mes amies : Amel, Imane, Chehla, Houda, Karima, Rima, Chaima

Harrat Nadia



Dédicace

Je dédie ce travail aux personnes dont le sacrifice, l'amour et l'attention m'ont permis de réaliser ce modeste travail :

A mes très chers parents surtout ma mère, qui a toujours cru en moi, elle m'a toujours poussée et encouragée dans les moments de doute

A mes chers frères : Souhil, Mohamed Amine

A ma sœur : Rania

A tous mes collègues de promotion :

« Ecologie et environnement »

A toute mes amies : Nadia, Imane, Chehla, Maroua

Saidi Amel

Table des matières

Intitulé : Approche écotoxicologique de l'étude du dépérissement de cèdre de l'atlas dans la montagne d'Ain Mimoun.

	Page
Table des matières	i
Résumé	a
Abstract	b
Liste des figures	I
Liste des tableaux	IV
Introduction	2-3

Première Partie : Synthèse Bibliographique

Chapitre II	Monographie du cèdre de l'Atlas Cedrus Atlantica	
I.	Aperçu historique du cèdre	5
II.	Généralités	5
III.	Taxonomie et caractères botaniques et dendrologiques du cèdre de l'Atlas	6
III.1.	Taxonomie	6
III.2.	Caractères botaniques et dendrologiques du cèdre de l'Atlas	7
IV.	L'aire de répartition naturelle du cèdre de l'Atlas	9
IV.1	Aire naturelle	9
IV.1.1.	Au Maroc	9
IV.1.2.	En Algérie	10
IV.2.	Aire d'introduction du cèdre de l'Atlas dans le monde	11
V.	Ecologie du cèdre de l'Atlas	11
V.1.1.	L'Altitude	12
V.1.2.	L'exposition	12
V. 3.	Le climat	12
V.3.1.	Les températures	13
V.3.2.	Les précipitations	14
V.3.3.	Le substratum	14
V.3.4.	La lumière	14
VI.	La situation phytogéographique	14
VII.	Associations du Cèdre de l'Atlas	15
VIII.	Les ennemies du cèdre de l'Atlas	16
VIII.1.	Les insectes	16
VIII.2.	Les Maladies Cryptogamique (Champignons)	17
VIII.3.	Les Incendies	17

VII.4.	Les Animaux	18
VII.5	L'homme	18
XI.	Rôle et importance des cédraies	19
Chapitre II	La régénération naturelle de cèdre de l'Atlas	
I	La régénération naturelle de cèdre de l'Atlas	22
I.1.	La régénération dans les cédraies naturelles	22
I.2	Dans son aire d'introduction	22
II.	Les étapes de la régénération naturelle	22
II.1.	Cycle de reproduction	22
II.1.1.	L'inflorescence	22
II.1.2.	La floraison	23
II.1.3.	La pollinisation et la fécondation	23
II.2.	Le cycle d'ensemencement	23
II.2.1	La désarticulation des cônes	23
II.2.2.	La dissémination des graines	23
II.2.3.	Germination des graines du cèdre	23
II.2.4	L'installation des plantules	24
III.	L'action de l'environnement sur la régénération naturelle du cèdre	25
III.1.	Germination et humidité	25
III.2.	Germination et neige	26
III.3.	Germination et substrat lithologique	27
III.4.	Germination et feu	28
III.5.	Germination et conditions édaphiques	28
III.6.	Germination et température	29
III.7	Le tapis herbacé et la survie des plantules	29
IV.	L'action de l'homme sur la régénération naturelle de cèdre	29
V.	Régénération artificielle du cèdre de l'Atlas	21
V.1.	Régénération artificielle par le reboisement	30
V.2.	Les étapes d'un reboisement	30
V.3.	Les objectifs d'un reboisement Artificiels	31
V.4.	La régénération artificielle du cèdre en Algérie	32
VI.	Les efforts fournis par l'Algérie en matière des reboisements forestiers	32
VI.1.	Les reboisements en cèdre	33
Chapitre III	Le dépérissement du cèdre de l'Atlas	
I	Explication du phénomène de dépérissement	35
III	Les facteurs du dépérissement	35
III.1.	Les facteurs prédisposant	36
III.2.	Les facteurs déclenchant	36
III.3.	Facteurs aggravants (ou contribuant)	37
IV	Les symptômes du dépérissement	38
IV.1.	Les symptômes sur le feuillage	39
IV.2.	Les symptômes sur les bourgeons, les pousses et les rameaux	39

IV.3.	Les symptômes sur les troncs et les branches	39
V.	Les causes du dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie	39
VI.	Le dépérissement du cèdre de l'Atlas à l'échelle mondiale	40
VII.	Le dépérissement du cèdre de l'Atlas à l'échelle Nord-Africaine	41
VII.1.	Au Maroc	41
VII.2.	En Algérie	41
VII.2.1.	Dans le Belezma	42
VII.2.2.	Aux monts Chélia et Ouled Yacoub	43
VIII.	Contrôle et suivi de dépérissement	44
IX.	Complexité de l'étude du dépérissement forestier	45
X	Conclusion	45

Chapitre IV

La chlorophylle

I.	La chlorophylle	47
I.1.	Importance de la chlorophylle	47
I.2.	Les chlorophylles a et b	47
I.3.	Spectre d'absorption de la chlorophylle	48
II.	Structures et propriétés chimiques	49
III.	La pollution environnementale et la chlorophylle	50

Deuxième Partie : Etude expérimentale

Chapitre V

Présentation de la zone d'étude

I.	Localisation géographique et administrative de la Willaya de Khenchela	52
II.	Description générale et localisation de la zone d'étude	52
II.1.	Cédraie d'Ouled Yagoub	52
II.2.	Cédraies du Mont Chélia	54
II.2.1.	Le relief	54
II.2.2.	Géologie et Pédologie	55
II.2.3.	Hydrologie	56
II.2.4.	Occupation du sol	57
II.2.5.	Exposition	58
II.2.6.	L'altitude	60
II.2.7.	La végétation	62
II.3.	Situation socio-économique	63

Chapitre VI

Etude climatique

	Généralités	65
I.	La température	65
II.	La pluviométrie	66
IV.	L'Humidité	68
V.	Les Vents	69
VI.	Quotient pluviométrique d'Emberger	70
VII.	Indice de Demartone	71

VIII.	Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte	72
	Conclusion	73
Chapitre VII	Matériel et méthodes	
I.	Objectif	75
II.	Justification du choix des sites de prélèvements	75
III.	Mode d'échantillonnage	75
IV.	Matériels utilisés	76
IV.1	Les échantillons de <i>Cedrus atlantica</i>	76
IV.2	Solution utilisées	76
IV.3	La balance	77
IV.4	Spectrophotomètre domaine UV/visible	77
V.	Dosage de la chlorophylle	78
	Troisième partie :	
	Résultats et discussion	
Chapitre VIII	Résultats et discussion	
I.	Résultats des analyses de chlorophylles	81
I.1.	Teneur en chlorophylle a	81
I. 2.	Teneur en chlorophylle b	82
I. 3.	Teneur en chlorophylle totale a+b	83
II.	Teneur en chlorophylle a/b	83
III.	Discussion générale	83
	Conclusion générale et recommandations	88
	Référence bibliographique	92

Liste des figures

N° figure	Titre	N° page
Figure N°1	Le cèdre de l'Atlas dans le massif de Chélia	7
Figure N°2	Aire naturelle du cèdre de l'Atlas (en noir) sur fond altimétrique (Courbet et al., 2012) (Les Monts du Hodna regroupent les sites 10, 11 et 12, les monts du Belezma ceux du 13 et 14, les sites 15 à 19 sont ceux du massif des Aurès).	9
Figure N°3	Répartition actuelle du cèdre de l'Atlas en Algérie (Bentouati, 2006)	10
Figure N°4	Aire de répartition du Cèdre de l'Atlas en Algérie sur le climagramme d'Emberger	13
Figure N°5	Important ravageurs de la cèderais Algérienne : A : Le chalcidien seminivore (<i>Megastigmus pinsopinis</i>), B : La chenille processionnaire du cèdre (<i>Taumatopea bonjeani</i>), C : Puceron de cèdre (<i>Cedrobium loportei</i>), D : La tordeuse du cèdre (<i>Epinota cedria</i>).	17
Figure N°6	incendie dans la cèderais de Djurdjura en 2018	18
Figure N°7	Le phénomène de la coupe illicite du cèdre	19
Figure N°8	Les étapes de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (Toth, 1978)	25
Figure N°9	L'effet de la neige sur la germination naturelle du cèdre de l'Atlas	26
Figure N°10	Développement des semis de cèdre sur un sol calcaire dans le massif de Chélia	27
Figure N°11	Effet du travail du sol sur la régénération naturelle du cèdre de L'Atlas à Ouled Yagoub	28
Figure N°12	Cèdres en godets forestiers conditionnés en cagettes avant le transport.	30
Figure N°13	Préparation du terrain pour le reboisement des semis du cèdre	31
Figure N°14	Les objectifs du reboisement	31
Figure N°15	Facteurs prédisposant, d'initiation et aggravants contribuant à la mort des arbres forestières	38
Figure N°16	Dénérissement massif du Cèdre de l'Atlas au Belezma	42
Figure N°17	Le foyer de dépérissement dans la forêt d'Ouled Yagoub	43
Figure N°18	Le foyer de dépérissement dans les forêts de Chélia	44
Figure N°19	Spectre d'absorption de la chlorophylle <i>a</i> (430 nm (bleu) et 660 nm rouge)	48
Figure N°20	Spectres d'absorption de la chlorophylle <i>b</i>	49
Figure N°21	Structures planes des molécules de chlorophylles <i>a</i> et <i>b</i> .	50
Figure N°22	Situation géographique de la zone d'étude	53
Figure N°23	Carte de lithologie d'Ouled Yagoub	55
Figure N°24	Carte de lithologie de Chélia	56
Figure N°25	Carte d'occupation des terres de la cédraie de Chélia.	57
Figure N°26	Carte d'occupation des terres de la cédraie d'Ouled Yagoub.	58
Figure N°27	Carte d'exposition cédraie d'Ouled Yagoub	59

Figure N°28	Carte d'exposition de la cédraie de Chélia	60
Figure N°29	Carte d'altimétrie de la Cédraie d'Ouled Yagoub	61
Figure N°30	Carte d'altimétrie de la Cédraie de Chélia	61
Figure N°31	Courbe de variation des températures moyennes mensuelles	65
Figure N°32	Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles	66
Figure N°33	Carte des précipitations annuelles moyennes	67
Figure N°34	Diagramme Ombrothèrmique de la zone d'étude	68
Figure N°35	Variation de l'humidité moyenne mensuelle	69
Figure N°36	La vitesse Moyenne Mensuelle des Vents	69
Figure N°37	Projection de la zone dans le climagramme d'Emberger	71
Figure N°38	Mode d'échantillonnage dans les différentes forêts	75
Figure N°39	Echantillon de Cèdre d'Atlas utilisé dans l'étude	76
Figure N°40	flacons d'Ethanol et d'Acétone utilisés de marque VWR chemical	77
Figure N°41	balance pour mesure	77
Figure N°42	Spectrophotomètre UV-Visible Cuve en quartz.	78
Figure N°43	Etapes du protocole expérimental pour les analyses de la chlorophylle	79
Figure N°44	Teneur en chlorophylles (a), (b), (a/b) et en chlorophylle totale) (a+b)	81

Liste des tableaux

N° tableau	Titre	Page
Tableau 1	Surfaces de répartition du cèdre de l'Atlas en Algérie	10
Tableau 2	Evolution de la germination en fonction du temps d'hydratation	26
Tableau 3	Exemples de dépérissement d'arbre dans le monde	40
Tableau 4	teneur en chlorophylle a (mg/g MF) des feuilles chez <i>Cedrus atlantica</i> dans les 03 stations	82
Tableau 5	teneur en chlorophylle b (mg/g MF) des feuilles chez <i>Cedrus atlantica</i> dans les 03 stations	83
Tableau 6	teneur en chlorophylle a+b (mg/g MF) des feuilles chez <i>Cedrus atlantica</i> dans les 03 stations	83
Tableau 7	teneur en chlorophylle a/b (mg/g MF) des feuilles chez <i>Cedrus atlantica</i> dans les 03 stations	83

مقاربة سمية بيئية لدراسة تدهور أرز الأطلس في جبل عين ميمون

ملخص

في ولاية خنشلة، يتعرض أرز الأطلس إلى تدهور مستمر في السنوات الأخيرة. هذا الموقف نتيجة لتفاعل العديد من الضغوطات الحيوية و اللاأحيائية التي تسبب إضعاف الشجرة وأحياناً الشيخوخة المبكرة. تم تخصيص موضوع هذه الدراسة لتحليل التأثير المحتمل للرواسب الباريتية على هذه الظاهرة المميّزة وقوة التجديد الطبيعية لأرز الأطلس في غابات نوغيس و أولاد يعقوب و شليا في خنشلة. تم أخذ عينات من إبر الأرز من ثلاث محطات، حيث تم إجراء تقييم لمستويات اليخضور في المختبر التربوي بالجامعة ، حيث تمت ملاحظة الاختلافات في المستويات بين محطات أخذ العينات بواسطة طيف لأشعة فوق البنفسجية-المرئية. تعكس النتائج التي تم الحصول عليها تركيزات عالية جداً من الكلوروفيل في إبر الأرز الموجود بالقرب من مصنع معالجة الباريت. يمكن أن تكون هذه الدراسة أساساً للبحث في العلاقة المثيرة للجدل بين هذه الشجرة المستوطنة التي تعد مورداً مهماً جداً للبلاد والغبار الناجم عن ترسب النفايات الجوية الصناعية.

الكلمات المفتاحية : *Cedrus atlantica* , اليخضور, التلوث , خنشلة , تدهور, تجدد.

Intitulé :

Approche écotoxicologique de l'étude du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans la montagne d'Ain Mimoune

Résumé

A Khenchela, le cèdre de l'Atlas est soumis à un dépérissement qui s'aggrave ces dernières années. Cette situation est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs de stress de nature biotique ou abiotique provoquant l'affaiblissement de l'arbre et parfois même sa sénescence précoce. Le sujet de la présente étude se consacre à l'analyse de l'impact potentiel des dépôts de la baryte sur ce phénomène de dépérissement et sur le pouvoir de régénération naturelle du cèdre de l'Atlas dans les forêts de Noughis, Ouled Yagoub et Chélia à Khenchela. Nous avons effectué des prélèvements d'échantillons sur les aiguilles du cèdre de trois stations, sur lesquelles une évaluation des teneurs en chlorophylle a été réalisée au laboratoire pédagogique de l'université, où les variations des teneurs entre les stations de prélèvements ont été observées par spectrophotométrie UV-Visible. Les résultats obtenus reflètent des concentrations très importantes de chlorophylle dans les aiguilles du cèdre localisé à proximité de l'industrie de transformation de baryte. Cette étude peut être une base de recherche de la relation controversée entre cet arbre endémique qui constitue une ressource très importante pour le pays et les poussières induites par les dépôts des effluents de l'industrie.

Mots clé : *Cedrus atlantica*, chlorophylle, pollution, Khenchela, dépérissement, régénération.

Title :**Ecotoxicological approach to the study of Atlas cedar degradation in the mountain of
Ain Mimoune****Abstract**

In Khenchela, the Atlas cedar is subject to a decline that is worsening in recent years. This situation is the result of the interaction of the biotic and/or abiotic stress factors causing the weakening of the tree and sometimes even its early senescence. The subject of this study is devoted to the analysis of the potential impact of barite deposits on the decline process and on the natural regeneration power of Atlas cedar in the Noughis, Ouled Yagoub and Chélia forests, located in Khenchela. We sampled cedar needles from three stations, on an assessment of chlorophyll contents, on a university pedagogical laboratory, where variations in levels between sampling stations were measured by using UV-Visible spectrophotometry. The results obtained shows important chlorophyll concentrations of cedar needles, near the barite processing industry. This study can be a basis for research of the controversial relationship between this endemic tree, which is a very important resource for the country, and the dust induced by industrial effluent deposition.

Key words : *Cedrus atlantica*, chlorophyll, pollution, Khenchela, decline, regeneration.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Cedrus atlantica ou cèdre de l'Atlas ou encore Arz, Meddad ou Bignoune, en Arabe et Idhguel, en Berbère, est une essence noble, voire un symbole de fierté régionale notamment pour les pays constituant son aire naturelle de répartition.

Selon Toth (1978), c'est une essence qui a toujours suscité un intérêt important en raison de ses nombreuses qualités forestières, telles que sa capacité au maintien de l'équilibre biologique, sa faible inflammabilité, sa production de bois de qualité, et son port remarquable et esthétique.

En Algérie, les cédraies sont dispersées et beaucoup plus réduites qu'au Maroc. Le cèdre occupe une surface d'environ 30000 ha, répartis sur deux ensembles naturels, d'écologie sensiblement différente. Le premier est localisé sur les montagnes littorales bien arrosées comme les Babor, le massif du Djurdjura, l'Atlas Blidéen et l'Ouarsenis, ce sont les cédraies humides. Le second ensemble est le plus important du point de vue superficie, il occupe les montagnes méridionales continentales de l'Atlas saharien, ce sont les cédraies sèches.

Malheureusement, la cédraie, qui est un milieu multifonctionnel, aussi bien sur le plan économique, écologique que social, connaît actuellement une régression continue. L'absence de semis et l'apparition de clairières et de vides dans certains nombreux endroits sont les indicateurs de cette régression.

Le cèdre est une espèce majestueuse qui existe depuis des millénaires, mais, ces dernières décennies, il est sujet à une dégradation continue qui est plus ou moins accélérée. Les causes de cette dégradation sont multiples. ; et sont liées à la fois aux aléas climatiques comme la sécheresse, le stress hydrique, l'influence saharienne, à l'action humaines traduite par un surpâturage, l'exploitation non contrôlée, les coupes illicites, et enfin à la nature de certains types de substrats tels que les marnes, qui paraissent très nettement défavorables à la reprise des arbres.

Le cèdre de la forêt de Chalia et d'Ouled Yagoub est actuellement en voie de dépérissement sous l'action d'une multitude de facteurs de détérioration récurrents (sécheresse répétée, manque de traitement sylvicole...) qui ne cessent de lourdement peser sur sa pérennité et induisant de fait une véritable pandémie écologique, un écocide lent, ainsi qu'une diminution de taux de la régénération naturelle qui a des diverses corrélations avec les facteurs écologiques,

INTRODUCTION GENERALE

climatiques et édaphiques. Ce phénomène de dépérissement touche les jeunes comme les vieux sujets du cèdre, en peuplement séré ou en bordure des clairières où il se manifeste d'abord par un affaiblissement des fonctions physiologiques puis survient la mortalité, stade ultime de ce processus.

L'objectif du présent travail, dans sa nature, est d'une part connaître la dynamique de la régénération naturelle et du dépérissement du cèdre de l'Atlas, et d'autre part de faire le point sur quelques facteurs écologiques tels que le climat, le sol, l'exposition et l'altitude, agissant sur ces phénomènes.

Cette étude est divisée en deux principales parties, à savoir :

La première partie : est une analyse purement bibliographique s'articulant autour de trois chapitres consacrés à la présentation du cèdre de l'Atlas et ses principales caractéristiques, à définir les différentes phases de la régénération naturelle ainsi que les différents facteurs influant sur cette même régénération puis étudier le phénomène de dépérissement avec ses différents facteurs et symptômes.

La deuxième partie : est un travail sur le terrain ayant pour objectif d'étude de l'effet des dépôts de la baryte induite par l'industrie de transformation sur la régénération naturelle et le dépérissement du cèdre de l'Atlas. Le contenu de cette partie est divisé en quatre chapitres : une description de la zone d'étude, une étude climatique approfondie, une présentation de la chlorophylle comme paramètre contribuant au maintien de la bonne santé du règne végétal, un protocole expérimental et enfin, une expression des résultats et leur interprétation). Enfin ce travail se termine par une conclusion générale et quelques recommandations pour les travaux ultérieurs.

CHAPITRE I :

MONOGRAPHIE DU CEDRE DE L'ATLAS



***Regarder profondément la nature et ainsi
vous comprendrez tout mieux***

Albert Einstein

Chapitre1

MONOGRAPHIE DU CEDRE DE L'ATLAS



**Regarder profondément la nature et ainsi vous
comprendrez tout mieux**

Albert Einstein

I. Aperçu historique du cèdre

La présence de *Cedrus atlantica* en Afrique du nord n'est pas récente. Il y est certainement établi depuis le Pléistocène moyen, voire inférieur (Emile et al., 2007). Des fossiles de Cèdre furent découverts dans les formations du Pléistocène en Europe et dans le massif du Hoggar au Sahara, mais il n'est pas certain que le Cèdre n'ait jamais eu une aire continue (Gaussen, 1967). L'ensemble des études palynologiques montre que parmi les espèces arborées, deux espèces ont joué un rôle important dans les écosystèmes durant l'Holocène : *Cedrus atlantica* et *Quercus ilex*. Des pollens à Tigalmamine et Sidi Ali au moyen Atlas marocain, ont prouvé que *Cedrus atlantica* est apparu rudement après 7000 ans. Un prélèvement de pollen à Ifrah, situé également dans le moyen Atlas a prouvé que le cèdre de l'Atlas était présent tout au long de la période glaciaire, mais en fait, il avait régressé pendant l'holocène.

Une hypothèse est que la température d'hiver était trop élevée pendant l'holocène, c'est ce qui a empêché son expansion (Semah et Renault-Miscovsky, 2004). Sur le plan paléontologique, l'aire du Cèdre était, jadis, beaucoup plus vaste et le genre *Cedrus* existait au tertiaire et occupait des régions où il a complètement disparu (Derrij, 1990).

II. généralités

Le genre *Cedrus*, appartenant à la famille des pinacées, est considéré comme étant le plus ancien après le genre *Pinus* (Gaussen, 1967). Il recouvre quatre (04) espèces (Boudy, 1950; M'hirit, 1994 ; De Vilmorin, 2003 et M'hirit et Benzyane, 2006), qui occupent des surfaces inégales dans l'étage montagnard de la région méditerranéo-himalayenne. Ces quatre espèces sont :

- *Cedrus atlantica* Manetti : Cèdre de l'Atlas est endémique des montagnes nord africaines (Maroc, Algérie).
- *Cedrus libani* Barrel : Cèdre du Liban est présente en Asie mineure, au Liban et en Turquie.
- *Cedrus deodara* London : Cèdre de l'Himalaya, sa répartition est plus confinée. En effet, elle ne couvre que quelques dizaines d'hectares dans l'île de Chypre.
- *Cedrus brevifolia* Henry : Cèdre de Chypre Enfin, *Cedrus deodara* est la plus répandue des espèces, elle peuple une partie de l'Inde, de l'Afghanistan et du Népal (Toth, 2005).

Les cèdres sont de grands arbres gymnospermes sempervirens, à fût trapu, dont l'écorce, d'abord lisse et d'un brun grisâtre, se fendille avec l'âge en petites écailles brunes ou gris foncé. Leur port les rend très caractéristiques : les branches, très longues ; étalées à l'horizontales ou légèrement relevées, formant par leur ensemble une large cime conique ou ovoïde dont l'envergure, chez les arbres isolés, peut dépasser 100 m. La flèche prend, chez l'arbre âgé, une direction horizontale qui

donne au cèdre, surtout au cèdre du Liban son port tabulaire si remarquable. Les feuilles (les aiguilles) persistantes, coriaces, aigües, vertes ou glauques, isolées sur les rameaux allongés, sont réunies en rosettes denses sur les très nombreux rameaux courts qui garnissent toute la longueur des branches. Fleurs monoïques, au sommet des rameaux courts, les mâles en chatons ovoïdes, Jaunâtres, longs de 3-5 cm (5-12 pour le cèdre de l'Himalaya), très nombreux et dressés en chandelles sur les branches, non persistants, les femelles en chatons vert bleuâtre ou pourprés mûrissants en cônes ovoïdes ou subcylindriques, dressés, à écailles nombreuses, larges, minces, lisses, étroitement imbriquées, se désarticulant sur l'arbre à maturité, à l'automne de la deuxième année, et libérant les graines grossièrement triangulaire, largement ailées, chargées de térébenthine (Lieutaghi, 1969).

III. Taxonomie et caractères botaniques et dendrologiques du cèdre de l'Atlas

III.1 Taxonomie

Selon Emberger, la position taxonomique du Cèdre de l'Atlas est dans l'Embranchement des Spermaphytes ; du Sous Embranchement des Gymnospermes ; de la Classe des Vectrices ; de l'Ordre des Coniférales, du Sous Ordre des Abiétales ; de la Famille des Pinacées ; la sous famille des Abiétées ; le Genre : *Cedrus* ; l'Espèce : *Cedrus atlantica* Manetti (Taleb, 2004).

Le nom commun de l'espèce préconisée dans ce travail est Cèdre de l'Atlas ; le nom arabe étant Meddad, ou Arz ; le nom berbère donné est Begnoun, ou Ithguel. Le nom anglais : Atlas Cedar, et le nom vernaculaire : Cèdre de l'Atlas



Figure 1 : Le cèdre de l'Atlas dans le massif de Chélia

III.2 Caractères botaniques et dendrologiques du cèdre de l'Atlas

Le cèdre de l'Atlas est par excellence, l'essence noble de l'Afrique du Nord, par la majesté de son port et sa longévité (Boudy, 1950). C'est un arbre de grande taille, susceptible de dépasser les 50 m de haut. Son port pyramidal au stade juvénile, présente des ramifications de premier ordre souvent redressées. A l'âge adulte, il prend une forme tabulaire (Gaussen, 1967).

- ❖ **Cône :** Le poids du cône, à l'échelle des provenances algériennes, est en moyenne de 55.83 g, sa longueur de 6,28 cm et son diamètre de 5,17 cm (Derrij, 1990).
- ❖ **Longévité :** La longévité du cèdre de l'Atlas est remarquable, paraît fabuleuse dépasse certainement 600 à 700 ans, on lui attribue 1000 ans et plus (Chebouki, 1994), il peut donner des graines fertiles jusqu'à un âge avancé (Boudy, 1952).
- ❖ **Taille :** le cèdre de l'Atlas est un arbre de première grandeur pouvant atteindre 50 m de haut et 6 m de circonférence (Boudy, 1950).
- ❖ **Tronc et port :** Le tronc et le port sont respectivement coniques et droit pendant la jeunesse, mais deviennent tortueux et tabulaire et découvert chez les sujets les plus âgés (Debazac, 1964).

- ❖ **Écorce** : L'écorce est divisée en petites écailles d'une couleur jaune brune puis grisâtre (Toth, 1971), et crevassée profondément avec une couleur foncée à un âge avancé (Toth, 1981).
- ❖ **Enracinement** : Les racines du cèdre de l'Atlas sont très étendues et ramifiées. De plus elles sont pivotantes, assurent la stabilité de l'arbre (Toth, 1970). Les racines obliques sont très fortes car elles colonisent les sols profonds et humides (Toth, 1970 cité par Krouchi, 1995).
- ❖ **La graine** : Elle est marron-roux, subtriangulaire, longue de 10 à 15 mm, tendre, très résineuse, à aile large (poids de 1000 graines : 60 à 100 g) (Debazac, 1964 ; Toth, 1971). La graine de cèdre ne germe que si les températures journalières avoisinent les 10°C pendant 9 à 10 jours (Lepoutre, 1964).

Les graines produites par cône sont de deux types : fertiles et vaines.

Du point de vue anatomique, la graine du cèdre est un organisme complexe qui comprend selon Derrij (1990) :

- L'embryon : Constitué d'une radicule, d'une tigelle et du cotylédon.
 - L'endosperme : Servant de réserves.
 - Le tégument : C'est l'enveloppe de la graine, munie de plusieurs poches résinifères.
-
- ❖ **Les feuilles** : Les feuilles ont des formes d'aiguilles (acirculaires), raides et fines, peu aigues et de couleur verte ou glauque. Généralement sont arquées et groupées en rosettes denses de 30 à 40 aiguilles sur des rameaux courts (M'herit, 2006).
 - ❖ **L'inflorescence** : Le cèdre de l'Atlas est monoïque, les inflorescences mâles sont des chatons ovoïdes allongés (2 à 6 cm) dressés, très nombreuses de couleur jaunâtre. Les inflorescences femelles sont au début semblable à celles des inflorescences mâles. Elles ne se constituent pas en même temps que les inflorescences mâles.

L'inflorescence mâle se présente fin juin comme un bourgeon arrondi, l'inflorescence femelle, n'apparaît que deux mois après, se développe rapidement et devient mûre à la fin du mois d'août (Bahri, 2006).

- ❖ **Les rameaux** : Les rameaux ne sont jamais verticillés, ils sont de deux sortes (Boudy, 1950) :

- les rameaux longs, de couleur grise jaunâtre pubescente qui ne portent que des aiguilles isolées pendant la première année.
- les rameaux courts qui sont trapus, insérés sur les précédents et terminés par un bouquet d'aiguilles très nombreuses et serrées.

La ramure est horizontale, mais les branches ne sont pas étagées en verticilles (Boudy, 1952).

- ❖ **Le fruit** : la maturité des cônes dure 2 ans après la floraison, de couleur brune violacée, ils ont 5-8 cm de dimension. Atteignent au plus 10 cm (Quezel et Santa, 1962).
- ❖ **Le cycle de reproduction** : la production des graines jusqu'à leur dissémination, s'étale sur 03 années (Till, 1985 cité par Emile, 2007). Il peut se résumer à :
 - Année 1 : apparition des cônes, floraison et pollinisation.
 - Année 2 : fécondation des ovules par les gamètes mâles et croissance des cônes.
 - Année 3 : maturation des cônes et leur désarticulation, dissémination des graines.

IV. L'aire de répartition naturelle du cèdre de l'Atlas

IV.1 Aire naturelle

Le cèdre de l'Atlas est originaire des montagnes de l'Afrique du nord, se trouve en Algérie et au Maroc (Figure 02). Sa localisation est nettement disjointe et liée essentiellement à l'orographie du Maghreb (Quezel, 1998). Il se localise dans les zones des montagnes où il occupe près de 173600 ha dans l'Afrique du nord dont les $\frac{3}{4}$ au Maroc et le reste en Algérie (M'hirit, 2006).

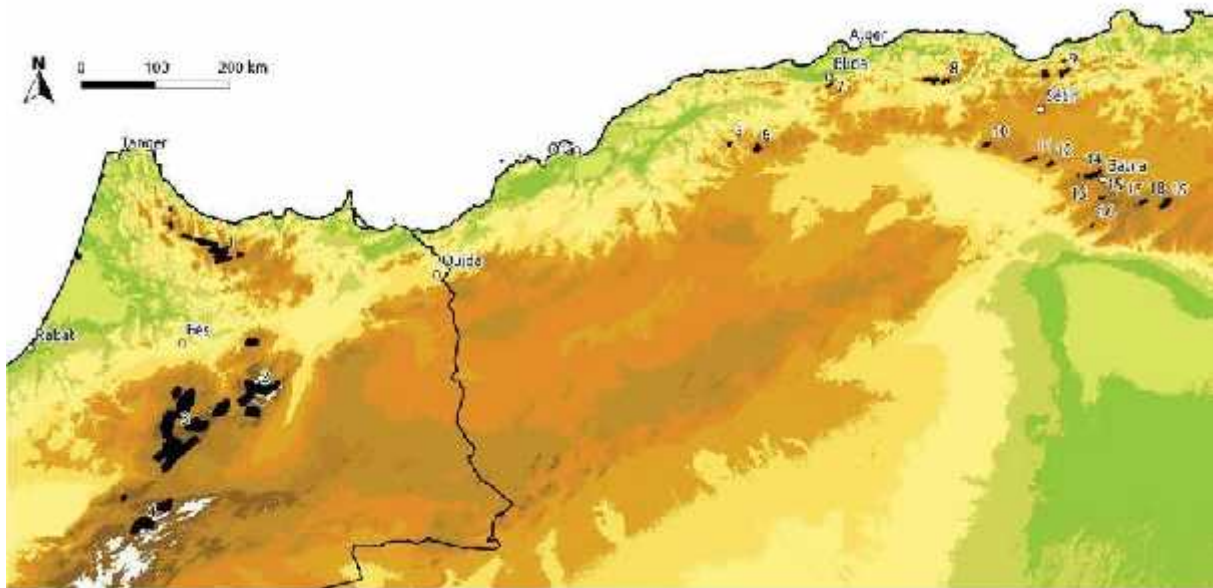


Figure 2 : Aire naturelle du cèdre de l'Atlas (en noir) sur fond altimétrique (Courbet et al., 2012)
 (Les Monts du Hodna regroupent les sites 10, 11 et 12, les monts du Belezma ceux du 13 et 14, les sites 15 à 19 sont ceux du massif des Aurès).

IV.1.1 Au Maroc

Le cèdre de l'Atlas détient à lui seul la plus grande surface, répartie sur deux blocs d'inégale importance, la première dans le moyen et le grand Atlas oriental (116000 hectares), la seconde dans le Rif occidental et central avec une superficie d'environ 16000 hectares (M'hirit, 1982).

IV.1.2 En Algérie

En Algérie, les massifs cédraies sont dispersées et beaucoup plus réduits qu'au Maroc. Le cèdre occupe une surface d'environ 30 000 ha répartie sur deux ensembles naturels, d'écologie sensiblement différente : le premier est localisé sur les montagnes littorales bien arrosées (Babors, massif de Djurdjura, l'Atlas Blidéen, Ouarsenis), ce sont les cédraies humides. Le second ensemble est le plus important du point de vue superficie, il occupe les montagnes méridionales continentales de l'Atlas saharien, ce sont les cédraies sèches (Tableau 1).

Tableau 1 : Surfaces de répartition du cèdre de l'Atlas en Algérie (Nedjahi, 1988)

Massif	Superficie en hectares
Djurdjura	2000
Babors	1300
Atlas Blidéen (Chrèa)	1000
Ouarsenis (Tenient elhad)	1100
Aurès	17000
Hodna	8000

Il est représenté à l'Est par les cédraies des Aurès et du Belezma, qui couvrent 17 000 ha environ, réparties entre les massifs de Chélia, S'gag, Aidel, Ouled Yacoub et du Belezma, à l'Ouest les massifs de Maadid, Boutaleb et Guthiane dans le Hodna. Ces dernières sont réparties en cantons isolés couvrant environ 8000 ha (Nedjahi, 1988). Selon (Bentouati, 2007) la répartition actuelle du cèdre de l'Atlas en Algérie est comme suite (Figure 03).

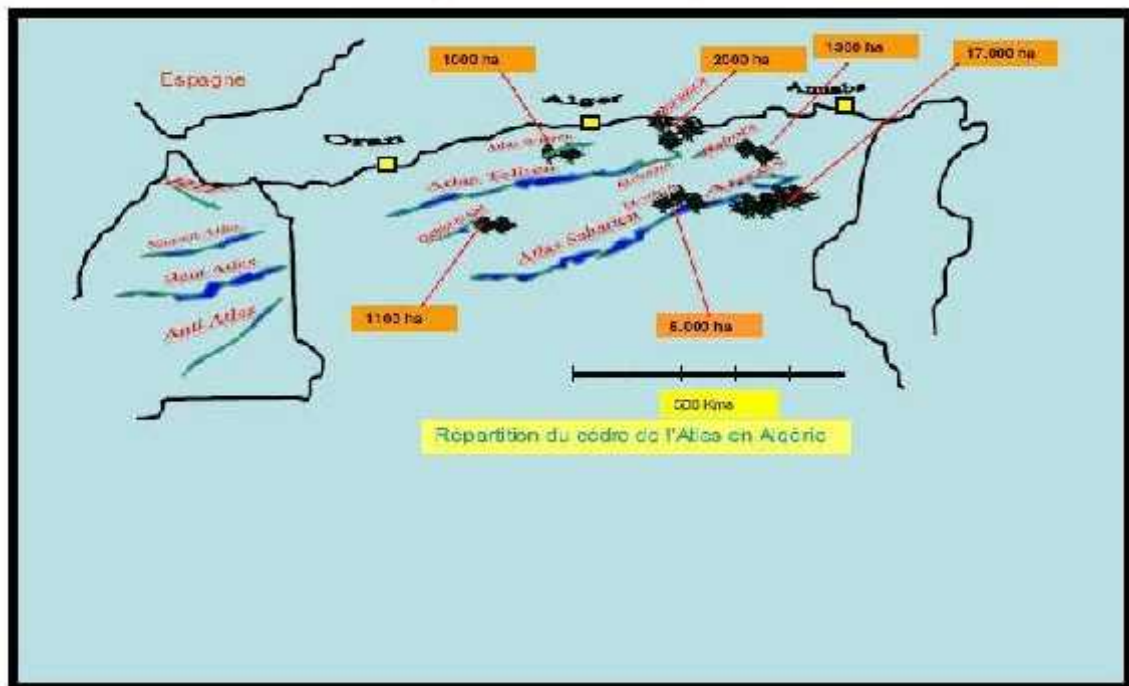


Figure 03 : Répartition actuelle du cèdre de l'Atlas en Algérie (Bentouati, 2006)

IV.2 Aire d'introduction du cèdre de l'Atlas dans le monde

Son succès en France laisse à penser qu'il peut s'acclimater et prospérer dans des conditions autres que celles de son aire d'origine (Ducrey, 1994). La France est en tête des pays possédant des cédraies en dehors de l'aire naturelle de l'espèce. Son introduction remonte à 1862. Le plus grand secteur de reboisement est celui du mont de Ventoux qui totalise 20 000 ha de superficie, où le cèdre a multiplié sa surface par plus de cent (100) en un peu plus d'un siècle, soit 15 ha en 1862 et 20 000 en 1997 (Toth, 2005).

Il a été introduit d'abord comme arbre d'ornement avant d'être utilisé en reboisement. La première plantation a été exécutée à Badia Prataglia(Arizzo) en 1864 (Nejahi, 1988). Son introduction remonte au 19^{ème} siècle, période où il fut planté en Toscane. Depuis, les cèdres peuplent sur près de 1000 ha plusieurs régions du centre de l'Italie (Michèle et al, 2001).

Dès la fin du XIX siècle, le cèdre de l'Atlas fut introduit dans divers pays européens (Bulgarie, Hongrie, Espagne,...etc.). Il a été signalé dans quelques états américains (Pennsylvanie, New York ; côte ouest du Pacifique) où sa remarquable adaptation justifie son extension (M'hirit, 1982).

V. Ecologie du cèdre de l'Atlas

C'est un arbre essentiellement montagnard, bien adapté au climat froid. Les conditions écologiques du cèdre sont très variables et varient selon plusieurs facteurs dont les plus importants sont l'altitude, le climat et le sol (Boudy, 1950).

V.1 l'Altitude

Dans son aire naturelle, le cèdre de l'Atlas est considéré comme une essence montagnarde. L'altitude influence le cèdre par les conditions climatiques, notamment les précipitations et les températures ; plus l'Altitude est élevée, plus les précipitations moyennes sont élevées et les températures sont basses (Boudy, 1950).

Les limites inférieures ou supérieures diffèrent d'une cédraie à l'autre. D'après Pujos (1966), trois types de cédraies se distinguent en fonction de l'altitude :

- Les cédraies basses : inférieures à 1800 m.
- Les cédraies moyennes : comprises entre 1800 – 2100 m
- Les cédraies hautes : supérieures à 2100 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 2200 m au Chélia (Abdessemed, 1981).

Au Maroc : le cèdre de L'Atlas se trouve à des altitudes variant entre 1500 m et 2100 m (Aussenac, 1984).

En France : le cèdre de L'Atlas se trouve à basse altitude entre 250 m et 900 m et peut même aller jusqu'à 1200 m (Guibal, 1986). On cite la cédraie artificielle du Mont Venteux, qui descend jusqu'à 680 m (Toth, 1980).

V.2 L'exposition

Elle joue un rôle très important dans la répartition des précipitations et des températures, en effet, les versants Nord sont plus humides par rapport aux versants Sud. En Algérie, les expositions Nord et Nord-Ouest sont non seulement bien arrosées mais également à l'abri des vents desséchants tel que le Sirocco, et portent les plus belles cédraies en raison de leur humidité (Khanfouci, 2005).

Au Maroc, la plupart des cédraies sont localisées dans l'étage humide. Elles sont toutes exposées aux vents d'Ouest chargés d'humidité (M'hirit, 2006).

V.3 Le climat

Le cèdre de l'Atlas est une essence qui s'accommode aux différents bioclimats. Il s'individualise en effet, entre les bioclimats semi-aride, subhumide, humide et per humide (Figure 4). Alors que, sa zone préférée est située d'après Boudy (1952) en bioclimat humide froid.

Selon (Boudy, 1950) En Algérie le cèdre se situe dans les bioclimats suivants :

- **Semi aride à hiver froid :** Boutaleb (Hodna), Chélia (Aurès), Djebel Azreg (Aurès).
- **Sub-humide à hiver froid :** Thniet El had (Ouarsenis), nord du Belezema (Aurès).
- **Humide frais :** Monts du Djurdjura.
- **Per-humide :** Babor (Nord), Chréa (Atlas Blidéen).

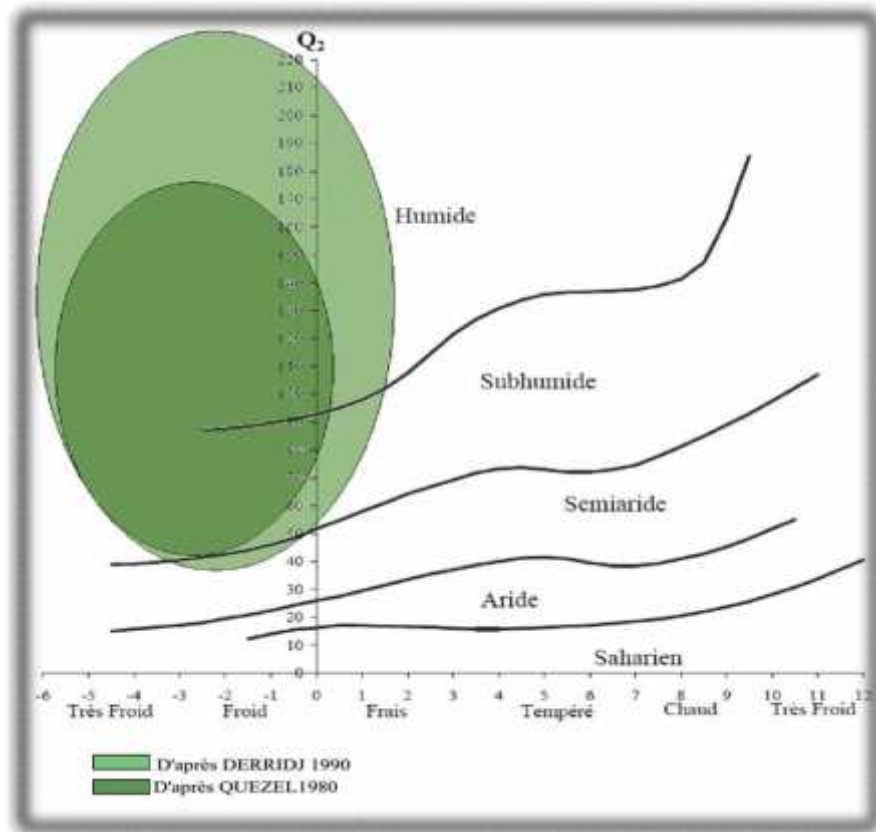


Figure 4 : Aire de répartition du Cèdre de l'Atlas en Algérie sur le climagramme d'Emberger

V.3.1 Les températures

La température est une qualité de l'atmosphère et non une grandeur physique mesurable au sens stricte du terme (Péguy, 1970). C'est un facteur très important qui contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne la répartition des végétaux sur la surface du globe.

Le cèdre résiste à des extrêmes de températures pouvant aller de -20 °C à $+39\text{ °C}$. Il peut également résister à de très basses températures (-25 °C) (Nedjahi, 1988 ; Boudy, 1950 ; Gaussen, 1967). Dans les Aurès, le cèdre se trouve dans les endroits où la température varie entre 8 °C et 10 °C . Il est différent de celui du Maroc qui se localise dans les endroits où la température est entre 10 °C et 12 °C (Gaussen, 1964).

V.3.2 Les précipitations

C'est un facteur climatique qui a un rôle important pour la survie du cèdre, elles varient d'une station à une autre. Dans son aire naturelle, le cèdre reçoit des précipitations qui varient de 400 à 1500 mm. Dans l'Aurès, il ne reçoit qu'une tranche pluviométrique de 450 à 500 mm et ressent de l'influence desséchante du Sahara voisin (Boudy, 1950 ; M'herit, 1982 ; Toth, 1980). Alors que

dans les Monts des Babors et le Rif marocain, cette tranche est de l'ordre de 1400mm à 1500 mm (Toth, 1980). La station préférée du cèdre se situe dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver froid (850 mm à 1200 mm), où se localisent les trois-quarts des cédraies marocaines (Boudy, 1950).

V.3.3 Le substratum

D'une façon générale, les cédraies du circumméditerranéen sont localisées sur des substrats calcaires (Quezel, 1980). En outre, sur le plan géologique, le cèdre colonise des substrats très variés, schistes néocomiens, grès blancs, grès et quartzites, calcaires massifs, calcaires dolomitiques et dolomie, marno-calcaires et marnes (Nedjahi, 1994).

Abdessemed (1981) souligne que les 9/10^{ème} des cédraies Algériennes se trouvent sur des formations siliceuses et en bien moindre proportion sur des calcaires, du crétacé. Cela n'exclut pas son développement sur des basaltes, marnes, dolomies, calcaires, schistes, ou encore des grès (Boudy, 1950). Dans les Aurès, le cèdre de l'Atlas évolue sur des sols bruns rendzines. Les roches qui forment ces sols sont des grès blancs, dolomies, et marnes (Schoenberger, 1970 ; Abdessemed, 1981).

V.3.4 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. 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).

VI. La situation phytogéographique

Sur le plan phytogéographique, selon divers auteurs (Maire, 1926 ; Quezel et Santa, 1962 ; Barry et al., 1976), les formations de cèdre en Algérie sont placées dans deux domaines phytogéographiques distincts :

Le domaine Maghrébin méditerranéen, où elles sont présentes dans :

- Secteur kabyle et numidien (cédraies du Djurdjura et des Babors),
- Secteur algérois (cédraie de Chréa sur l'Atlas Blidéen),
- Secteur du Tell méridional (cédraies de Theniet El Had et de l'Ouarsenis).

Le domaine Maghrébin steppique :

- Secteur du sud-Constantinois qui abrite les cédraies des Aurès, du Belezma et les quelques lambeaux des monts du Hodna.

Malgré l'étendue très vaste de l'aire montagnarde algérienne, soumise à différents types de perturbations, la cédraie naturelle n'existe pas (ou plus) dans certains secteurs phytogéographiques potentiellement favorables à son développement.

VII. Associations du Cèdre de l'Atlas

Les espèces végétales associées au cèdre sont différentes selon les conditions écologiques, c'est à dire la pluviométrie, l'altitude et les conditions édaphiques. C'est ainsi qu'en zone semi- aride de l'Atlas moyen marocain et sur substrat basaltique et à 1900-2000 m d'altitude et en exposition Ouest, (Ezzahiri et al., 1994 in Halitim, 2006) ont relevé le groupement végétal suivant :

- *Cedrus atlantica*
- *Buplerum montanum*
- *Acer monspessulanum*
- *Rosa canina*

Alors qu'en sol calcaire compact à une altitude de 1800-1900 m, le groupement végétal devient :

- *Cedrus atlantica*
- *Quercus rotundifolia*
- *Paeonia corallina*

En Algérie, dans les Aurès le faciès est caractérisé par les espèces suivantes :

- *Cedrus atlantica*
- *Quercus ilex*.
- *Pinus halepensis*
- *Juniperus oxycedrus*
- *Juniperus thurifera*
- *Ampelodesma mauritanica*
- *Fraxinus xanthoxyoides*

Dans les Monts de Chr ea sur l'Atlas blidéen et dans les Babors le faciès plus humide est caractérisé par les espèces suivantes :

- *Cedrus atlantica*
- *Quercus ilex*
- Chêne zeen (*Quercus mirbeckii*)
- If (*Taxus baccata*)

VIII. Les ennemies du cèdre de l'Atlas

Les cédraies du bassin méditerranéen comme tous les conifères sont faces à l'attaque de nombreuses ennemies, phyllophages, xylophages, ou des maladies cryptogamiques.

VIII.1 Les insectes:

La tordeuse du cèdre (*Epinota cedria*), c'est un ravageur qui s'attaque aux trois espèces de cèdre, sur le pourtour méditerranéen (Mouna, 1983) (Figure 5D). Elle est reconnaissable par leur couleur jaune-brun, elle s'attaque en particulier l'arbre en entier, provoquant un dessèchement au niveau des bouquets d'aiguilles, avec des fils de soies sur les rameaux, notant que ces attaques sont très remarquables sur des sujets d'âge moyen (Mouna, 1983).

La chenille processionnaire du cèdre (*Taumatopea bonjeani*), Ravageur des aiguilles signalées pour la première fois dans les cédraies de haute altitude à Azrou (moyen Atlas) au Maroc en 1921. En Algérie, l'insecte a été découvert en 1982 dans la cédraie du Belezma. Depuis, sa présence a été confirmée à la suite d'investigations dans les cédraies (Gachi et al., 1986).

Le chalcidien seminivore (*Megastigmus pinsopinis*) est une Insecte parasite de la graine en particulier durant les années de faible production (Toth, 1978) (Figure 5A).

Puceron de cèdre (*Cedrobium loportei*) est un puceron caractérisé par la production du miellat, qui colle aux feuilles et g ne l'assimilation chlorophyllienne (Figure 5C).

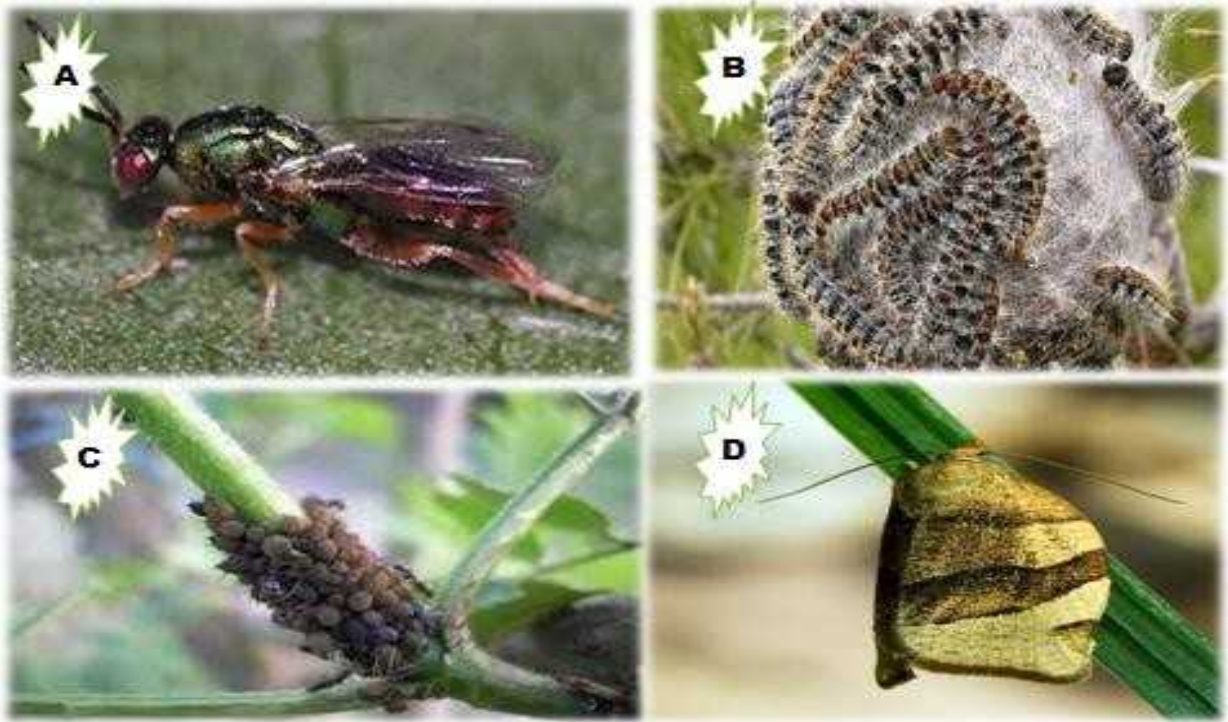


Figure 5 : Important ravageurs de la cèderais Algérienne : **A :** Le chalcidien seminivore (*Megastigmus pinsopinis*), **B :** La chenille processionnaire du cèdre (*Taumatopea bonjeani*), **C :** Puceron de cèdre (*Cedrobium loportei*), **D :** La tordeuse du cèdre (*Epinota cedria*).

VIII.2 Les Maladies Cryptogamiqu (Champignons)

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

-(*Polyporus officinalis*) : cause des altérations plus ou moins graves au cèdre (Boudy, 1952).

-(*Armillaria milla*) : ce champignon attaque surtout les racines et le tronc, il se développe surtout sur les arbres affaiblis par une cause quelconque (Malki, 1992).

VIII.3 Les Incendies

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) (Figure 6).



Figure 6 : incendie dans la cèderais de Djurdjura en 2018

VIII.4 Les Animau

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

VIII.5 L'homme

C'est l'homme qui par son action directe (coupes illicites, défrichements) ou indirecte (parcours) a contribué à la régression des formations végétales en général et de la cédraie en particulier, reste l'ennemi le plus dangereux du cèdre de l'Atlas (Abdessemed, 1981 ; El Yousfi, 1994) (Figure 7).



Figure 7 : Le phénomène de la coupe illicite du cèdre

XI . Rôle et importance des cédraies

Selon Toth (1980), le cèdre est une essence capable de remplir plusieurs rôles à la fois et ça malgré les conditions écologiques souvent difficiles et la surface restreinte qu'elle occupe.

- La qualité du bois du cèdre est supérieure à celle de tous les pins dans le méditerrané, Elle lui assure toutes sorte d'utilisation, fabrication de chalets de Montagne, menuiserie, charpente poteaux, placage intérieur, meubles rustiques les produits d'éclaircie peuvent être utilisés également en papeterie, mélanges en faible quantité avec pins (M'hirit, 2006). Il peut même fournir de la térébenthine (Becker et *al*, 1983).

- Il sert également à la fabrication des sarcophages et du cercueil de certains papes (De Vilmorin, 2003).

- Le cèdre de l'Atlas bénéficie d'une grande facilité de régénération naturelle dans les étages de chêne vert en Afrique du Nord et chêne pubescent en France, assurant ainsi la pérennité des peuplements et permettant des reboisements économiques par point d'appui (M'hirit et Benzzyane, 2006).

- Protection contre l'incendie, feuillage peut inflammable (Alexandrian et Gouiran, 1992 ; Aussenac et al., 1981), avec l'élimination de la végétation herbacée très inflammable (Toth, 1990).

- Maintient d'un équilibre biologique en protégeant et en améliorant le sol (Toth, 1990).

Toutes ces qualités d'adaptation a priori aux conditions climatiques, édaphiques de la zone méditerranéennes et justifie donc son utilisation importante en reboisement (Toth, 1990 ; Bariteau et Ferrandes, 1992).

La plupart des peuplements de cette espèce sont, à l'heure actuelle, gérés dans le cadre de parcs nationaux (Belezma, Djurdjura, Ouarsenis, Atlas Blidéen), 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).

Chapitre III :

REGENERATION NATURELLE DU CEDRE DE L'ATLAS



La plus petite graine produit souvent le plus grand arbre

Chapitre II :

REGENERATION NATURELLE DU CEDRE DE L'ATLAS



La plus petite graine produit souvent le plus grand arbre

I. La régénération naturelle du cèdre de l'Atlas

La régénération naturelle est un paramètre primordial dans le renouvellement d'un peuplement forestier.

I.1. La régénération dans les cédraies naturelles

Au Maroc comme en Algérie, le problème principal des cédraies après le dépérissement est le manque de régénération du cèdre. Au Maroc la régénération naturelle manque notamment sur les terrains calcaires superficiels que l'on rencontre souvent dans le moyen Atlas, alors qu'elle est plus facile dans le Rif vue l'abondance des précipitations d'une part et la localisation de ces cédraies sur des sols profonds gréseux ou siliceux d'autre part (Toth, 1980 ; Pujos, 1964). En Algérie, la plupart des cédraies sont localisées dans des conditions climatiques défavorables (Aurès). La régénération naturelle n'est pas toujours possible surtout après une succession d'années de sécheresse (Toth, 1980). Dans les Aurès, un cycle humide est indispensable pour la régénération naturelle du cèdre (Boudy, 1952).

I.2 Dans son aire d'introduction

Les cédraies méditerranéennes françaises ne posent pas les mêmes problèmes de régénération que celles des pays autochtones. Ceci est dû à une bonne coïncidence climatique avec la fructification, la dissémination des graines et l'installation des plantules (Toth, 1980).

II. Les étapes de la régénération naturelle

II.1 Cycle de reproduction

Le cycle de reproduction du cèdre de l'Atlas, depuis la production des graines jusqu'à leur dissémination, s'étale sur trois années (Till, 1985 cité par Rohe, 2007), mais il peut se prolonger jusqu'à quatre ans dans certaines conditions (Toth, 1984).

II.1.1 L'inflorescences

Les inflorescences mâle et femelle n'apparaissent pas en même temps. L'inflorescence mâle apparaît fin juin de l'année N (N : l'année de floraison) sous forme de bourgeon arrondi, vert tendre, de quelques millimètres au cœur d'une rosette d'aiguilles. Elle croît progressivement jusqu'à sa taille définitive (1 cm de diamètre et 2 à 5 cm de longueur) atteinte début septembre, en devenant jaune verdâtre. Elle arrive à la maturité mi-septembre, moment où elle s'ouvre pour confier au vent ses grains de pollen, puis sèche assez lentement pour tomber pendant l'automne ou l'hiver (Derridj, 1990 ; Toth, 2005 ; Rohe, 2007).

L'inflorescence femelle, n'apparaît que deux mois plus tard. Elle se développe rapidement et devient mature à la mi-septembre. Cette date peut varier en fonction des conditions climatiques (Derridj, 1990).

II.1.2 La floraison

Les fleurs du cèdre naissent en automne et le cône est mur à l'automne de la 3^{ème} année il s'ouvre alors 2 ans après la fécondation, mais les fruits n'arrivent à maturité qu'à l'automne de la seconde année (Figure 8) (Boudy, 1950).

II.1.3 La pollinisation et la fécondation

La pollinisation s'effectue entre le mois d'Août et septembre par les courants du vent. Les grains de pollen ayant atteint une fleur femelle sont progressivement canalisés vers un ovule et s'installent à l'intérieur du micropyle. Ils y passeront l'hiver bien protégés sans émettre de tube pollinique. La fécondation proprement dite aura lieu 08 mois après la pollinisation (Figure 8) (Toth, 2005).

II.2 Le cycle d'ensemencement

Ce cycle comprend les étapes suivantes : la désarticulation des cônes, la dissémination des graines, leur germination et l'installation des plantules (figure 8).

II.2.1 La désarticulation des cônes

La désarticulation naturelle des cônes n'a lieu qu'à partir de décembre et quelque fois plus tard en fonction des températures, une forte précipitation suivie d'une baisse de température nocturne (-2, -5 °C ou moins) et d'une élévation rapide de température diurne (10 à 15 °C ou plus) entraînent la désarticulation des cônes, et la dissémination des graines (Toth, 1980). Donc la désarticulation des cônes est provoquée par l'alternance gel-dégel (Figure 8).

II.2.2 La dissémination des graines

Les graines sont disséminées par le vent sur une distance de 20 à 50 m et réparties d'une façon homogène dans toutes les directions spatiales (Ezzahiri, 2000).

II.2.3 Germination des graines du cèdre

Selon Toth (1978), la germination désigne le passage de la vie latente des graines à la vie active réhydratée et ensuite au développement de l'embryon. Les phases essentielles de la germination que l'on peut énumérer chronologiquement sont les suivantes : imbibition par l'eau et oxygénation,

ouvertures des micropyles, apparition de la radicule, croissance de la radicule, développement et évolution de l'hypocotyle portant des cotylédons encore piégés par les téguments, déploiement des feuilles cotylédonaires (El Houssain, 1992).

Selon Nedjahi (1988), la germination des graines est conditionnée par leur maturité, une humidité modérée, l'oxygène et les températures basses. Lepoutre (1963) indique que si la température maximale journalière avoisine les 10 °C pendant 7 à 10 jours, la graine du cèdre ne peut pas germer.

Les graines du cèdre présentent des degrés de dormance variables en fonction des conditions climatiques (Ezzahiri, 2000). Selon (El Houssain, 1992), la dormance des graines du cèdre est de deux sortes :

-La dormance externe ou secondaire qui entraîne un repos imposé et une inhibition de la germination. Ce phénomène est caractérisé par un retour immédiat à la vie active dès que les conditions favorable son rétablies.

-La dormance interne ou primaire (endogène) est une dormance qui est inhérente à la graine et à ses composants et constitue par conséquent un phénomène plus complexe que le premier.

II.2.4 L'installation des plantules

L'installation des graines dépend essentiellement de la texture du sol. Sur les sols meubles, les graines s'installent plus facilement que sur les sols compacts, les racines pouvant pénétrer plus facilement en profondeur dans le sol et y puiser l'humidité nécessaire à leur maintien et à leur survie durant les grandes chaleurs estivales.

La survie des semis dépend aussi de la couverture végétale au niveau du sol ainsi que du degré d'humidité de l'air (Malki, 1992). Du point de vue édaphique, les cédraies s'installent sur divers types de substrats (Boudy, 1950 ; Quezel, 1976 ; Benabid, 1982 cité par Benabid, 1994).

La présence d'un tapis herbacé peut provoquer une concurrence vitale avec les jeunes semis. Cependant, l'absence de ce concurrent est favorable pour l'installation et le maintien des semis et donc pour une meilleure régénération du cèdre (Boudy, 1952).

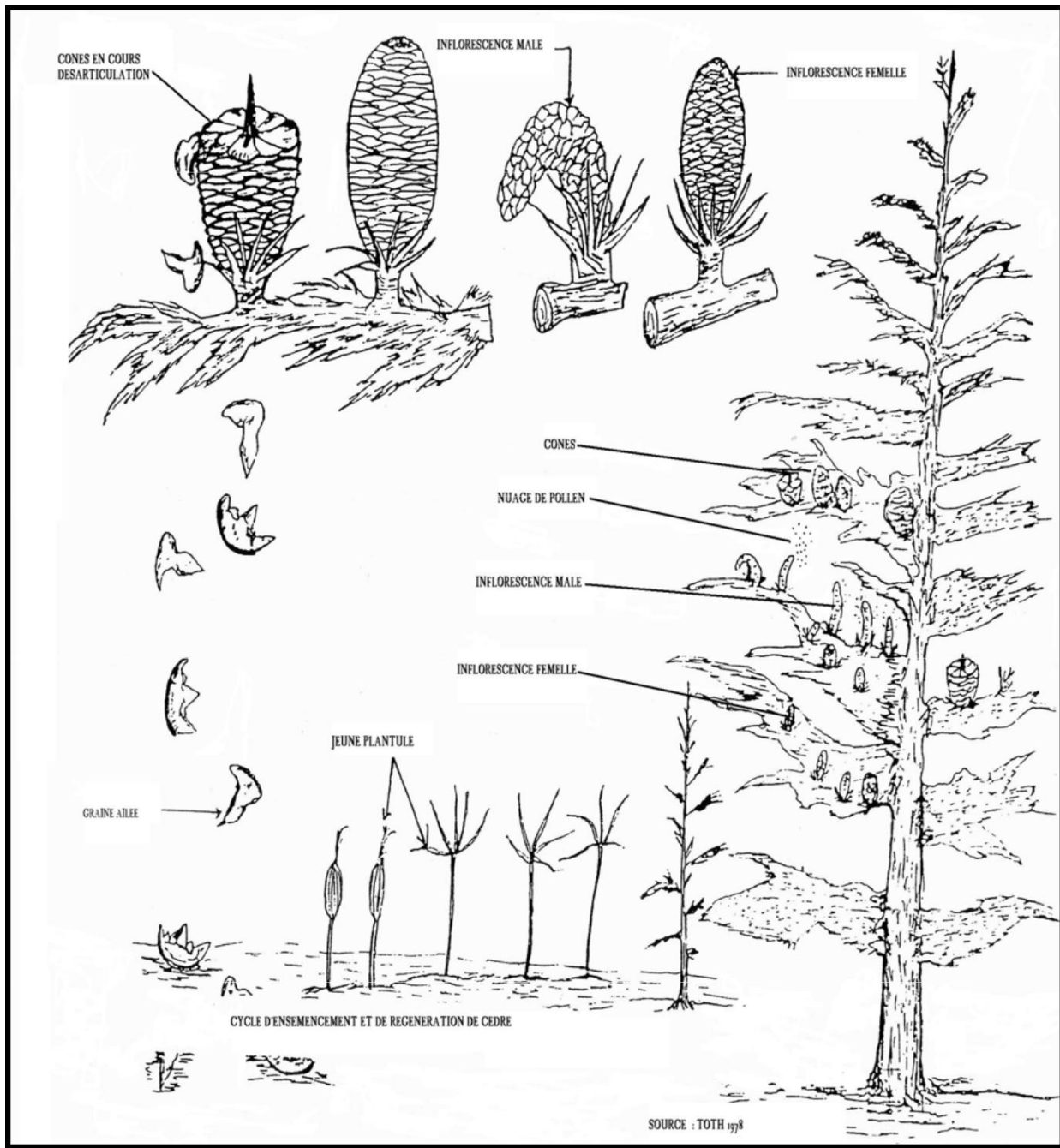


Figure 8 : Les étapes de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (Toth, 1978)

III. L'action de l'environnement sur la régénération naturelle du cèdre

III.1 Germination et humidité

La graine de cèdre germe et se développe lentement à température peu élevée si l'humidité persiste (Tableau 2). Il faut noter aussi que la graine du cèdre a un tégument membraneux et perméable et présente une extrême facilité d'hydratation. En quelque heures, elle peut absorber en eau 10 à 20 % de son propre poids (Toth, 1980).

Tableau 2 : Evolution de la germination en fonction du temps d'hydratation (Toth, 1980).

Durée en heures	Augmentation de la teneur en eau (%)	Poids (g)	Taux de germination (%)
0	0	6,64	0
3	13.2	7,52	0
72	28.2	8,51	15
192	35.5	9,00	40
326	57.4	10,45	62
456	64.2	10,90	70
504	73.9	11,55	75

On remarque cependant que le poids des grains évolue lentement et progressivement par rapport aux autres paramètres en fonction du temps.

III.2 Germination et neige

La neige est d'une importance capitale pour la réussite de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas. Par exemple, une couche neigeuse contribue dans la stabilisation thermique des couches superficielles du sol, litière y compris, ce qui conduit à une émergence des hyphes ectomycorhiziennes qui sont qualifiées de pionnières en termes d'infection de la graine juste avant sa germination (Figure 9), c'est ce qu'on appelle le "blindage naturel".



Figure 9 : l'effet de la neige sur la germination naturelle du cèdre de l'Atlas

III.3 Germination et substrat lithologique

La germination des graines et le développement des semis sont plus faciles sur certains substrats tels que les basaltes, les grés, les schistes (figure 10) et sur quelques faciès dolomitiques (dolomie sableuse du lias inférieurs) alors qu'ils sont capricieux sur roches mères calcaires et sur les argiles (M'hirit et Benzyane, 2006).

Selon Lepoutre (1964), les argiles de décalcification sont considérées comme des milieux impropres à la régénération naturelle du cèdre. Ces argiles ont un point de flétrissement très élevé qui ralentit énormément la germination de la graine et ne donne que des taux très faibles de germination.



Figure 10 : Développement des semis de cèdre sur un sol calcaire dans le massif de Chélia

III.4 Germination et feu

D'après Lepoutre (1963), l'action du feu sur la germination des graines est expliquée par la modification des conditions du sol par l'activation de l'humus et la réalisation d'une fumure minérale intense surtout en calcium et potassium.

III.5 Germination et conditions édaphiques

Bien que le cèdre soit indifférent à la nature physico-chimique du sol, le dynamisme de la régénération et le taux de la réussite sont fortement liés au type de sol (figure11), plus particulièrement à sa texture, à sa structure et à sa composition chimique et biologique : les sols à hautes teneur en calcium son favorables à la régénération ($Ca/Mg > 4$) alors que ceux a forte teneur en magnésium sont défavorables ($Ca/Mg < 4$) (M'hirit et Benzyane, 2006).



Figure 11 : Effet du travail du sol sur la régénération naturelle du cèdre de L'Atlas à Ouled Yagoub

III.6 Germination et température

De façon quantitative, la germination ne peut se produire que lorsque la température maximale journalière est d'environ 10 °C pendant au moins 9 à 10 jours. Les températures maximales plus élevées sont défavorable au début et à la fin de la saison de végétation car elles agissent négativement sur le bilan hydrique du milieu (M'hirit et Benzyane, 2006).

III.7 Le tapis herbacé et la survie des plantules

Il intervient par la concurrence du jeune semis dans le sol en diminuant les réserves hydriques des horizons supérieures, et dans l'air quand la strate herbacée est bien développée et vient étouffer la jeune plante du cèdre (El Houssain, 1992).

Les semis de 2 à 10 ans sont absents sous des recouvrements herbacés supérieurs à 75 % (M'hirit et Benzyane, 2006). L'influence du couvert végétal sur la régénération est importante. En cédraie basse, le chêne vert joue un rôle positif sur la réduction de l'évapotranspiration et la protection des jeunes semis. En haute altitude, le rôle du couvert végétal peut être nuisible, l'ombrage retarde la germination des graines. D'une manière générale, les recouvrements jusqu'à concurrence de 50 % sont presque toujours favorables à la régénération par opposition aux recouvrements extrêmes (Ezzahiri et Belghazi, 2000).

IV. L'action de l'homme sur la régénération naturelle de cèdre

L'homme peut compromettre directement ou indirectement la régénération du cèdre (germination et survie des plantules). Il intervient par les coupes abusives, le défrichage, le feu et par son troupeau (El Houssain, 1992). Les écimages et les ébranchages pratiqués en période de disettes favorisent les attaques des parasites et perturbent le maillon du processus de régénération, particulièrement la fructification (M'hirit et Benzyane, 2006).

V. Régénération artificielle du cèdre de l'Atlas

Le problème de renouvellement de la cédraie a toujours été la préoccupation principale des forestiers. En effet, le problème de sa régénération domine toute la question du traitement du cèdre et sa résolution conditionnera par conséquent les méthodes d'aménagement à appliquer. Ainsi, la régénération artificielle est réservée aux sites où le renouvellement naturel est capricieux, surtout sur les dolomies calcaires, les calcaires lités et compactes et sur les dolomies à limons rouges.

V.1 Régénération artificielle par le reboisement

Le reboisement est défini comme une plantation sur un site donné un peuplement forestier répondant du mieux possible aux objectifs du reboiseur qui consiste à produire du bois ou à protéger le sol, la flore, la faune, et ou à créer un cadre pour le loisir et le tourisme. Les résultats recherchés sont la croissance rapide pour que les arbres remplissent au mieux leur fonction (figure 12), et se dégagent de la strate basse très vulnérable au feu ainsi la vigueur permanente pour que les arbres résistent mieux et longtemps aux aléas du climat et des ravageurs du feu (Anonyme, 1992).

V.2 Les étapes d'un reboisement

Planter des arbres avec succès, exige la réalisation soignée de huit activités sylvicoles (d'où sa complexité) qui, chacune, constitue un maillon de la chaîne (Dancause, 2004) (Figures 12 et 13).



Figure 12 : cèdres en godets forestiers conditionnés en cagettes avant le transport.

Ces maillons sont les suivants :

- La production de semences ou de boutures
- La production de plants
- La planification du projet de plantation
- La préparation du terrain
- Le transport des plants et leur entretien sur le site de plantation
- La mise en terre des plants
- Le suivi et l'entretien de la plantation (le dégagement)
- Les travaux d'éducation de la plantation (éclaircie(s))



Figure 13 : Préparation du terrain pour le reboisement des semis du cèdre

V.3 Les objectifs d'un reboisement Artificiels

Le but des boisements artificiels est d'installer sur les terrains dénudés une végétation ligneuse bien adaptée au climat (Figure14).

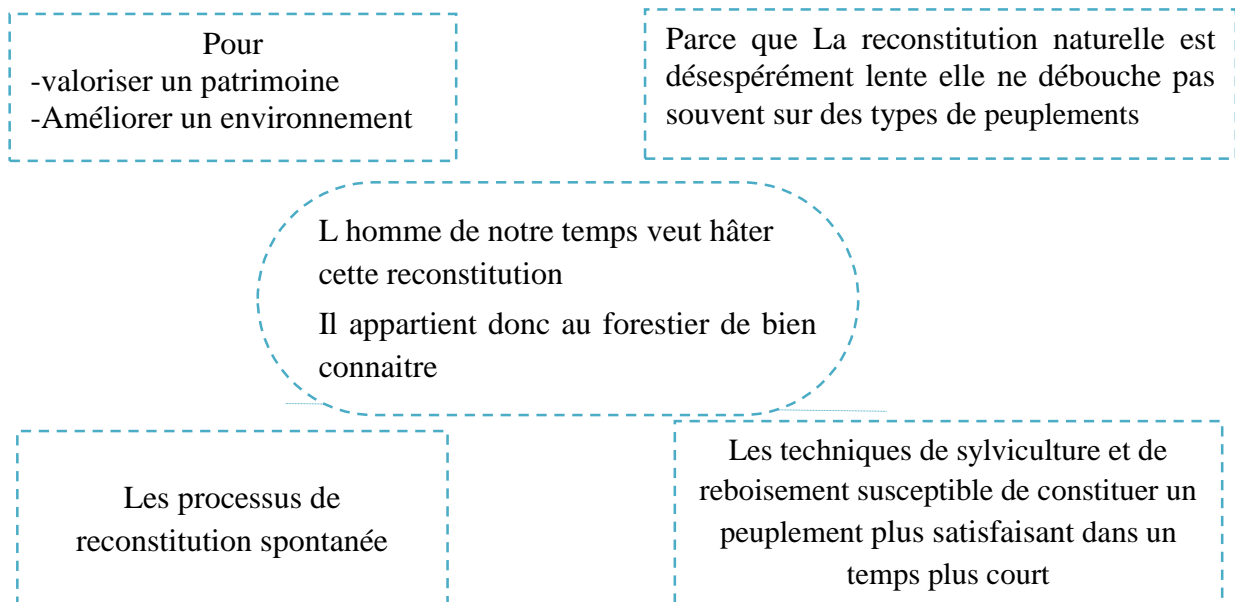


Figure 14 : Les objectifs du reboisement (Anonyme, 1992)

V.4 La régénération artificielle du cèdre en Algérie

Les reboisements en Algérie ont été réalisés dès l'indépendance, dans le cadre des chantiers populaire, les plans triennaux, quadriennaux et annuels. Depuis l'année2000, ils s'insèrent dans le

cadre de la mise en œuvre du plan national de reboisement examiné et adopté lors du conseil du gouvernement du 26 septembre 1999. Le plan national du reboisement, traduit les préoccupations forestières et écologiques du pays, il intègre autant que possible les dimensions écologiques, pour augmenter le taux de boisement de 11 à 13 %, et la création de 500 000 emplois (Bneder, 2010).

Le cèdre pourrait être introduit à l'état pur dans le reboisement. Toutefois, il serait utile de l'associer au chêne vert en altitude où les conditions climatiques sont sévères. Il est à protéger au moins durant les premières années car il est plutôt adapté aux conditions climatiques de la région méditerranéenne. Cette essence est conseillée dans les reboisements d'altitude et dans les stations exposées aux vents humides. Les cédraies plantées en moyenne altitude dans l'Atlas Blidéen (région d'Alger) auraient une production moyenne de 8 à 14 m³/ha/an (Bensaid, 1998).

VI. Les efforts fournis par l'Algérie en matière des reboisements forestiers

L'Algérie s'est lancée dans une vaste opération de reboisement qui a été marquée par plusieurs étapes :

- la période des **CPR** (chantiers populaires de reboisements) de 1962 à 1967.
- Le plan triennal 1967-1969.
- Le premier plan quadriennal 1970-1973
- Le deuxième plan quadriennal 1974-1977.
- La période 1978-1980
- Le premier plan quinquennal 1980-1984
- Le deuxième plan quinquennal 1985-1989
- Les réalisations des années 1990.
- Le plan national de reboisement (**PNR**) 1996.

Chaque plan a ses propres objectifs, mais qui se résument dans le but de la conservation et la reconstitution des sols. Sans oublier l'immense projet du barrage vert qui est une opération d'aménagement intégré de 3 millions d'hectares des régions steppiques à trois composantes Agro-Sylvo-Pastorale dont le but principal est le rétablissement de l'équilibre naturel de ces régions et la réduction des facteurs favorables à l'avancée du désert (**Anonyme, 1996**).

VI.1 Les reboisements en cèdre

Introduit dans plusieurs massifs forestiers d'Algérie en 1860, 1890, 1940 et 1960.

- ✓ Aujourd'hui, forte dynamique de la régénération naturelle avec succession de différents stades d'évolution de la futaie.

- ✓ Années 1970, plusieurs autres reboisements ont été réalisés.

- ✓ Résultats très satisfaisants : Taux de réussite (70 à 90 %), Hauteur moyenne (12 à 18 m), Diamètre moyen (18 à 45 cm), densités de plantation allant de 2500 à 3500 plants/ha. Au Col de Tirourda (PND Djurdjura), des densités allant jusqu'à 5500 plants/ha sont enregistrées.

Chapitre III :

Le Dépérissement du cèdre de l'Atlas

*



Dans un environnement qui change, il n'y a pas de plus grand risque que de rester immobile

Chapitre III :

Le Dépérissement du cèdre de l'Atlas

*

I. Explication du phénomène de dépérissement

Contrairement à la sénescence, le dépérissement est une régression qui survient avant que l'arbre ait eu le temps de compléter sa phase d'expansion, c'est-à-dire avant qu'ait en lieu l'établissement de ses unités minimales. En d'autres mots, les arbres engagés dans une phase de régression sont considérés comme dépérissant lorsque les structures mortes en périphérie de la cime n'ont pas atteint le stade d'unités minimales. Ce peut être une réaction à un manque d'accès aux ressources de son milieu ou à une maladie, un accident ou tout autre facteur externe qui l'affaiblit. L'arbre dépérissant n'a pas atteint le stade d'arbre sénescet et il est possible qu'un ajustement des conditions du milieu puisse encore l'aider à reprendre sa phase d'expansion. Par contre l'arbre sénescet est arrivé au terme de son développement et tout effort d'amélioration des conditions du milieu serait vain (Millet, 2012).

Au niveau des agressions de toute nature que subit la forêt, il est difficile d'isoler la part des accidents climatiques dans un environnement de plus en plus modifié par l'homme (Bastien et al, 2000). D'après Lévy et Becker (1987) et Sfea (2008), c'est surtout l'augmentation de la fréquence et de la durée des périodes sèches qui auraient un fort impact sur les arbres et la pullulation des parasites, ce qui provoquerait le changement radical de la répartition des végétaux d'où le dépérissement de la strate arborée.

II. Part du dépérissement dans la disparition des forêts

Le dépérissement ou déclin des forêts est une expression qui a marqué ces dernières années et donné l'alerte au monde forestier. Ce phénomène se traduit avant tout par une mortalité anormale des feuilles, bourgeons, brindilles et branches, et qui a pour conséquence la réduction de la vitalité et de la vigueur des arbres (Lemeignen et Micas, 2008 cité par Talbi 2010). Une fois persistant, il induit la mort isolée des arbres puis prend de l'ampleur par tâches et enfin massive ou généralisée des peuplements. Il en résulte une réduction progressive de la productivité ligneuse des forêts et de leur santé (Auclair et al., 1997).

III. Les facteurs du dépérissement

Le dépérissement 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, selon l'ordre chronologique, les facteurs du dépérissement peuvent être catégorisées en trois grandes classes exprimant les mécanismes et le fonctionnement du dépérissement (Figure 15).

III.1. Les facteurs prédisposant

Les facteurs de prédisposition sont des facteurs statiques agissant a long terme, qui rendre l'arbre sensibles a d'autres facteurs (Roy, 1998).

Selon (Moore,1999 cité par Talbi (2010), 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. Parmi les principaux facteurs qui prédisposent les arbres au processus d'altération sanitaire, nous citons les facteurs édaphiques, climatiques et sylvicoles mais aussi, le mauvais aménagement et l'acidification des sols.

La sécheresse traduite par une diminution de l'humidité de l'air et/ou du sol a un effet direct sur la déshydratation des cellules, qui reste réversible jusqu'à une teneur limite en eau. Au-delà de ce seuil, la cellule ne pourra plus se ré-imbiber et le dégât sera irréversible (Allen, 2009). D'après Finkelstein (1981), Ducrey (1994), le stress hydrique affecte en premier lieu la croissance, perturbe ensuite les échanges gazeux et modifie enfin le métabolisme biochimique et les propriétés spectrales des feuilles.

Il peut même induire des phénomènes de cavitation et d'embolisme dus à la rupture des colonnes d'eaux dans les vaisseaux. Ceci peut entrainer le dessèchement partiel ou total des arbres et arbustes, observé souvent au niveau des branches supérieures (Zine El Abidine, 2003).

Le stress chimique traduit par l'acidification des sols, le dépôt acide sec et humide, l'ozone et les micropolluants organiques (Garrec et al., 1989 ; 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 (Rice et Lewis 1988 cité par Talbi 2010), les arbres des hautes altitudes > 550 m sont plus exposés au dépérissement que ceux de basses altitudes < 500 m. Généralement en altitude, les sols sont superficiels et bénéficient de quantités d'eau moins importantes, alors que ceux situés en basses altitudes se profitent d'une réserve hydrique très importante (Thomas et al., 2002).

III.2. Les facteurs déclenchant

Les facteurs incitatifs se caractérisent par la courte durée de son action, contrairement a son effet ou stress qui est de forte intensité, dont l'intervention est indépendante de l'état de santé

de l'arbre (Anonyme, 2008). Ils regroupent des variables qui provoquent des stress de forte intensité mais qui agissent à court terme (Gagnon et al., 1994). Donc l'addition de ces facteurs avec les facteurs prédisposant entraînant le déclenchement du dépérissement (Roy, 1998).

Ce 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 cité par Talbi, 2010). Ce qui déclenche habituellement le dépérissement de l'arbre. L'auteur note que l'influence des facteurs déclenchant, combinée à celle des facteurs prédisposant, provoque une détérioration de la cime et du système racinaire (Moore, 1999 cité par Talbi, 2010). Ils sont essentiellement de nature abiotique comme la sécheresse et, biotique comme les attaques d'insectes défoliateurs en particulier (Auclair et al., 1997). Les facteurs biotiques comprenant aussi les ravageurs primaires (insectes, certains scolytes, pucerons, chenilles,...), et des pathogènes primaire (armillaire, collybie, ...), agents de maladies foliaire (Roy, 1998).

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.

III.3. Facteurs aggravants (ou contribuant)

Ce 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 (Moore, 1999 cité par Talbi, 2010).

L'installation de ces facteurs s'effectue spécialement sur les arbres affaiblis précédemment (Anonyme, 2008). Leur action est très nocive affectant la vigueur de l'arbre dont le résultat est souvent la mort de celui-ci, induisant des symptômes visibles et moins identifiables, considérés souvent d'être à l'origine du dépérissement (Tremblay, 1999), comme elles font partie de la chaîne trophique de décomposition (Roy, 1998) (Les champignons parasites, les pourridiés).

Le dépérissement est considéré comme un enchaînement d'événements défavorables, les facteurs qui prédisposent aux maladies entraînent lentement l'arbre vers les facteurs incitatifs

qui accentuent sa perte de vigueur (Figure15), à leur tour, d'autres facteurs contribuent à amener le végétal vers une mort certaine (Manion, 1981).

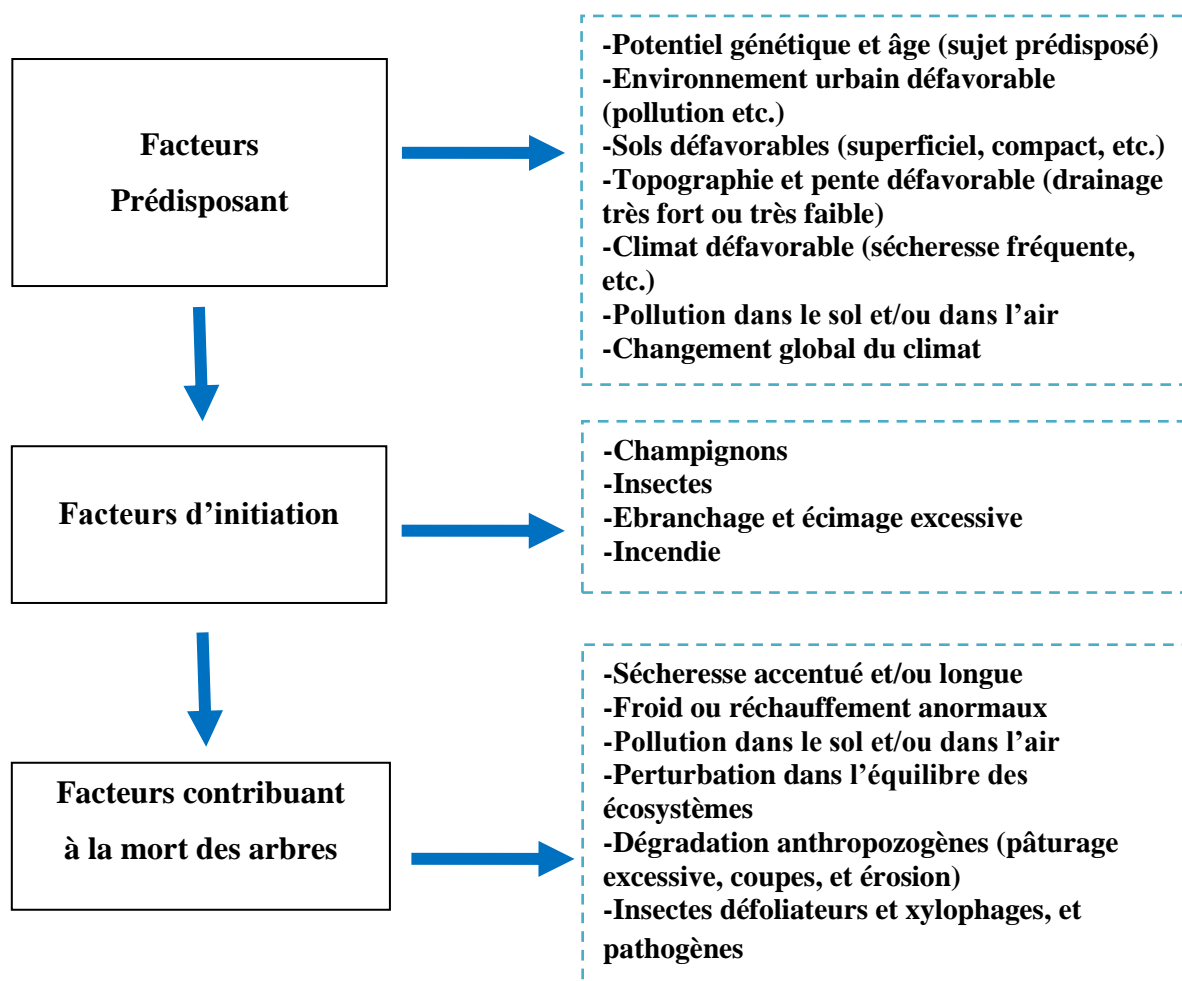


Figure 15 : Facteurs prédisposant, d'initiation et aggravants contribuant à la mort des arbres forestières (Zine El Abidine, 2003).

IV. Les symptômes du dépérissement

Les symptômes du dépérissement forestier sont multiples et variables avec l'espèce. De même, l'appréciation de l'intensité et de la date du commencement du dépérissement est difficile et subjective, donc aléatoire. Pour le Département de la Santé des Forêts françaises, un arbre est dépérissant quand son houppier perd plus de 50 % de ses ramifications par mortalité, chute ou réduction (Nageleisen, 2006 in Le Meign en et Micas, 2008).

Les arbres sont capables de réagir aux influences exercées par divers agents par des signes apparaissant sur leurs parties aériennes (Hartman et al, 1991); aiguilles qui roussissent puis

tombent l'année suivante, cime dénudées, coloration anormales, déficits foliaires, branches mortes ; sont les signes du dépérissement de la forêt méditerranéenne (Gazonneau, 2007). Selon Bonneau, (1986) cité par Adoui, 1991 ; Hartman, 1991), les symptômes concernent trois niveaux :

IV.1. Les symptômes sur le feuillage

La chute du feuillage qui donne souvent un aspect dégarni avec des touffes de feuilles, perte de fraîcheur ou de vigueur de l'arbre par effet de dessèchement (Flétrissement), éclaircissement, dénudement de rameaux, de parties ou de la totalité de la couronne. Décoloration jaunâtre et blanchâtre (chloroses), brunâtres.

IV.2. Les symptômes sur les bourgeons, les pousses et les rameaux

Chute et cassure de pousses, décoloration jaunâtre, et encore des anomalies de croissance, avec un avortement total des bourgeons Latéraux, déformation.

IV.3. Les symptômes sur les troncs et les branches

Chutes des branches, avec une décoloration. Des nécroses sur l'écorce. Ecoulement remarquable de mucilage, de gomme et même de 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* d'Allemagne.

V. Les causes du dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie

Le dépérissement du cèdre de l'Atlas a affecté la majorité des cédraies algériennes mais avec des degrés variables.

D'après Boudy (1950), 1500 ha de vieille futaie étaient déjà en régression sur le versant sud du Djurdjura et 500 ha sur le versant nord, en très mauvais état. Tandis que la cédraie de Theniet-El-Had, aux arbres de tout âge, en mélange avec le chêne vert et le chêne-zeen, était en bon état. Mais, actuellement, le déclin a pris une grande ampleur en touchant pratiquement tout le peuplement dans les Aurès et plus précisément dans la zone de Belezma (Bentouati, 2008).

Le feu exerce une action traumatisante sur la végétation et bloque le système physiologique, surtout lorsqu'il est répété et à la même saison (Chevron, 2005). La manifestation des incendies accentue l'effet destructif des forêts que ce soit flore ou faune (Abdessemed, 1981).

Plusieurs études et diverses observations a travers le monde, ont montré que le surpâturage était une cause majeure de la dégradation des forêts emmènent à la désertification (Faurel et Lafitte, 1949, Abdessemed, 1981) cette derrière est considérée comme une des causes principales du dépérissement (Bentouati et Bariteau, 2006).

VI. Le dépérissement du cèdre de l'Atlas à l'échelle mondiale

Le dépérissement des forêts généralement communiqué, a lieu près des marges géographiques ou altitudinales d'un type de forêt, ou une espèce forestière (Jump et al, 2006 cité par Allen, 2009). Il est détecté le plus récemment dans les régions semi-arides, où les arbres se trouvent sur des limites physiologiques de la sècheresse pour leur croissance (Allen, 2009).

Le tableau 03 illustre quelques exemples de dépérissement forestiers détectés dans monde.

Tableau 03 : Exemples de dépérissement d'arbre dans le monde (Allen et al., 2009).

Région/Pays	Type de forêt
<u>En Afrique</u>	
Algérie	<i>Cedrus atlantica</i>
Namibie	<i>Aloe dichtoma</i>
Sénégal	Espèce d'Acacia, Cordyla, Nauclea et Sterculia
Afrique du Sud	Espèces de <i>Dichrostachys</i> , <i>Pterocarpus</i> et <i>Strychnos</i> dans le nord-est
Ouganda	Espèces d' <i>Uvariopsis</i> <i>Celtis</i> dans la forêt tropicale humide
<u>Asie et Pacifique</u>	
Australie	Espèces d' <i>Eucalyptus</i> et <i>Corymbia</i> dans le nord-est
Chine	<i>Pinus tabulaeformia</i> dans les régions centrales et de l'est, <i>Pinus yunnanensis</i> dans le sud-ouest
Inde	Espèce d'Acacia, Terminalia et Emblica dans le nord-ouest
Malaisie	<i>Diptérocarpacées</i> dans les forêts tropicales humides de Bornéo
République de Corée	<i>Abies koreana</i>
Fédération de Russie	Espèce de <i>Picea</i> et <i>Pinus</i> dans les forêts tempérées et boréales de Sibérie
<u>Europe</u>	
France	Espèces d' <i>Abies</i> , <i>Fagus</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> et <i>Quercus</i>
Grèce	<i>Abies alba</i> dans le nord
Norvège	<i>Picea abies</i> dans le sud-est
Fédération de Russie	<i>Picea obovata</i> dans le nord-ouest
Espagne	Espèces de <i>Fagus</i> , <i>Pinus</i> et <i>Quercus</i>
Suisse	<i>Pinus sylvestris</i>
<u>Amérique latine et Caraïbes</u>	
Argentine	Espèces d' <i>Austrocedrus</i> et <i>Nothofagus</i> en Patagonie
Brésil	Forêt atlantique tropicale semi-décidue dans le sud-est
Costa Rica	Forêt tropicale humide
Panama	Forêt tropicale humide

Proche-Orient	
Turquie	Espèces de <i>Pinus</i> et <i>Quercus</i> dans la région centrale
Arabie saoudite	<i>Junipurus procera</i>
Amérique du Nord	
Canada	Espèce d' <i>Acer</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> et <i>Populus</i>
États-Unis	Espèces d' <i>Abies</i> , <i>Fraxinus</i> , <i>Junipurus</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Populus</i> , <i>Pseudotsuga</i> et <i>Quercus</i>

Des vastes gammes, soit de types de forêts ou de terre boisée autour du monde, qui ont subi le dépérissement partout dans le monde ; l'Europe (Ray, 1998), les forêts tempérées et boréales de l'Ouest de l'Amérique du Nord (Allen, 2009), et en Afrique (Anonyme, 2000).

VII. Le dépérissement du cèdre de l'atlas à l'échelle Nord-Africaine

Selon Boudy (1950), le dépérissement du cèdre n'est pas récent. Des écrits indiquent que la sécheresse exceptionnelle de 1875 à 1888 aurait occasionnée d'importants dégâts sur les peuplements de cèdre.

VII.1. Au Maroc

Selon Dirhem (2008), le dépérissement du cèdre au Maroc est un phénomène ancien. Il a été observé depuis les années 1940 et il s'est étendu et amplifié progressivement à partir du début des années 1990, avec consultation des symptômes massifs durant l'été 2001. L'auteur précise qu'aujourd'hui que 17 % de la superficie du cèdre inventorié est touchée par le phénomène (soit 12000 ha sur 70000 ha).

Benabid (1994) indique que plusieurs milliers d'hectares de cédraies au Maroc au Moyen Atlas central et oriental et haut Atlas oriental) comme en Algérie connaissent un dépérissement effroyable. Ce dépérissement massif des peuplements de cèdres morts sur pied s'observe sur de vastes étendues des forêts marocaines telles que Tamjilt, Berkine, Meghraoua, Mitkane, Agoudim, Tounfite et Tirrhist.

Les premiers symptômes du dépérissement massif sur le cèdre de L'Atlas ont été observés dans le Moyen Atlas (Ifrane et Azrou) en 2001, suite à l'action combinée d'une sécheresse répétée au cours des dernières décennies et de la pression exercée par les populations riveraines (Badraoui et Assali, 2007 ; Benabid, 1994).

VII.2. En Algérie

Le dépérissement du Cèdre n'est pas récent. Des écrits rapportés par Boudy (1950) (cité par Abdessemed, 1981) indiquent que des sécheresses exceptionnelles de 1875 à 1888 auraient,

déjà, occasionné d'importants dégâts sur les peuplements de Cèdres. Le dépérissement actuel touche l'ensemble des cédraies des Aurès, mais à des degrés différents. Les plus affectées sont celles du Belezma, soumises aux influences sahariennes, ainsi que les plus méridionales à Taghda et Djebel Lazreg situées en limite sud des Aurès.

VII.2.1. Dans le Belezma

Le dépérissement est massif en certains endroits tels que Djebel Boumerzoug et une partie de Tuggurt (Figure 16). Il correspond à des stations où le Cèdre est en mélange avec une forte proportion de Chêne vert. Ces stations sont souvent localisées sur des pentes assez fortes, essentiellement sur substrat marneux, et se caractérisent par un sol superficiel à litière peu épaisse. Dans ce milieu, des rejets de Chêne vert, associés à d'autres arbustes, présentent un léger dessèchement, mais sans gravité apparente (Bentouati et Bariteau, 2006).

Plusieurs auteurs Boudy (1950) ; Bentouati et Bariteau, (2006), Bentouati (2008) considèrent donc que la sécheresse est un facteur déclenchant la dégradation physiologique de la cédraie du Belezma prédisposée aux multiples facteurs comme l'action humaine par l'absence d'une gestion sylvicole rationnelle, le surpâturage, l'exploitation non contrôlée, les coupes illicites...

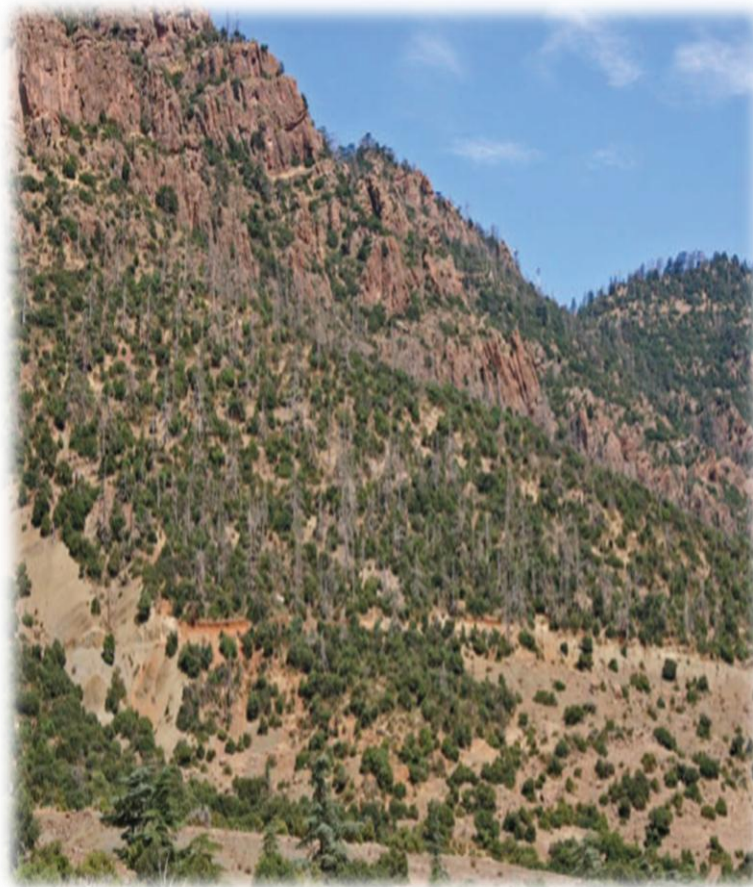


Figure 16 : Dépérissement massif du Cèdre de l'Atlas au Belezma

VII.2.2. Au monts Chélia et Ouled Yacoub

A Ouled Yacoub, le dessèchement est intense surtout dans les zones sud soumises aux influences sahariennes, par bouquets ou bandes entières de surface variable (Bentouati, 2008). Dans le même site et au Chélia. Halitim (2006) évoque également un dessèchement massif des peuplements sur des dizaines, voire des centaines d'hectares. Le dépérissement est moins spectaculaire, mais commence à devenir inquiétant. De quelques arbres isolés présentant un dessèchement de la cime, l'attaque est devenue plus importante, et ce sont des bouquets entiers de Cèdres qui commencent à dépérir. Le phénomène est plus accentué au niveau des lignes de crêtes et en exposition sud (Figure 17). Dans cette zone, le dépérissement apparaît tantôt en lambeaux discontinus le long du versant, tantôt par bouquets de vieux arbres (Bentouati et Bariteau, 2006).

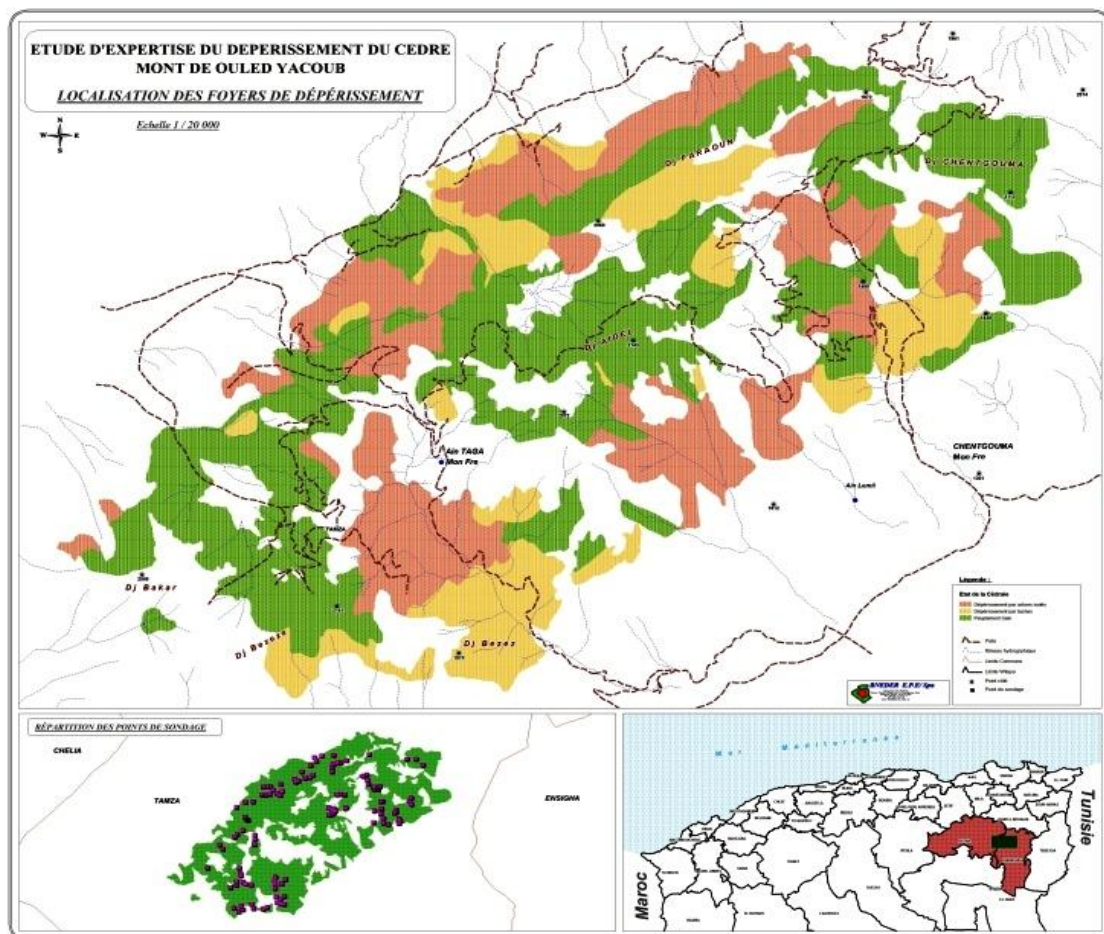


Figure 17 : Le foyer de dépérissement dans la forêt d'Ouled Yagoub

Sur les versants à basses altitudes, les aires en état de dépérissement moins important avec une superficie 1701,50 ha (50 % de la superficie totale).

Au Chélia comme à Ouled Yagoub, les symptômes de dessèchement des arbres sont localisés plus particulièrement au niveau des lignes de crêtes et en exposition sud soumis aux influences sahariennes. Dans cette localité, le dépérissement apparaît soit en lambeaux discontinus le long du versant, soit par bouquets composés surtout de vieux arbres, variant en nombre (Bentouati et Bariteau, 2006).

Les aires du dépérissement dans un état de dégradation très avancé (Figure 18) avec une superficie de 2275,31 ha, (92,15 % de la superficie totale).

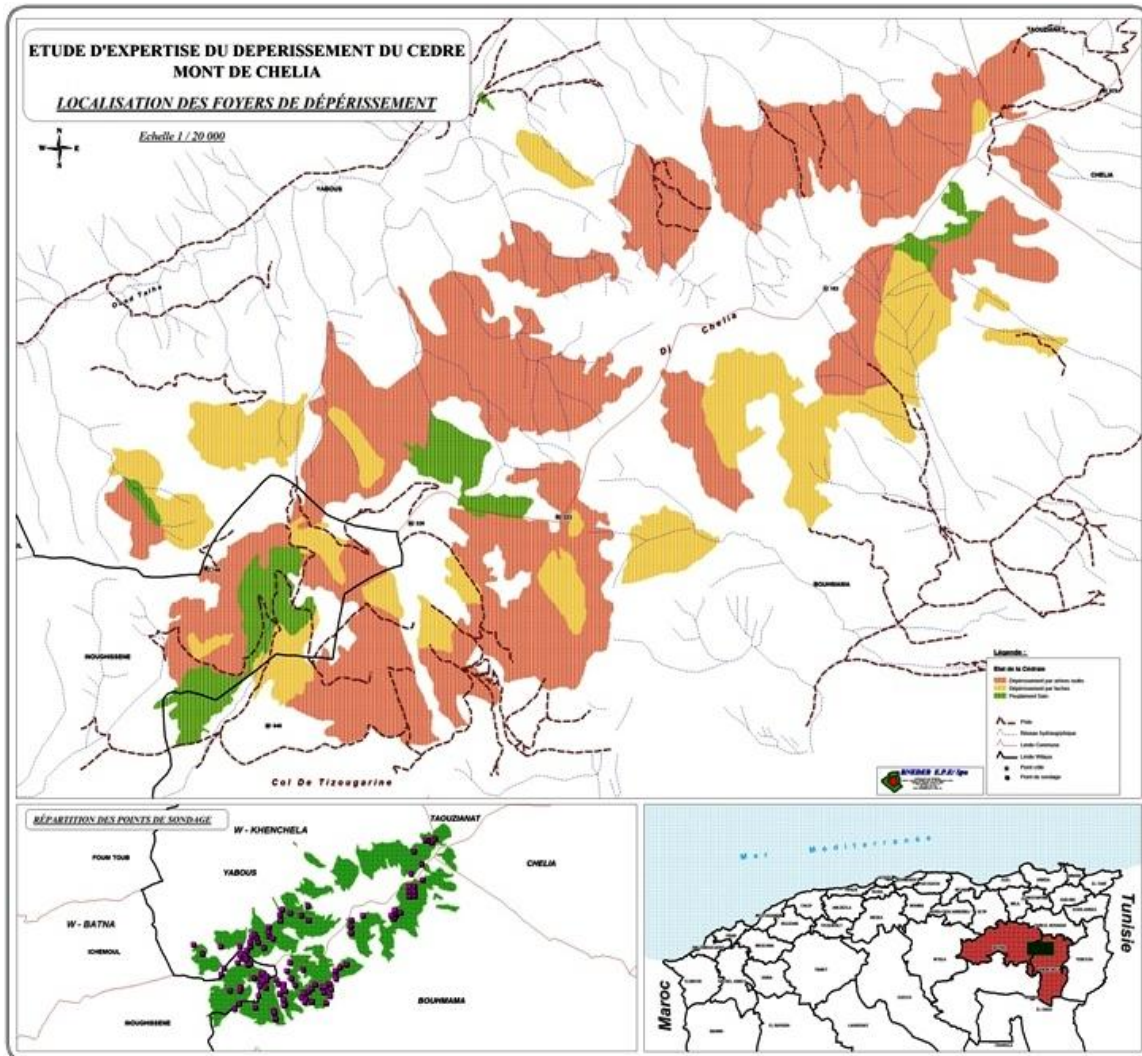


Figure 18 : le foyer de dépérissement dans les forêts de Chélia

VIII. Contrôle et suivi de dépérissement

Selon la conservation des forêts de khenchela 2019, Les gestionnaires forestiers doivent donc disposé d'un protocole de suivi régulier de l'évolution du dépérissement de ces cédraies dont les objectifs sont :

- Dresser un bilan périodique de la variation spatiale et temporelle du dépérissement,
- Contribuer à une meilleure compréhension des rapports entre l'état des écosystèmes forestiers et les facteurs d'agression, par le biais de placettes permanentes,
- Réunir des informations sur le fonctionnement des écosystèmes de cèdre et fournir des informations pertinentes aux gestionnaires.

IX. Complexité de l'étude du dépérissement forestier

Pour Lanier (1976), l'étude des dépérissements forestiers présente de grandes difficultés en raison de la complexité des trois domaines dans lesquels ils se manifestent à savoir le sol, l'atmosphère et l'environnement biologique des arbres touchés.

Plusieurs auteurs s'accordent à qualifier de complexe, le phénomène du dépérissement et ceci en raison de plusieurs faits. Chaque cas de dépérissement est induit généralement par un ensemble de facteurs agissant simultanément, ou les uns après les autres dans le processus de détérioration des arbres (Manion, 1981 cité par Ciela, 1993). De ce fait, il devient très difficile de déterminer l'ordre d'intervention de chacun des éléments mis en cause, et la tâche est encore plus ardue s'il s'agit de définir la part de responsabilité de chacun d'eux dans le processus (Lanier et al, 1976). Dans bien des cas, les agents contributifs sont jugés responsables du phénomène alors qu'ils ne sont que des intervenants secondaires.

Pour les scientifiques de l'INRA, il existe plusieurs types de dépérissement. Selon d'autres auteurs, le dépérissement forestier ne serait qu'une similitude dans les manifestations de plusieurs maladies pourtant bien distinctes (Gartner, 1987).

X. Conclusion

La dégradation des cédraies algériennes est la résultante de plusieurs facteurs différents, dont les symptômes sont multiples et variables avec l'espèce.

Il ne faudrait pas se focaliser uniquement sur ce facteur bien qu'il soit prépondérant. L'absence de vision à moyen et long termes, marquée par un déficit en matière de plan et de modèles de gestion durable de ces cédraies, constitue un indicateur aussi fondamental.

CHAPITRE IV

LA

CHLOROPHYLLE



*Toute théorie grise, mais vert florissant c'est
l'arbre de la vie.*

I. La chlorophylle

Au début du XXe siècle, commencèrent les travaux qui en révélèrent la structure et permirent d'en réaliser la synthèse en laboratoire. Ces composés organiques liés au magnésium sont engagés dans différents complexes lipoprotéiques membranaires des chloroplastes des cellules végétales, les Bactéries phototrophes possèdent également des chlorophylles spécifiques (bactériochlorophylles). Ces pigments réalisent les premières étapes de la photosynthèse, c'est-à-dire les étapes photochimiques. Après absorption de photons, les molécules de chlorophylle sont excitées, avec transition électronique, certains de leurs électrons étant expulsés de leur orbite. Les états excités, de courte durée de vie, peuvent donner lieu à une perte d'électrons énergisés, origine d'un transfert oxydo-réducteur. Plusieurs états moléculaires de la chlorophylle assurent ainsi d'une part la collecte énergétique de photons et d'autre part la réduction de transporteurs d'électrons (Lehninger, 2008).

Les chlorophylles sont les pigments photosynthétiques les plus dominants chez les plantes vertes ; l'évaluation de leurs concentrations dans le système foliaire peut fournir une estimation du potentiel photosynthétique (Carter, 1998) et un aperçu sur le statu physiologique du végétal (Moran et al., 2000).

I.1. Importance de la chlorophylle

La chlorophylle est le pigment vert contenu dans les cellules des feuilles des végétaux. Très proche dans sa formule chimique de l'hémoglobine du sang humain, la chlorophylle joue un rôle capital dans l'écosystème de la planète : Elle capte les radiations lumineuses du soleil et les convertit en énergie chimique nécessaire au processus de la photosynthèse pour générer l'oxygène de l'air qu'on respire.

La chlorophylle représente un concentré d'énergie solaire et de phytonutriments. À la fois nourrissante et curative, elle est aussi un antioxydant puissant qui accroît la vitalité, augmente la résistance aux infections et protège les cellules. On la retrouve dans tous les végétaux à feuilles ainsi que dans les légumes verts. La chlorophylle est très sensible à la chaleur.

I.2. Les chlorophylles a et b

Chez les végétaux supérieurs il existe plusieurs deux types, essentiellement, la chlorophylle a et la chlorophylle b qui sont deux molécules quasi-identiques ne différant que par un seul radical, leur structures étant différentes, elles ont des longueurs d'onde d'absorbance maximales

distinctes : du violet (400 nm) au bleu (500 nm) pour la chlorophylle *b* est de l'orange (650 nm) au rouge (700 nm) pour la chlorophylle *a*. Ainsi, on peut déterminer le type de la chlorophylle auquel nous avons affaire par spectrométrie visible (Lehninger, 1989). La chlorophylle *b* se différencie de la chlorophylle *a* par la présence d'un groupe formyle à la place d'un groupe méthyle en position C7. Sa structure a été établie par corrélation chimique avec la chlorophylle (Folly, 2000).

La chlorophylle *a*, la plus répandue, est présente dans tous les organismes capables d'effectuer la photosynthèse aérobie.

I.3. Spectre d'absorption de la chlorophylle

La chlorophylle absorbe les photons dans une gamme étroite d'énergie (Figures 19 et 20). La chlorophylle *a* et *b* absorbent essentiellement les lumières bleu-violet et rouge. Ni l'une ni l'autre n'absorbe des photons correspondant aux longueurs d'onde situées entre 500 et 600 nm, et le rayonnement de ces longueurs d'onde sont donc réfléchis par les plantes lorsqu'ils sont ensuite absorbés par les pigments de nos yeux, nous les percevons. La chlorophylle *a* est le seul pigment directement actif dans la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique (Raven et al., 2017).

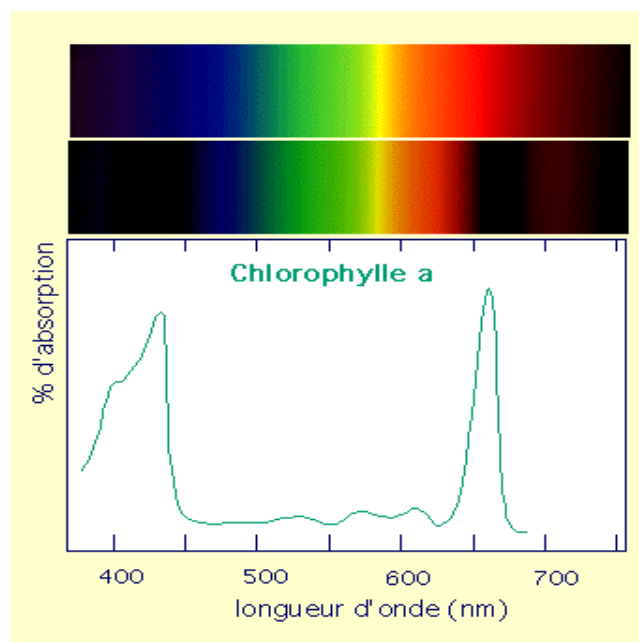


Figure 19 : Spectre d'absorption de la chlorophylle *a* (430 nm (bleu) et 660 nm rouge).

La chlorophylle *b* quant à elle, agit en tant que pigment accessoire, ou secondaire, elle est complémentaire de la chlorophylle *a*, son spectre d'absorption est décalé vers le vert et elle

absorbe donc des photons que la chlorophylle *a* n'absorbe pas, ce qui accroît considérablement la proportion de photons de la lumière solaire que les plantes sont capables de capter (Raven et al., 2017).

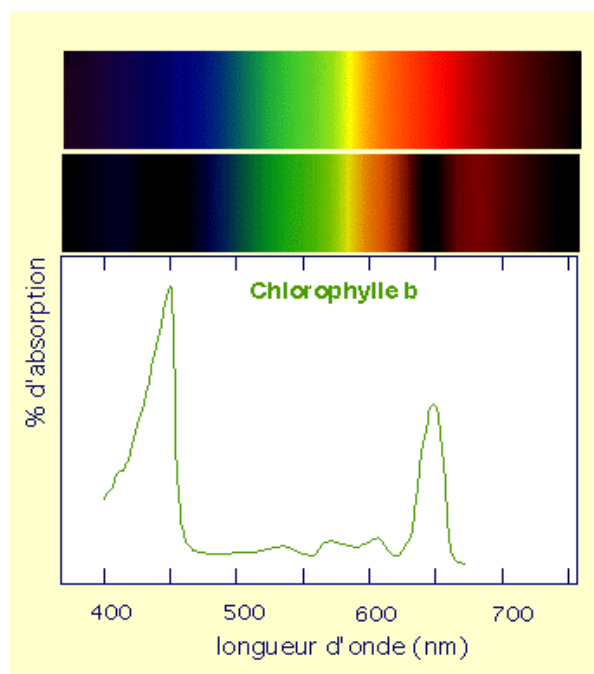


Figure 20 : Spectres d'absorption de la chlorophylle *b*

II. Structure et propriétés chimiques

La molécule de chlorophylle est constituée de deux moitiés (Figure 21), une tête formée d'une porphyrine et une longue queue d'hydrocarbure ou phytol. Elle comprend un ion magnésium (Mg^{2+}) formant un chélate avec les quatre atomes d'Azote au centre du cycle. Lorsque la chlorophylle perd son ion magnésium, il en résulte la formation d'un pigment qui n'est pas vert : la phyéophytine (Hopkins, 2003).

La structure de la chlorophylle s'adapte à sa fonction biologique ; le système à cinq noyaux intensément colorés, qui lui-même forme un plus grand anneau autour de l'atome Mg^{2+} , dote la molécule d'un pouvoir d'absorption de la lumière : Mg^{2+} provoque la formation d'agrégats de chlorophylle qui facilitent la capture de la lumière et la longue chaîne latérale hydrophobe non seulement ancre mais aussi oriente la molécule de chlorophylle dans la bicouche lipidique de la membrane (Lehninger, 1989).

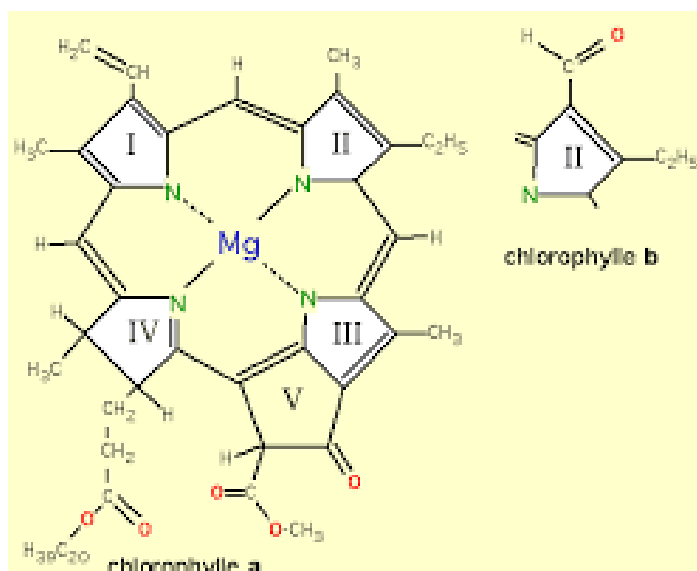


Figure 21 : Structures planes des molécules de chlorophylles *a* et *b*.

III. La pollution environnementale et la chlorophylle

La pollution environnementale a atteint, depuis plusieurs décennies, un stade de crise, qui exerce actuellement un impact important sur la santé des forêts et sur la production agricole. Les deux principales catégories de polluants auxquels les plantes sont confrontées sont les métaux lourds et les gaz toxiques formés dans l'atmosphère par des réactions photochimiques (Hopkins, 2003). Tous les polluants atmosphériques déposés et retenus par le système foliaire sont transformés à l'intérieur de la plante et affectent sa respiration et sa photosynthèse. Les dommages causés apparaissent sous forme de chloroses et de lésions nécrotiques au niveau des feuilles (Landis and Yu, 1995).

Les polluants gazeux comme SO_2 et NO_x , pénètrent dans les feuilles par l'ouverture des stomates et suivent la même voie que le CO_2 , par conséquent, les plantes sont plus sensibles à ces polluants pendant le jour, lorsque les conditions sont réunies pour provoquer l'ouverture des stomates. Les premiers sites endommagés par le SO_2 sont les chloroplastes. Des faibles concentrations n'atteignant que $0,035\mu\text{l.l}^{-1}$ d'air provoquent des ruptures des membranes chloroplastiques. Des concentrations plus élevées endommagent le plasmalemme et les autres membranes, inhibent les enzymes dont la RubisCo et la PEP carboxylase et perturbe le métabolisme. La rupture des membranes chloroplastiques et la destruction de la chlorophylle engendrent des lésions dont les symptômes visibles sont la décoloration et la nécrose des bords des feuilles et des régions comprises entre les nervures (Hopkins, 2003).

Chapitre V :

PRESENTARION DE LA ZONE D'ETUDE



Le Cèdre de l'Atlas, la Mémoire du temps

CHAPITRE V
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

PRESENTATION DE LA ZONE
D'ETUDE



Le Cèdre de l'Atlas, la Mémoire du temps

I. Localisation géographique et administrative de la Wilaya de Khenchela

La zone concernée par ce travail se situe dans la wilaya de Khenchela. Wilaya située dans le Nord-est de l'Algérie, dont la structure physique est très hétérogène et se caractérise par trois régions naturelles distinctes :

- Les Hautes plaines au Nord, couvrent 15 % du territoire. C'est une région de plaines à fortes potentialités hydriques offrant de grandes possibilités pour le développement agricole.
- La Zone montagneuse, occupant les parties centrale et ouest de la wilaya avec 36 % du territoire, tels que les massifs des Aurès et les monts des Nememcha.
- Les parcours steppiques et sahariens : qui couvrent la moitié sud de la wilaya avec 49 % de la superficie totale, région à vocation pastorale.

Délimitée au nord, par la wilaya d'Oum El Bouaghi ; au sud par la wilaya d'El Oued, à l'ouest par les wilayates de Batna et de Biskra, et à l'est par la wilaya de Tébessa.

II. Description générale et localisation de la zone d'étude

La zone concernée par l'actuel travail se situe sur les hauts plateaux de l'Est Algérien et appartient au grand ensemble des massifs des Aurès ; faisant partie des forêts domaniales d'Ouled Yagoub (Massif Ouled Yagoub) et Béni Oudjana (Massif du Chélia) qui constituent un important patrimoine naturel (figure 19).

II.1 Cédraie d'Ouled Yagoub

Cette série est formée par une chaîne montagneuse orientée sud-est, nord-ouest. Elle est constituée par une série de plis parallèles à la fois entre eux et par rapport à la série Chélia. D'une superficie d'environ 3 000 ha (Figure 19) (GTZ, 1982). La cédraie d'Ouled Yagoub est située à l'extrémité Nord-est du massif des Aurès, dans sa partie orientale, sur les dernières chaînes qui viennent mourir au pied de la ville de Khenchela, formant un triangle isocèle dont la base, orientée au Sud-est limitée par les dépressions d'Outa Elmroudj. Limitée au nord par la route de Khenchela vers Kais et au sud-ouest par la vallée de Oued Mellagou, en contournant par le sud-est le massif passant par Khenchela, Chentgouma, Ain guiguel et Ain mimoun.

La zone est localisée entre les coordonnées suivantes : 35° 18' et 35° 22' de latitude Nord et 06° 37' et 7° 05'' de longitude Est. Administrativement, la cédraie domaniale des Ouled Yagoub est gérée par la circonscription des forêts d'El-Hamma qui dépend de la conservation des forêts de la wilaya de Khenchela (BNF, 1983).

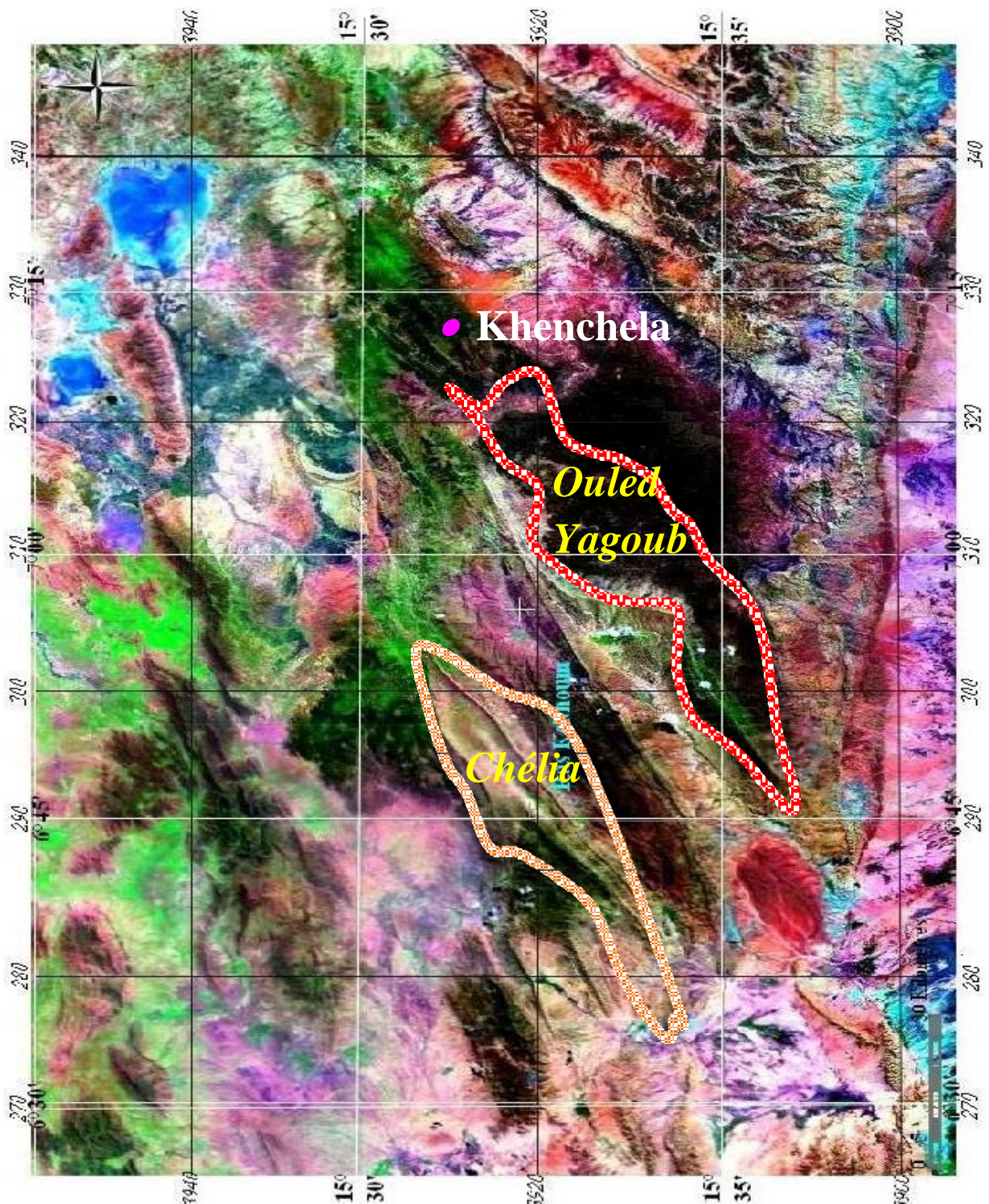


Figure 22 : Situation géographique de la zone d'étude, NASA World Wind
(Beghami, 2010 modifiée).

Le massif d'Ouled Yagoub englobe la plus grande partie de la cédraie (Figure 22) et totalise une superficie de 3415 ha soit environ 19 %. Les plus importants des peuplements de ce massif font partie de la série de Chentgouma, qui occupe 9 %, suivi par les séries de Tamza et Djebel Feraoun respectivement avec 5,81 et 3,97 %.

II.2 Cédraies du Mont Chélia

Il constitue le plus haut sommet de la chaîne montagneuse des Aurès, à la limite de la wilaya de Batna et de la Khenchela. Le Mont de Chélia culmine à 2 328 mètres d'altitude. Le mont Chélia est le deuxième plus haut sommet montagneux d'Algérie après le mont Tahat dans le Hoggar. La série Chélia est subdivisée en 38 parcelles s'étend sur une superficie de 8 831 ha. Le couvert forestier occupe la majeure partie du mont avec une superficie de l'ordre de 5 372 ha. La Cédraie compte environ 2632 ha contre 983 ha en chênaie et 757 ha en Pinède. Le reste de la superficie est représentée par des terrains de parcours et des enclaves (GTZ, 1982).

Le massif s'étend entre les latitudes : 35°23 '15 " Nord et 35° 17' 24 " Sud et les longitudes : 6° 33' 53" Ouest et 6° 45' 49" Est. Du point de vue limites géographiques, elle est encadrée au Nord par, la vallée d'Oued Talha ; au sud, Oued Asker et le massif de Béni Imloul et à l'est, par la vallée d'Oued Mellagou et les terres agricoles avoisinantes et à l'Ouest, par la dépression de Batna.

II.2.1 Le relief

La configuration spatiale de la cédraie de la cédraie d'Ouled Yagoub présente une topographie très marquée, faisant apparaître un aspect montagneux, particularisé par une succession de crêtes étroites et discontinues. Elle s'oriente dans la même direction SO-NE et est s'inscrit dans un rectangle de 13,5 Km de long et 6,5 Km de large, distant 17 Km de la cédraie de Chélia. Elle se prolonge au Nord au dessous de la route nationale (RN 29) reliant Khenchela-Kais-Touffena.

La cédraie de Chélia couronne le sommet du Djebel Chélia sur deux extensions :

L'une sur des aires très morcelées et extrêmement réduites, l'autre collée sur les versants d'un seul tenant. L'ensemble est découpé par une grande pelouse, s'étire le long de la crête entraînant un lieu de parcours privilégié sur lequel des troupeaux (chèvres, moutons,...) paissent paisiblement pendant la période estivale et printanière.

La cédraie du Chélia est d'une orientation Sud-ouest, Nord-est, elle s'élargit sur le sommet du Djebel Chélia sur 6,5 Km et s'étend sur 12 Km de long. Elle se réunit dans un espace de deux versants qui s'alignent d'une façon opposée (Nord-Sud). Cet espace s'étend sous la forme d'un anticlinal, auquel s'établit un relief fortement accidenté, dont les pentes dépassent 25 % de déclinaison et les altitudes varient entre 1200 m – 2300 m.

II.2.2 Géologie et Pédologie

Selon Faurel et Laffite (1949), dans la cédraie des Ouled Yagoub on rencontre des substrats géologiques variés mais principalement des grès calcaire, avec des calcaires, des grès siliceux, de la dolomie et quelques poches de marne et de schiste (Figure 23). Selon le BNEF (1983), les sols de la cédraie des Ouled Yagoub sont caractérisés par :

- Leur jeunesse relative.
- Leur faible épaisseur et le faible degré d'évolution.
- Un horizon A0 très mince dépassant rarement 04 cm.
- L'absence de lessivage.

L'absence d'un véritable horizon B bien développé qui peut s'expliquer par la localisation des sols sur de fortes pentes.

- Un humus de type mull calcique.
- Une texture limono-argilo-sableuse.
- Une charge caillouteuse élevée dans l'horizon C, et une roche mère généralement constituée de : grès blanc ou ferrugineux, de Marnes ou de calcaires plus ou moins fissurés et de dolomies ou de calcaires dolomitiques.

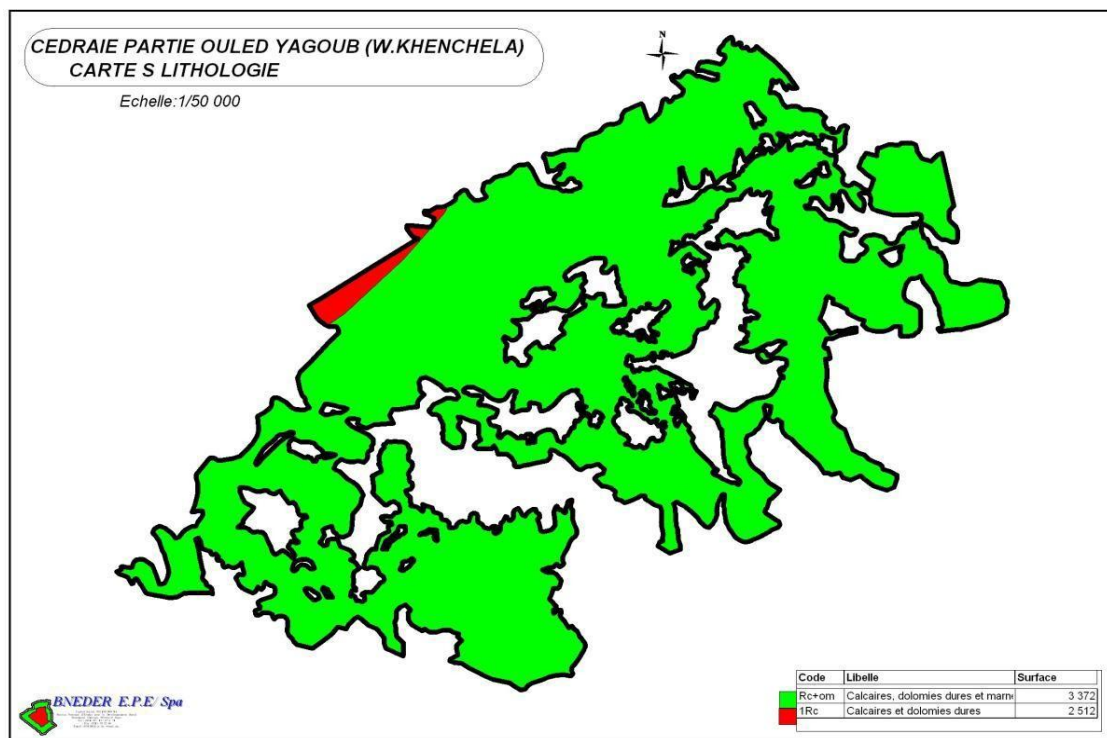


Figure 23 : Carte de lithologie d'Ouled Yagoub
(Conservation des Forêts de la Wilaya de Khenchela, 2010)

Selon Laffite, (1939) et Schonenberger, (1970), le mont de Chélia est formé géologiquement par des grès et dolomies entremêlés de calcaire dans des proportions différentes qui datent du Crétacé inférieur (Barrémien 300 à 400 m d'épaisseur), L'aptien (400 à 450 m d'épaisseur) et l'Albien.

Globalement 4 types de sols peuvent être distingués dans les deux séries :

- Sols bruns calcaires sur marnes ou des calcaires.
- Sols bruns peu calcaires sur des grés.
- Les rendzines sur calcaire plus au moins fissurés.
- Les rendzines sur dolomie (plus fréquents) (Abdessemed, 1981).

Le crétacé inférieur qui affleure largement dans cette zone, est illustré essentiellement par les sédimentations détritiques, siliceuses gréseuses. Les étages dont se développent ces roches sont Barrémien, Aptien, Albien. Dans l'ensemble, la lithologie des cédraies comme la démontre la carte est bâtit en général sur la formation de type calcaire et dolomie dur, notamment dans les cédraies du Chélia. Tandis que celle d'Ouled Yagoub, s'oppose nettement à la première. Le trait distinctif dans ce mont est limité à l'affleurement des marnes à coté des formations calcaires.

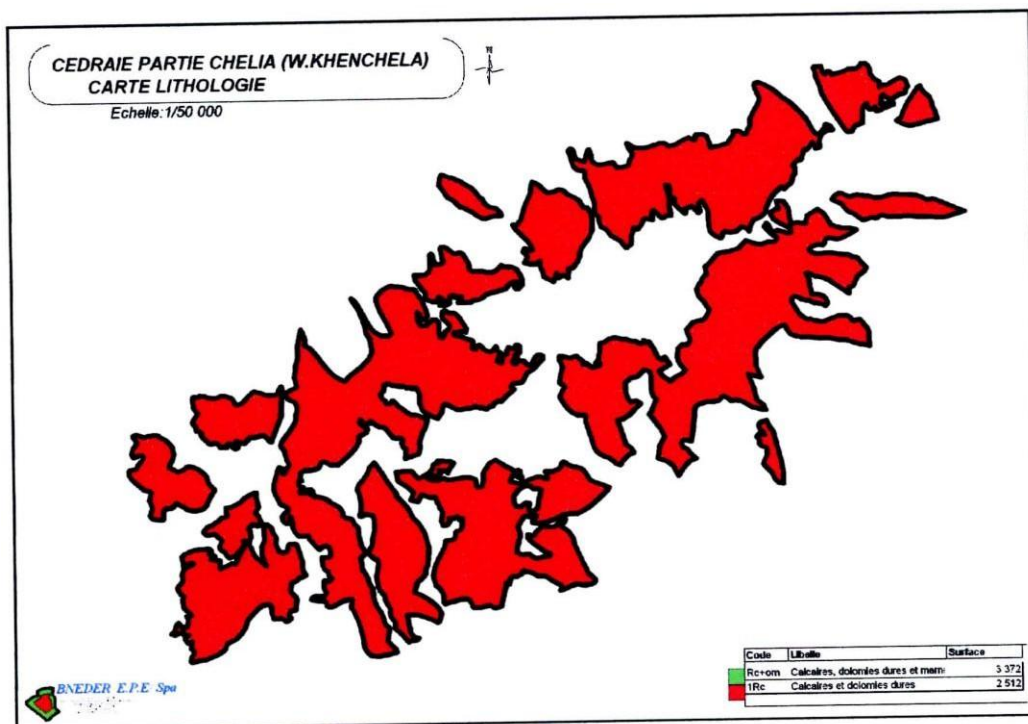


Figure 24 : Carte de lithologie de Chélia
 (Conservation des Forêts de la Wilaya de Khenchela, 2010)

II.2.3 Hydrologie

Les massifs d'Ouled Yagoub et Chélia sont entrecoupés d'Oueds de ruisseaux qui coulent de façon non permanente. Il existe aussi des sources qui coulent parfois jusqu'à la fin de l'été. Les quantités d'eau dépendent des précipitations pendant l'hiver et surtout de la neige qui fond lentement. Nous citons les principaux points d'eaux, Ain Taga, et Ain Guiguel pour la série Ouled Yagoub ; Oued Tidar Ain Asli pour le mont Chélia (GTZ, 1982 cité par Beghami, 2010). De nombreuses sources existent dans la zone de la cédraie des Ouled Yagoub, parmi ces sources on citera : Ain Ansal, Ain Houa (Chentgouma), Oued Zarif, Ain El-Emti, Ain Taga, Mizab et Ain Guiguel.

II.2.4 Occupation du sol

Au vu de la carte de l'occupation du sol (Figure 25 et 26) représentant les surfaces occupées par les différentes espèces, il apparaît clairement que la répartition de la couverture forestière observée dans les cédraies présente un paysage végétal spécifique largement dominées par des peuplements âgés, qui se développent dans un état pur ou mixte. Le caractère âgé des formations végétales est d'ailleurs interprété comme l'un des indices de la dégradation influant sur le milieu des cédraies.

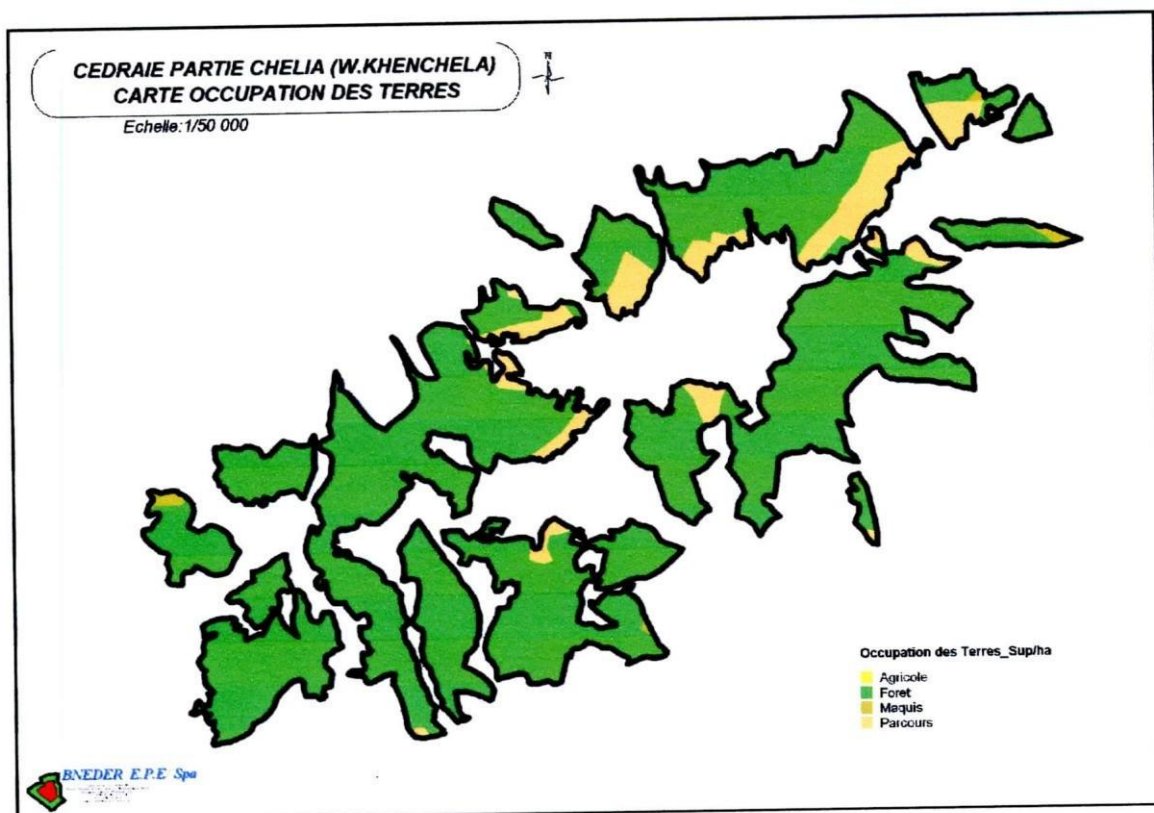


Figure 25 : Carte d'occupation des terres de la cédraie de Chélia.

Dans l'ensemble, les formations forestières de cet espace se singularisent par la présence beaucoup plus d'arbres et d'arbustes qui se développent dans deux domaines, où on distingue que la zone haute des massifs est couverte par des beaux peuplements purs du cèdre voire quelques enclaves de pelouses, en revanche, les bas versants se caractérisent par des associations en chêne vert et quelques espèces d'accompagnement. Ceci nous a permis de classer les espèces forestières rencontrées comme suit : Forêts, Maquis, Parcours, Terrains agricoles.

L'organisation de ces types de végétation nous a permis de constater, que la cédraie du Chélia et celle d'Ouled Yagoub ne reflète pas la même couverture forestière. Elles se différencient par l'adaptation de quelques formations de Pin d'Alep.

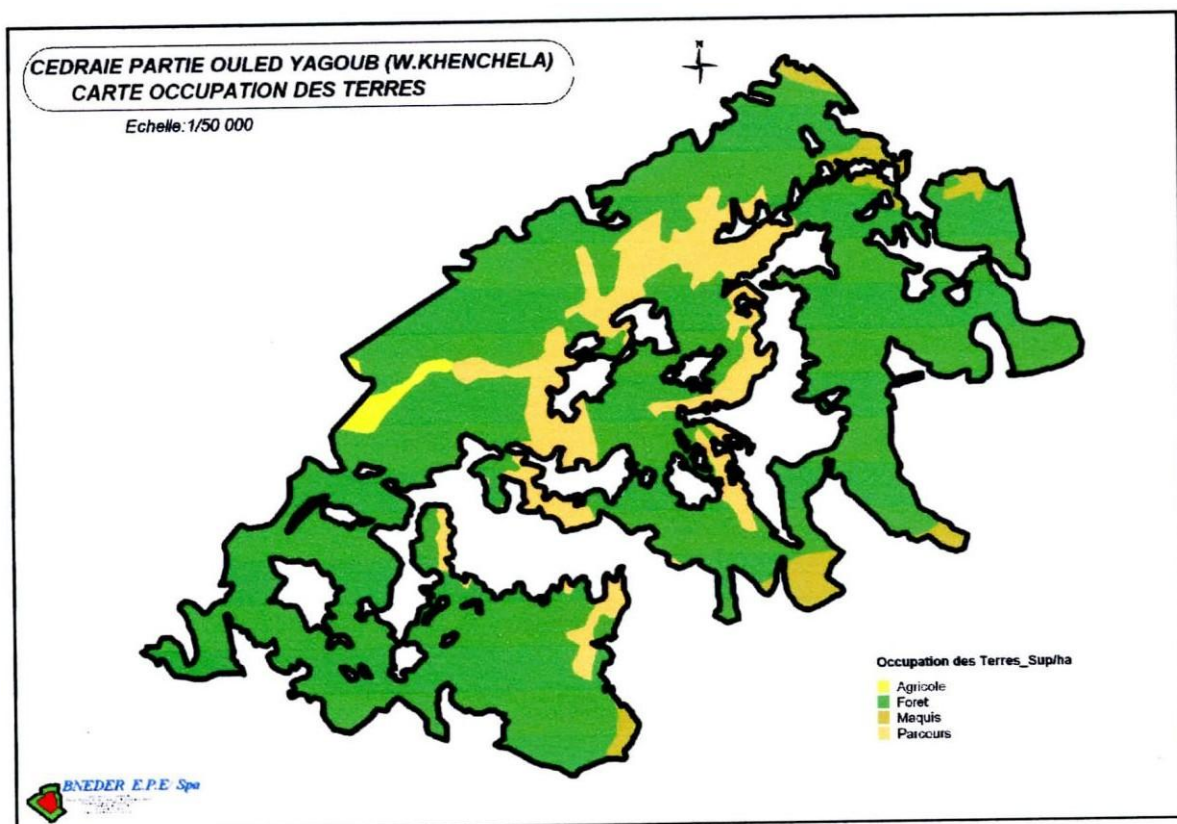


Figure 26 : Carte d'occupation des terres de la cédraie d'Ouled Yagoub.

II.2.5 Exposition

Comme observé pour les facteurs cités antérieurement, les cédraies en tant qu'illustration à petite échelle mettent en évidence le rôle de l'exposition dans la dynamique de ce peuplement forestier. Ce facteur à travers l'orientation des versants permet de comparer la répartition contrastée du cèdre entre les versants opposés.

Ces nuances nous les confirmons par les effets climatiques régnant la zone et qui laissent apparaître, que ces versants ne jouissent pas des mêmes bénéfices du climat méditerranéen, provoquant ainsi une opposition microclimatique entre un versant et un autre particulièrement en ce qui concerne les nuances des précipitations, des vents, du réchauffement, de l'enneigement et de l'ensoleillement qui constituent les principaux éléments entrant dans la détermination du rythme vital du cèdre.

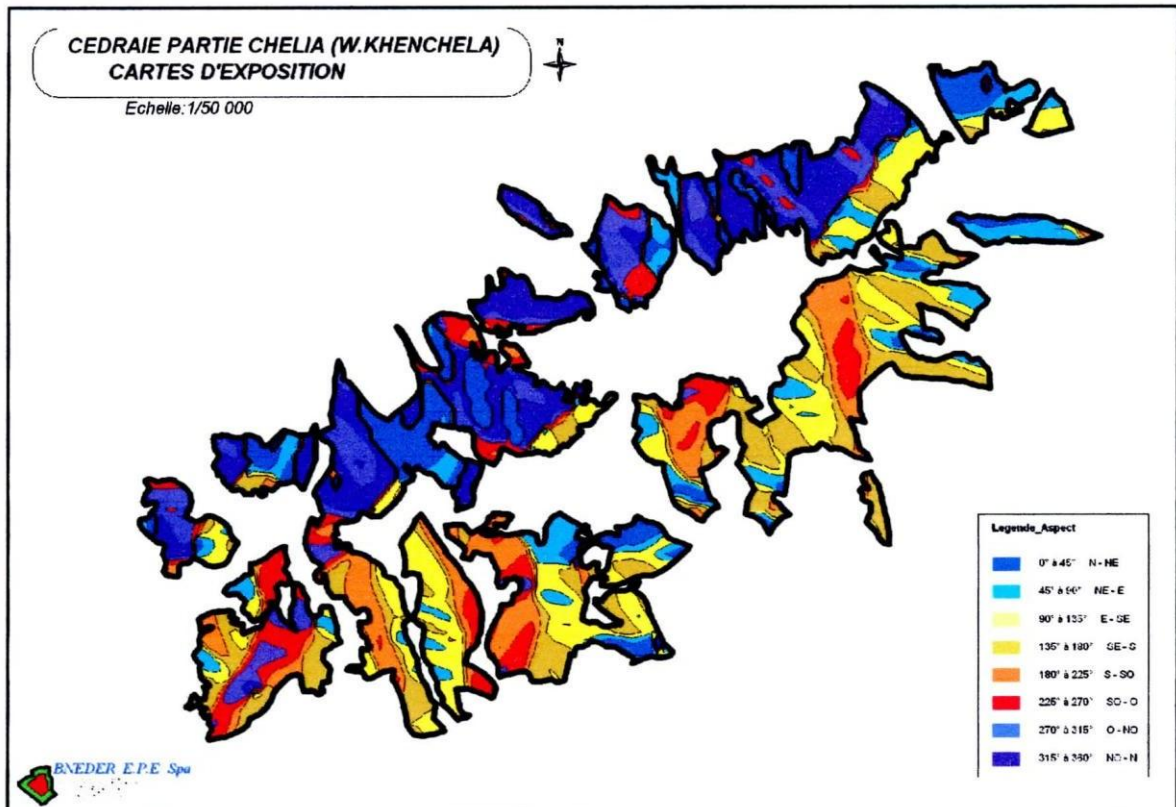


Figure 27 : Carte d'exposition cédraie d'Ouled Yagoub

En effet, dans l'étage montagnard que caractérise la zone d'étude en passant à l'altitude maximale 2326 m du mont de Chélia à 2173 m d'Ouled Yagoub et en descendant à une minimale 1200 m, on observe que huit types d'expositions délimitent grossièrement la zone d'étude (Figure 27 , 28). Il s'agit des expositions : Nord-Nord Est, Nord Est-Est, Est-Sud Est, Sud Est-Sud, Sud-Sud Ouest, Sud Ouest-Sud, Ouest-Nord Ouest et Nord Ouest-Nord (BNER, 2010).

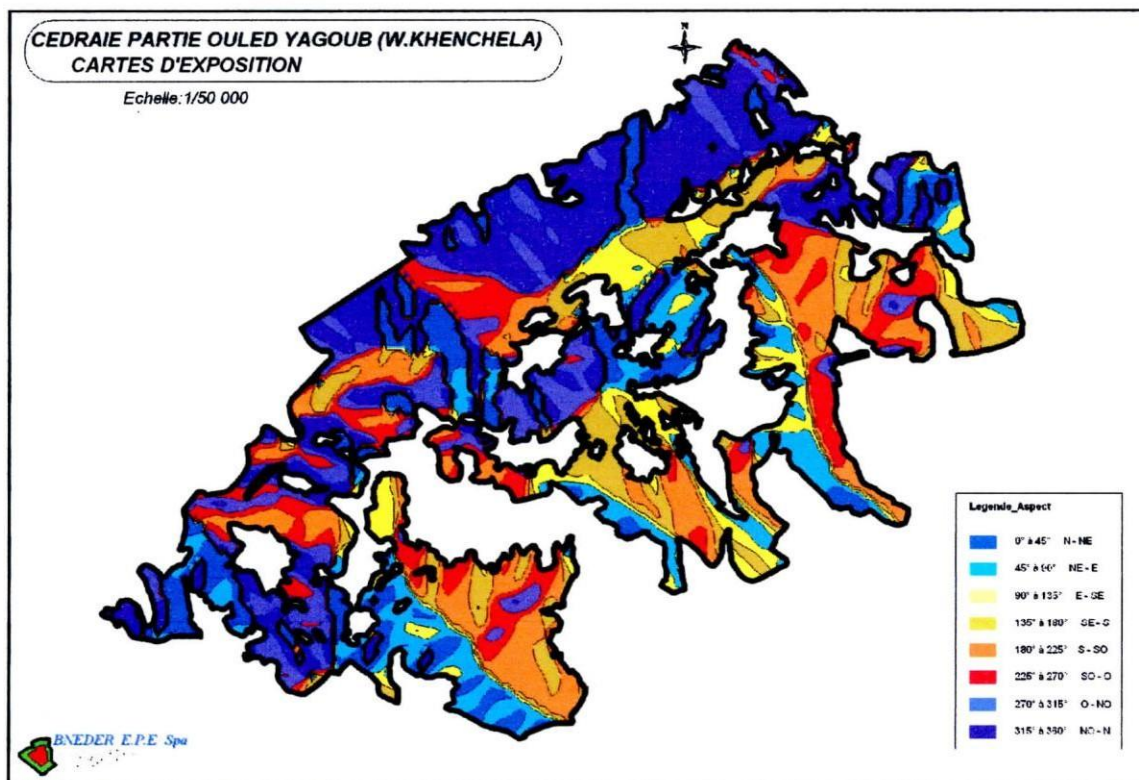


Figure 28 : Carte d'exposition de la cédraie de Chélia

Ce qui a fait des versants du Nord un lieu plus arrosé, bien exposé aux vents pluvieux et froid chargés d'une ambiance d'humidité, des extrêmes de températures affaiblies, une luminosité très diminuée et enneigement intense, créant de ce fait le milieu d'adaptation du cèdre qui se succède sur les bas versants par des associations végétales typiques tel que le chêne vert.

II.2.6 L'altitude

Comme les pentes interviennent dans la répartition du cèdre, les altitudes ont également leurs répercussions. Elles déterminent avec de nombreux facteurs tel le climat, l'étagement et le milieu d'adaptation du cèdre.

Le cèdre comme étant essence montagnarde, la configuration générale de chacune de ses parcelles délimitées par ses propres altitudes a permis de distinguer une nette adaptation de ce peuplement sur les fortes altitudes. D'après la carte d'altimétrie (Figures 29 et 30) qui a été établie aussi à l'échelle (1/50.000^{ème}) synthétisant les tranches altitudinales nous fait démontrer, que l'organisation naturelle du cèdre s'accroît au Nord dans une tranche altitudinale importante parallèlement à l'accroissement des précipitations (BNEDER, 2010).

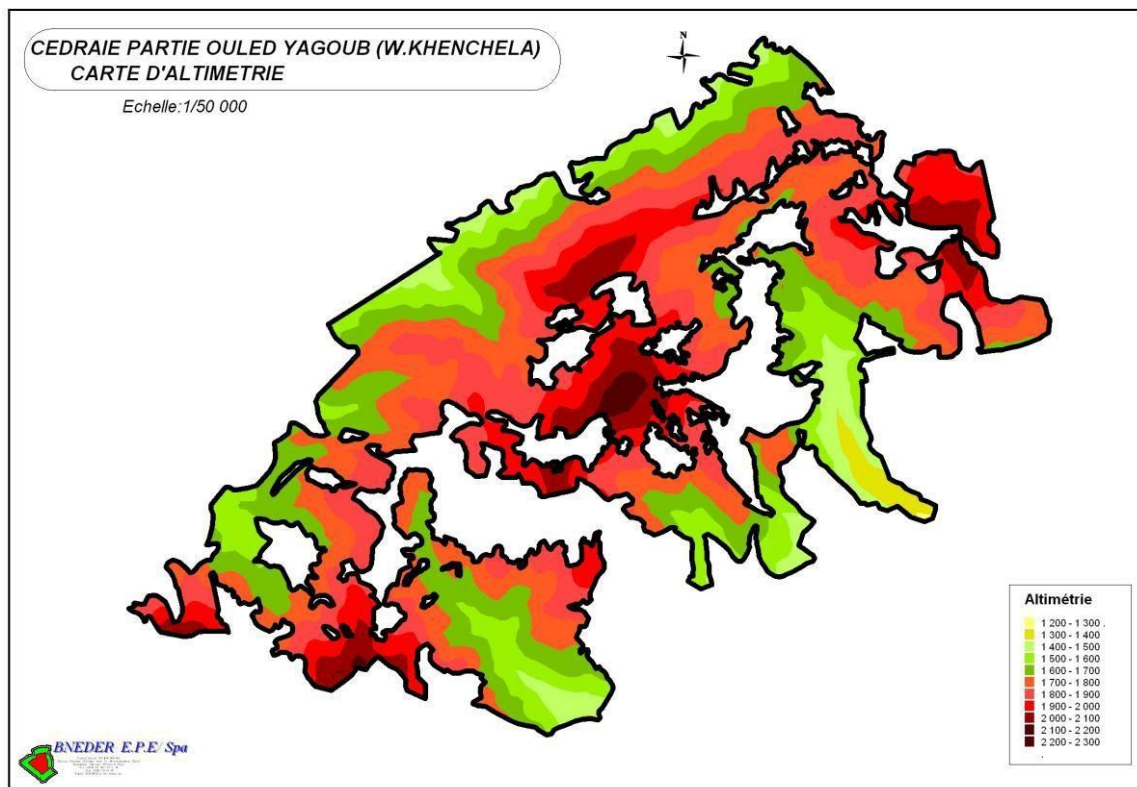


Figure 29 : Carte d'altimétrie de la Cédraie d'Ouled Yagoub (Conservation des Forêts de la Wilaya de Khenchela, 2010)

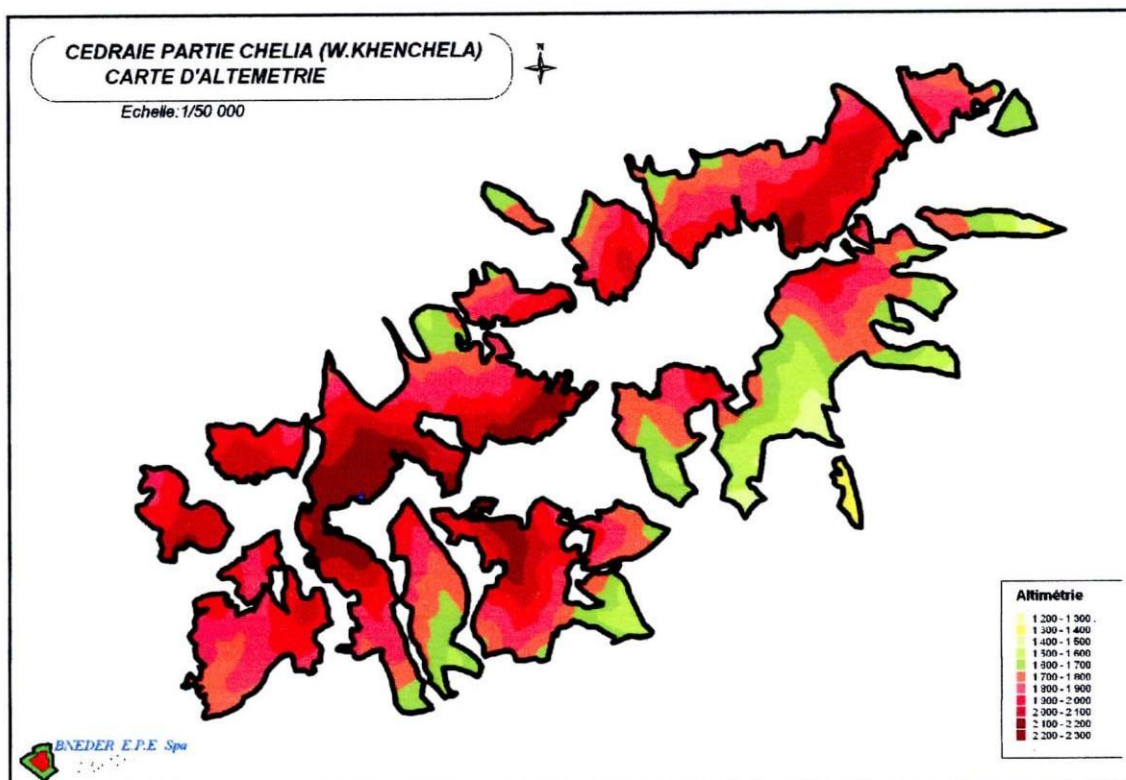


Figure 30 : Carte d'altimétrie de la Cédraie de Chélia (BNEF 2010)

II.2.7 La végétation

Au niveau des séries de Chélia et d'Ouled Yagoub le BNEF (1983), décrivent les associations végétales suivantes :

- **Les pelouses de haute montagne (2000 – 2200 m)**

Elles sont situées sur les crêtes et les sommets des montagnes, et sont caractérisées par l'absence de toute végétation arborée ou arbustive et la présence d'une végétation herbacée très basse et assez riche en espèces.

- **La cédraie de haute montagne (1800-2000 m)**

Caractérisée par l'absence de chêne vert, et croit dans des conditions difficiles à cause des vents violents et un sol squelettique à forte pente qui limite la production et la régénération naturelle.

- **La cédraie à chêne vert (1600-1800 m)**

Elle représente les peuplements les plus répandus et les plus bien venants avec des arbres bien élagués, élancés, dépassant souvent une hauteur de 20 mètres. Les peuplements se régénèrent bien dans des trouées créées soit à la suite d'incendie, soit grâce à des coupes.

- **Le chêne vert ou *Quercus ilex* (1500 – 1600 m)**

Le chêne vert est en mélange soit avec le cèdre, soit avec le pin d'Alep. Il peut se trouver à l'état pur sous forme de taillis bien venants soit formant un maquis dégradé avec la présence de genévrier oxycèdre et de frêne dimorphe sur les versants sud et au voisinage des habitations.

- **La pinède à chêne vert (1200 – 1500 m)**

Dans l'aire de la cédraie des Ouled Yagoub, la pinède est localisée sur le djebel Tizi Ala à la limite de la série de djebel Feraoun. C'est une futaie qui se régénère bien, avec des arbres bien élagués, dépassant les 15 mètres de hauteur.

➤ **Les essences secondaires**

Les autres essences secondaires qu'on rencontre en mélange avec le cèdre sont :

- ✓ L'if (*Taxus baccata*).
- ✓ L'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*).

- ✓ Le sorbier (*Sorbus aria*).
- ✓ Le frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha*).
- ✓ Le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*).
- ✓ L'aubépine (*Crataegus lanciniata*)

II.3. Situation socio-économique

La forêt domaniale des Ouled-Yagoub selon le B.N.E.F (1984) est très morcelée par de multitudes enclaves agricoles dans lesquelles vit une population en habitats dispersés. La grande enclave qui s'étire le long de l'Oued Tamza, au pied du djebel Aidel et du djebel Bezéz au sud-est, à la périphérie sur le piémont du djebel Chentgouma.

La pression de la population riveraine sur la forêt est très forte en ce qui concerne les besoins en bois de chauffage, bois de construction et en aliments du cheptel.

La population totale qui s'élève à 12161 riverains vit essentiellement de l'élevage caprin, d'une céréaliculture vivrière, de la culture de fruits et légumes qui proviennent des petits jardins potages, et des coupes illicites de bois.

Chapitre VI
Etude climatique

Généralités

Le climat est la distribution statistique des conditions de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période donnée. L'étude du climat est la climatologie. Elle se distingue de la météorologie qui désigne l'étude du temps à court terme et dans des zones ponctuelles. La caractérisation du climat est effectuée à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales telles que la température, les précipitations, l'humidité, la vitesse du vent, l'ensoleillement et la pression atmosphérique. Sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels.

I. La température

Représente un facteur limitant de toute première importance car elle conditionne la répartition de la totalité des espèces (Ramade, 2003).

Les espèces végétales sont plus sensibles aux températures maximales de la saison chaude et aux températures minimales de la saison froide (M'hirit, 1982). Si les températures trop hautes peuvent avoir une influence sur la vie du cèdre et peuvent compromettre sa régénération, les températures trop basse peuvent tues des peuplements entiers (Abdessemed, 1980).

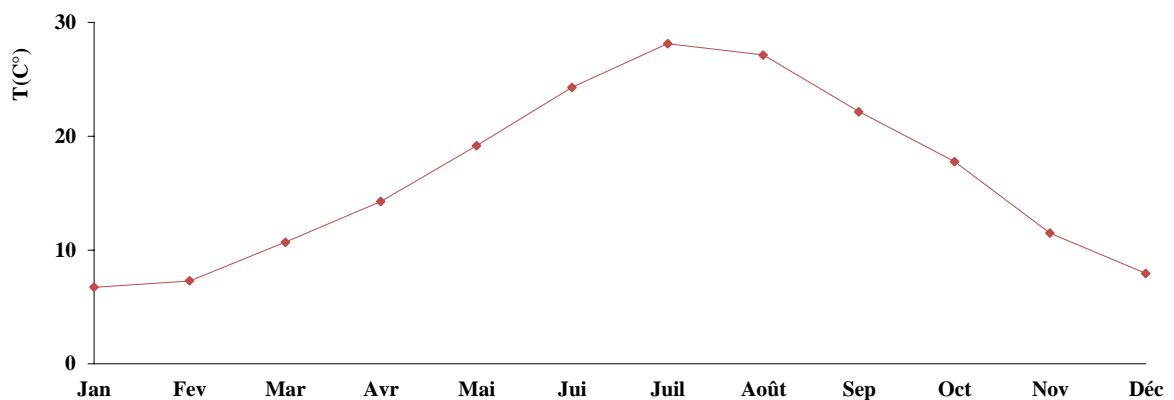


Figure 31 : Courbe de variation des températures moyennes mensuelles (1995-2018)

(Station météorologique d'El Hamma, 2019)

D'après les données de température, L'analyse au préalable des données thermiques de la station Khenchela, montre l'existence d'un hiver froid très vigoureux comportant une moyenne de 6,66°C en Janvier Ces valeurs indiquent l'existence des gelées dans la zone d'étude, enregistré pour une période de trois mois (Déc, Jan et Fév.) et un été chaud durant la saison estivale une moyenne de 26,98°C en Juillet (Figure 31).

II. La pluviométrie

L'origine des pluies, en Algérie, est plutôt orographique. En effet, les paramètres varient en fonction de l'altitude, de l'orientation des chaînes de montagnes et de l'exposition ; de ce fait, les versants Nord et Nord-Ouest reçoivent plus de précipitations que les autres expositions (Seltzer, 1946 ; Halimi, 1980).

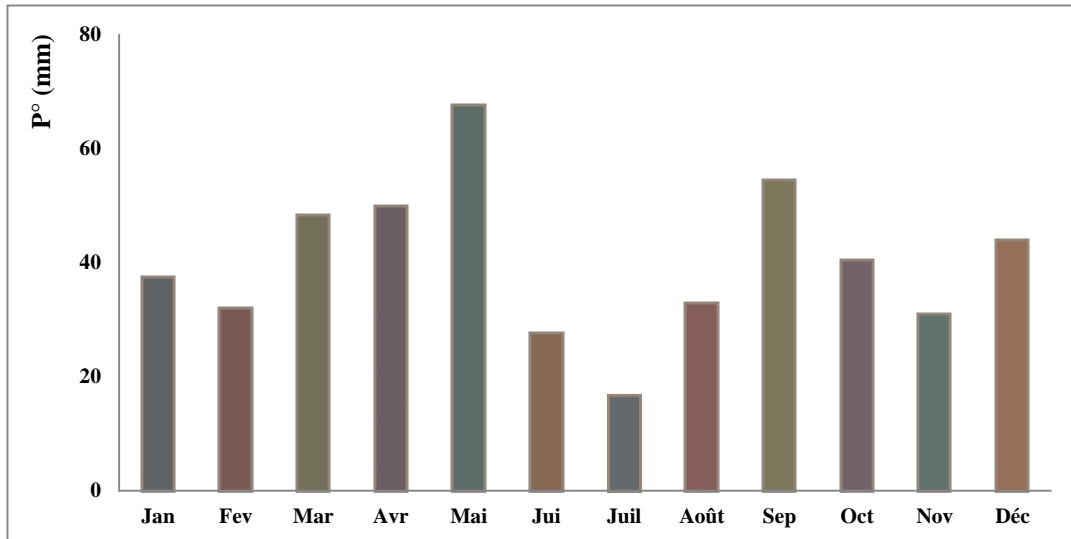


Figure 32 : Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles (2004-2018)
(Station de météorologique d'El Hamma, 2019)

Les données pluviométriques montrent que le mois le plus pluvieux est ce de Mai et le plus arrosé avec une moyenne de 67,43 mm. Juillet étant le mois le plus sec avec une moyenne de 16,76 mm (Figure 32).

Toth, (1987) a mis en considération l'importance de la pluviométrie durant la phase de croissance (Mai et Juin), sur l'installation de la régénération naturelle et le développement des semis du cèdre de l'Atlas.

La pluviométrie croît au fur et à mesure qu'on s'élève en altitude (Figure 33), il ressort que la quantité de pluie que reçoit le massif d'Ouled Yagoub ou de Chélia soit plus importante que celle enregistrée dans la station de référence d'El-Hamma.

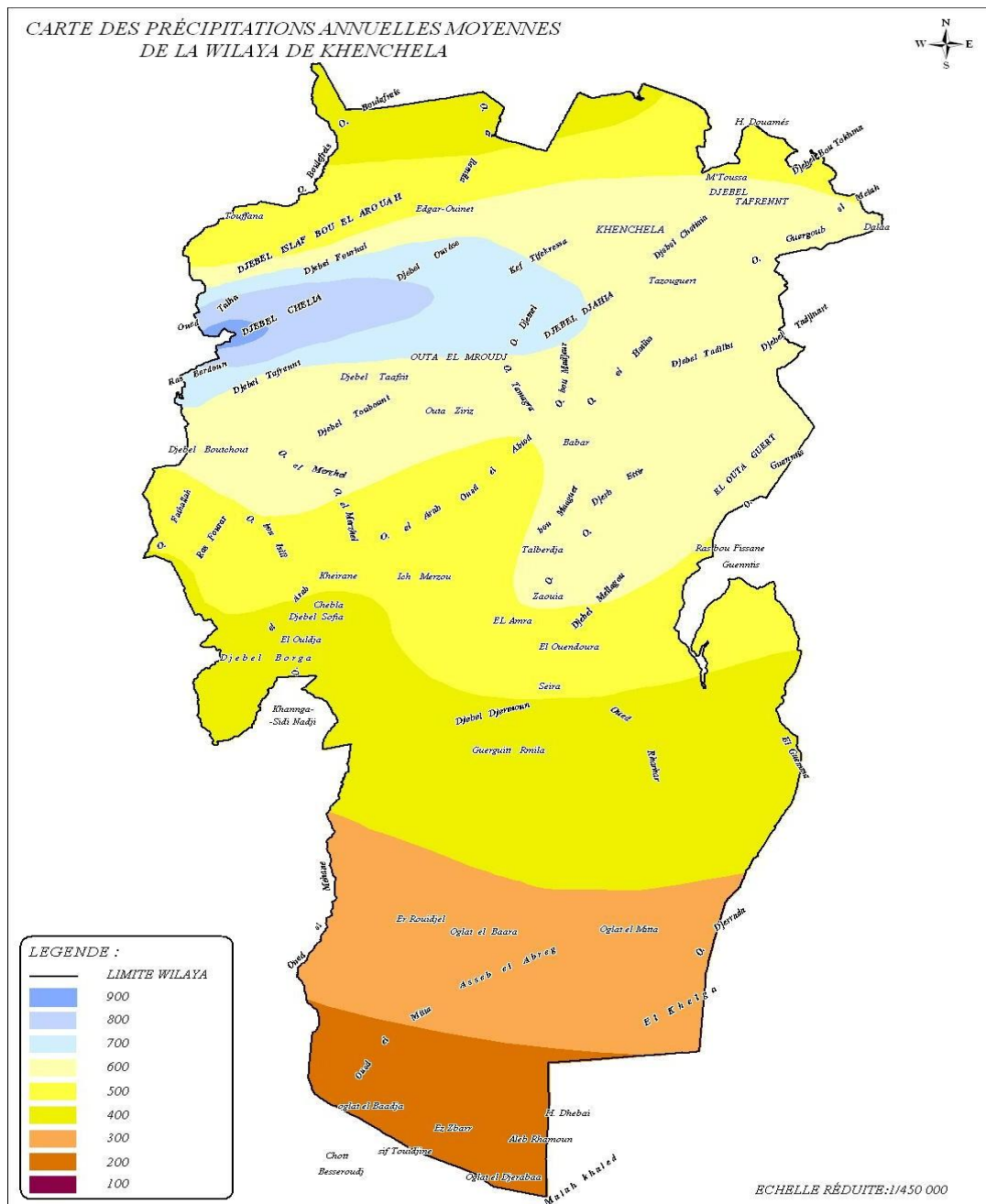


Figure 33 : Carte des précipitations annuelles moyennes
(Conservation des Forêts de la Wilaya de Khenchela, 2019)

III. La relation températures précipitations (Diagramme Ombrothèrmique)

L'établissement du diagramme Ombrothèrmique de Bagnoul et Gausson, nous a permis de déterminer graphiquement une classification climatique en tenant compte des paramètres hydriques (pluviométrie) et thermiques (température). Ce diagramme permet également de définir les gradients d'humidité en identifiant les périodes sèches et les périodes humides de l'année qui ont des répercussions directes sur l'état et le devenir du couvert végétal. Ainsi les différents cas peuvent être considérés :

- Si $P \leq 2T$: Les mois est considéré comme étant sec.
- Si $2T < P \leq 3T$: Le mois est considéré sub sec.
- Si $P > 3T$: Le mois est considéré comme étant humide.

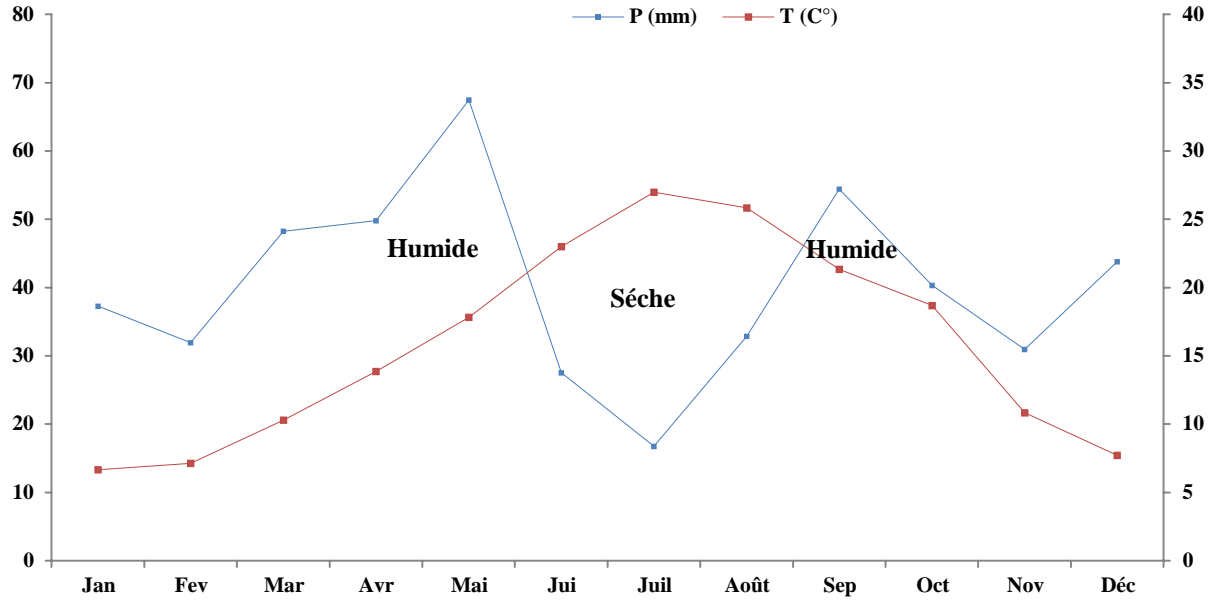


Figure 34 : Diagramme Ombrothèrmique de la zone d'étude
(Station météorologique d'El Hamma, 2019).

L'examen de ce diagramme Ombrothèrmique indique que le climat de la région d'étude se caractérise par une période sèche qui dure 4 mois (Juin à Septembre) pendant la période de (2004-2018).

IV. L'Humidité

La figure ci-dessus représente l'évolution mensuelle de l'humidité calculée dans la station d'El Hamma sur une période allant de 2004 jusqu'à 2018. Les données hydro climatiques montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de Décembre avec 71,58 %, alors que le pourcentage le plus faible est enregistré durant le mois de juillet avec 39,59 %.

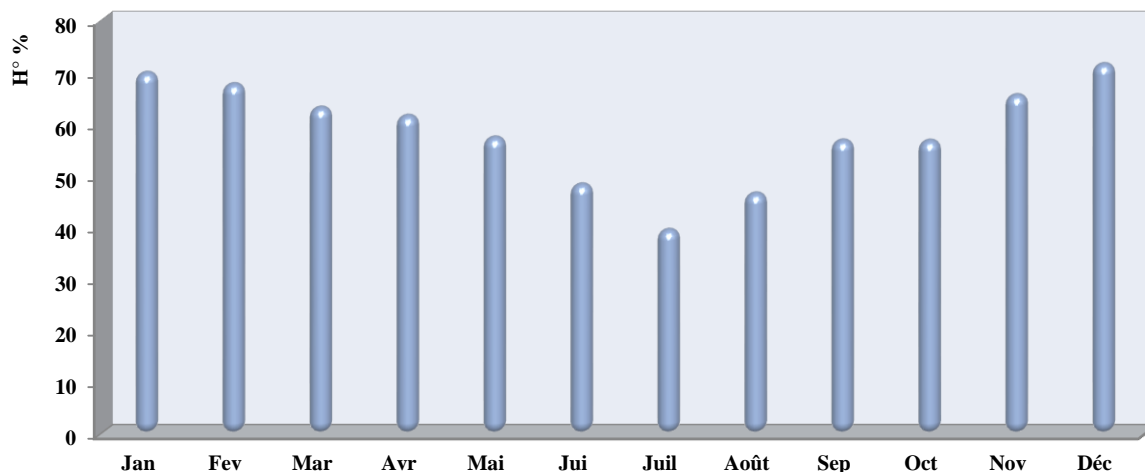


Figure 35 : Variation de l’humidité moyenne mensuelle (2004-2018)
(Station météorologique d’El Hamma, 2019)

V. Les Vents

Les vents sont en liaison étroite avec la pression atmosphérique, influent sur la Température, l’Humidité et l’activité d’évapotranspiration. Le vent possède un rôle important dans le développement de la végétation, mais il provoque le dessèchement de la végétation et accentuer le degré d’érosion éolienne. La figure 36 représente l’évolution mensuelle des vents de 2004 à 2018, celle-ci nous indique un maximum de 4.21m/s au mois de Mars, alors que le minimum est enregistré pour le mois d’Octobre.

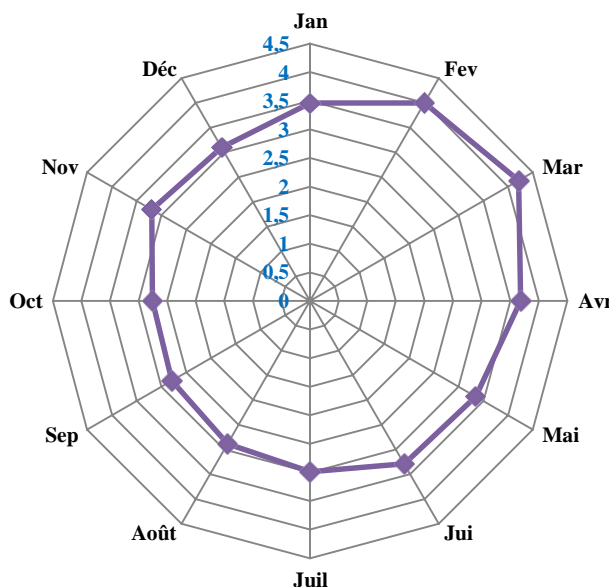


Figure 36 : La vitesse Moyenne Mensuelle des Vents (2004-2018)
(Station météorologique d’El Hamma, 2019)

VI. Quotient pluviométrique d'Emberger

Cet indice climatique est le plus fréquemment utilisé pour caractériser le bioclimat d'une région méditerranéenne, et notamment en Afrique du nord. C'est un paramètre combinant trois facteurs caractérise le bioclimat d'une région donnée par la l'équation suivante :

$$Q_2 = 1000P / ((M+m)/2 \times (M-m)) \text{ soit } 2000P / (M^2 - m^2)$$

Selon Stewart (1969) Cette formule peut s'écrire avec une erreur négligeable de la manière suivante :

$$Q_2 = 3,43.P/M-m$$

Dont :

P : précipitations annuelles (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud. (°C)

m : moyenne des minima du mois le plus froid. (°C)

M et m sont exprimés dans l'expression de Stewart en degré Celsius.

La lecture des résultats du quotient pluviométrique **Q2** d'Emberger (Figure 37), montre que la cédraie de Chélia évolue dans l'étage bioclimatique semi-aride tempéré.

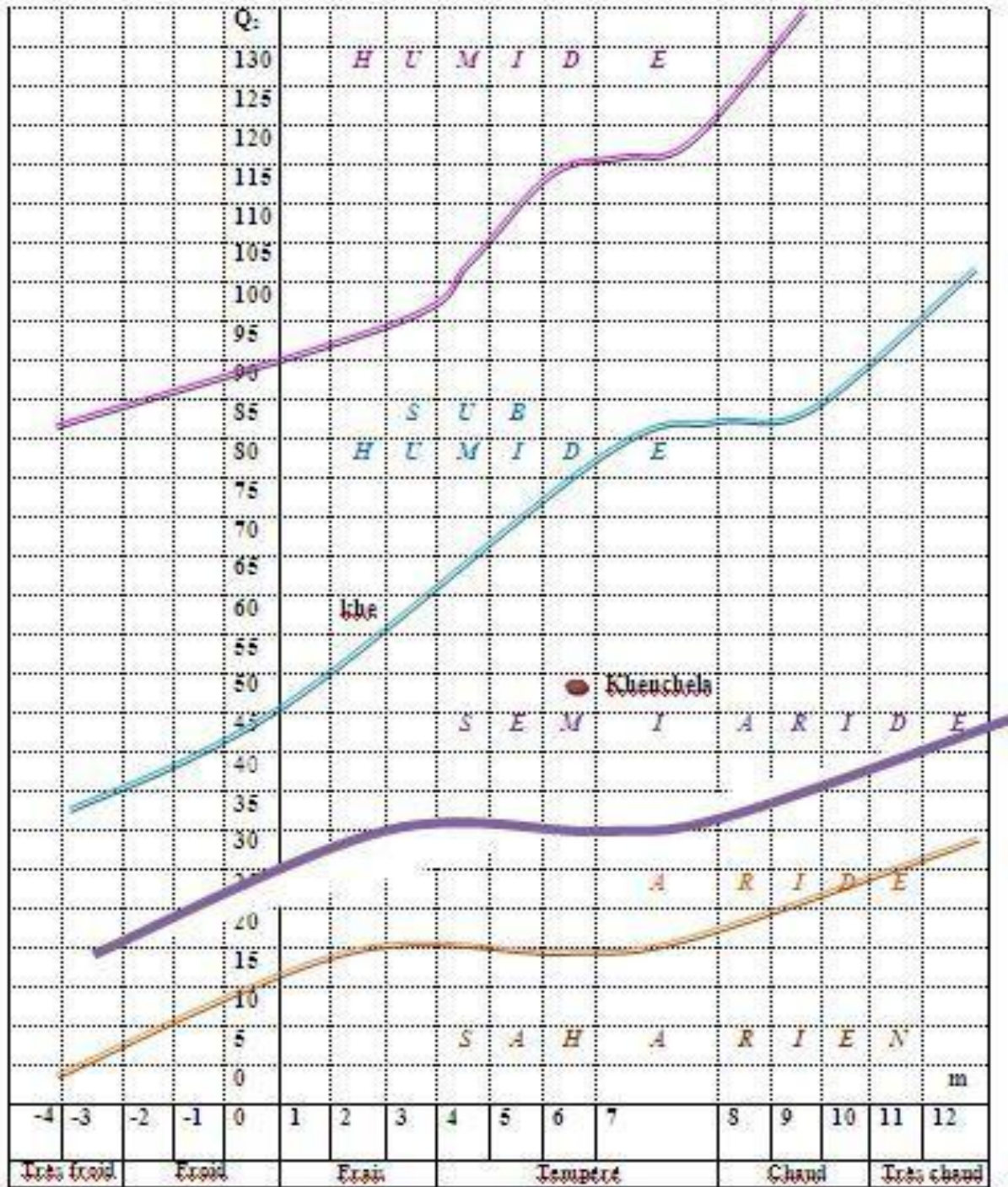


Figure 37 : Projection de la zone dans le climagramme d’Emberger

VII. Indice de Demartone

Le géographe Demartone (1929) définit l'indice d'aridité (I) en se basant sur la combinaison de régime thermique et hygrométrique selon la formule suivante :

$$I = P / T + 10$$

Septembre }
Octobre } **Sub-humide**
Novembre }

Décembre }
Janvier } **Humide**
Février }
Mars }
Avril }

Conclusion

A partir des données météorologiques exposées précédemment, il en sorte que la température, la précipitation et l'évaporation sont des facteurs climatiques qu'on peut étudier par l'étude climatologique. Les résultats obtenus sur ces différents facteurs jouent un rôle prépondérant dans le développement, la production, la répartition, l'individualisation et l'état physiologique des espèces forestières. Il est donc nécessaire d'en connaître les principales variantes.

Chapitre VII
Matériels et
méthode

I. Objectif

Evaluer l'impact de la pollution environnementale sur la biosynthèse de la chlorophylle en dosant la teneur en chlorophylle foliaire a et b du *Cedrus atlantica*.

II. Justification du choix des sites de prélèvements

Les différentes stations de prélèvements choisies dans notre travail ont fait l'objet d'une minutieuse reconnaissance de l'impact des rejets de l'usine de la baryte sur les espèces du cèdre dans les stations avoisinantes (Noughis, Ouled Yagoub), et comme témoin on a choisi la station représentant le mont de Chélia pour les raisons suivantes :

- Cette station ne comprend aucune forme de pollution apparente,
- Absence des activités anthropiques, en dehors de celles agricoles ou sylvicoles,
- L'existence d'une route communale qui n'est pas très fréquentée, reliant les deux Wilayate Khenchela et Batna,
- Présence d'indices biologiques de non pollution tels que : Le feuillage vert (sempervirent), présence de nombreuses plantes herbacées, et plantes d'ombre, ...

III. Mode d'échantillonnage

Les prélèvements sont réalisés au niveau des trois stations préconisées et mentionnées sur la carte de la figure 22 (c.f. chapitre 5, page 53) ; selon un mode d'échantillonnage aléatoire simple, en réalisant un échantillonnage dans chacune des trois stations, avec réalisation de trois répétitions, pour une meilleure représentativité des résultats. Les feuilles recueillies sont conservées dans des sacs en plastique noir hermétiquement fermés.

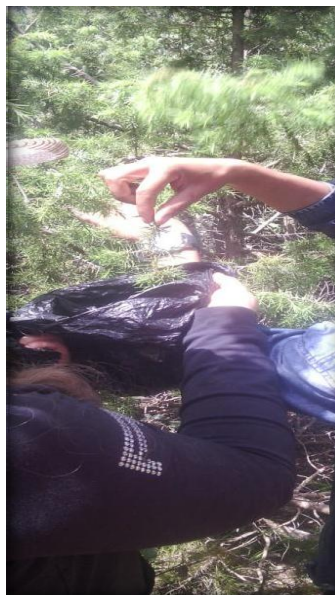


Figure 48 : Mode d'échantillonnage dans les différentes forêts

IV. Matériels utilisés

IV.1 Les échantillons de *Cedrus atlantica*

Des aiguilles de cèdre sont minutieusement prélevées dans la partie médiane de chaque arbre (Figure 49), puis conservés avec précaution pour éviter l'impact des aléas externes avant de procéder au dosage au laboratoire.



Figure 49 : Echantillon de Cèdre d'Atlas utilisé dans l'étude

IV.2 Solution utilisées

La solution utilisée pour l'extraction des chlorophylles est constituée d'un mélange : acétone/éthanol, à raison de 75 et 25 %, respectivement.

L'**acétone** est, en chimie le composé le plus simple de la famille des cétones. De formule brute C_3H_6O , c'est un isomère du propanal. Son nom officiel UICPA est propanone mais elle est aussi connue sous les noms de diméthylcétone et béta-cétopropane.

L'**éthanol**, ou alcool éthylique, ou plus simplement alcool, est un alcool de formule semi-développée CH_3-CH_2-OH . C'est un liquide incolore, volatil, inflammable et miscible à l'eau en toutes proportions (Figure 50).

Ces deux composés sont utilisés dans la macération car ils permettent une meilleure extraction des molécules végétales pigmentaires, en remplacement du benzène (C_6H_6) et du toluène (C_7H_8) qui permettent également l'extraction des molécules végétales avec l'inconvénient prouvé d'être cancérigène.



Figure 50 : flacons d’Ethanol et d’Acétone utilisés de marque VWR chemical

IV.3 La balance

Une balance, du latin *bis* (deux fois) et *lanx* (plateau), est un instrument de mesure qui sert à évaluer des masses par comparaison avec des poids, dans le langage courant, ou masses marquées dont les masses sont connues. La balance utilisée dans ce travail est une balance de précision à trois chiffres après la virgule de marque Kern (Figure 51).



Figure 51 : balance pour mesure

IV.4 Spectrophotomètre domaine UV/visible

La spectroscopie d’absorption dans l’UV et le visible est une méthode très commune dans les laboratoires. Elle est basée sur la propriété des molécules d’absorber des radiations lumineuses de longueur d’onde UV et visibles. L’appareil utilisé est de marque Spectrum,

servant à afficher les densités optiques aux longueurs d'ondes correspondant aux chlorophylles a et b. Les cuves utilisées sont en quartz (Figure 52).



Figure 52 : Spectrophotomètre UV-Visible Cuve en quartz.

V. Dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle est effectuée suivant la méthode de Witham et al., (1971). Elle consiste en une macération des feuilles dans un mélange d'acétone et d'éthanol à des proportions respectives de 75 % et 25 % (Figure 53). Cent milligramme (100 mg) de matière fraîche provenant des aiguilles de cèdre, auxquelles sont ajoutées 10 ml de la solution d'extraction, sont conservées dans des boîtes noires afin d'éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière. Après 48 heures, la densité optique est mesurée aux longueurs d'ondes 663 nm et 645 nm, correspondant respectivement aux chlorophylles a et b.

Les résultats sont exprimés en mg/g de MF et les concentrations en chlorophylle a et b sont déterminées à l'aide des équations suivantes :

- $\text{Chl a (mg/g MF)} = [12,7 \times \text{DO (663)} - 2,69 \times \text{DO(645)}] \times 0,1$
- $\text{Chl b (mg/g MF)} = 22,9 \times \text{DO (645)} - 4,69 \times \text{DO (663)}] \times 0,1$
- $\text{Chl Totale (mg/g MF)} = 22,9 \times \text{DO (645)} - 8,02 \times \text{DO(663)}] \times 0,1$

Où, DO est la densité optique à la longueur d'onde concernée pour chaque chlorophylle ;

V est le volume de la solution extraite dans le mélange acétone-éthanol-chlorophylle, et
W : (weight) le poids de matière fraîche de l'échantillon, exprimé en grammes.



Figure 53 : Etapes du protocole expérimental pour les analyses de la chlorophylle

*Résultats et
Discussion*

I. Résultats des analyses de chlorophylles

Conscients de l'importance des arbres et de leur rôle dans les études actuelles de surveillance et de contrôle de la pollution atmosphérique, ce travail est réalisé dans des conditions de terrain en le milieu naturel.

Des observations sur l'état général des arbres ont pu être établies telles que : durant les saisons hivernales précédentes, la pluviométrie était largement plus substantielle que durant les années d'avant. Ceci pourrait être à l'origine de la quantité de matière et le développement végétatif de l'espèce considérée, et aurait pu contribuer dans l'accroissement des teneurs en chlorophylles.

Dans tous les arbres analysés, la teneur en chlorophylle est plus élevée, bien que l'expérimentation soit réalisée en saison chaude, ceci peut être dû au lessivage des particules de poussière par les fortes pluies prolongée durant cette année, ce qui peut augmenter l'activité de photosynthèse dans les feuilles.

L'évaluation des propriétés photosynthétiques des essences forestières, au moyen du paramètre Chlorophylles, en relation avec leurs caractéristiques fonctionnelles, est une question pertinente pour les études en écologie forestière (Pollastrini et al., 2016).

Afin de mieux interpréter les variations de la chlorophylle, nous avons affiché nos résultats d'analyse après traitement avec le progiciel Excel avec une représentation graphique figurée sous forme d'histogrammes.

I.1. Teneurs en chlorophylle a

La détermination des concentrations de la chlorophylle est effectuée par lecture directe des densités optiques au spectrophotomètre et calcul des concentrations par les équations de Witham et al., (1971). Les résultats obtenus sur la teneur en chlorophylles a, b, a /b et en chlorophylle totale a+b des feuilles selon la méthode de Witham et al (1971) sont rapportés dans la figure 47.

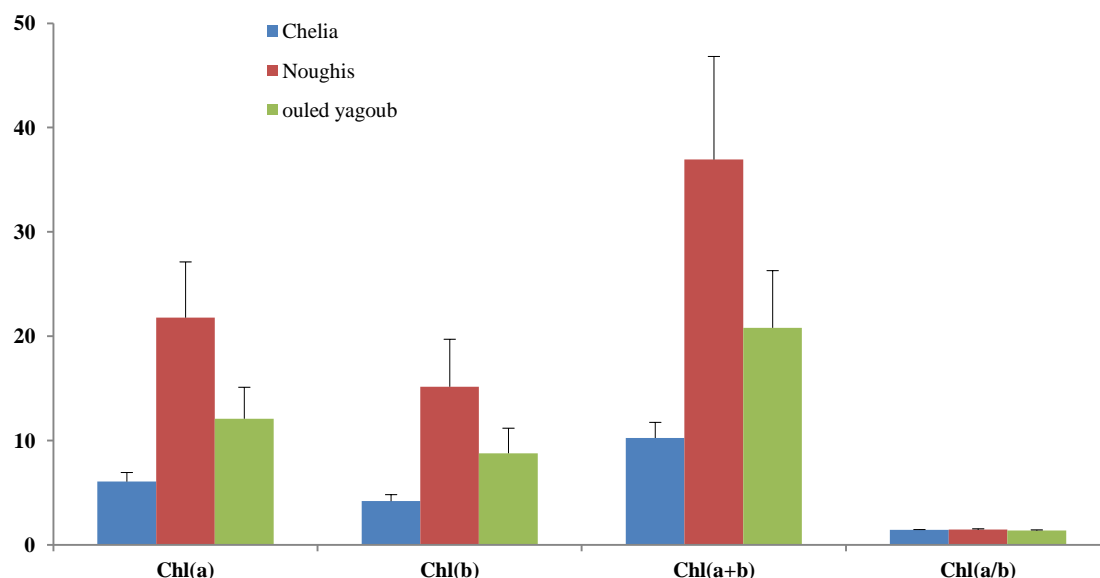


Figure 47 : Teneur en chlorophylles a, b, a/b et en chlorophylle totale (mg/g MF).

On remarque que la teneur en chlorophylle a est importante dans les plantes témoins, avec une valeur de $6,06 \pm 0,87$ mg/g MF, et pour les autres stations on observe que la teneur en chlorophylle a chez les plantes au niveau de la station Noughis et celle d'Ouled Yagoub est largement plus élevées encore, avec des valeurs de $21,78 \pm 5,34$ mg/g MF, $12,09 \pm 3,02$ mg/g MF, respectivement (Figure 47).

Tableau 4 : Teneurs en chlorophylle a (mg/g MF) des aiguilles de *Cedrus atlantica* dans les 3 stations

Stations	Chélia	Noughis	Ouled Yagoub
Chlorophylle a	6,06	21,78	12,09

I. 2. Teneurs en chlorophylle b

D'après les résultats affichés sur la figure 47 et dans le tableau 5, la teneur en chlorophylle b est importante dans le témoin avec une valeur de $4,18 \pm 0,62$ mg/g MF, pour les plantes de Noughis le taux de la chlorophylle b est maximale et de l'ordre de $15,15 \pm 4,55$ mg/g MF suivi des plantes d'Ouled Yagoub avec $8,92 \pm 2,41$ mg/g MF, représentant plus de 4 fois le multiple de la teneur enregistrée chez le témoin.

Tableau 5 : Teneurs en chlorophylle b en mg/g MF des aiguilles de *Cedrus atlantica* dans les 3 stations

Stations	Chélia	Noughis	Ouled Yagoub
Chlorophylle b	4,18	15,15	8,77

I. 3. Teneurs en chlorophylle totale (a+b)

La teneur en chlorophylle totale enregistrée chez les plantes de Noughis est beaucoup plus importante, elle est de $36,93 \pm 9,90$ mg/g MF (Figure 47). Cette teneur diminue progressivement chez les plantes d'Ouled Yagoub et Chélia (témoin), et est de l'ordre de $20,08 \pm 5,50$ mg/g MF et $10,24 \pm 1,5$ mg/g MF respectivement (Tableau 6). La teneur en chlorophylle totale représente un indice de bonne santé des arbres.

Tableau 6 : Teneurs en chlorophylle a+b (mg/g MF) des aiguilles de *Cedrus atlantica* dans les 3 stations

Stations	Chélia	Noughis	Ouled Yagoub
Chlorophylle a+b	10,24	36,93	20,08

I.4. Teneurs en chlorophylle a/b

Les taux en chlorophylle a/b sont assez proches et enregistrent respectivement ($1,45 \pm 0,01$; $1,45 \pm 0,08$ et $1,38 \pm 0,04$ mg/g MF) pour les trois stations (Chélia, Noughis, Ouled Yagoub respectivement) (Tableau 7). Par cette réponse, le cèdre semble être indifférent aux différences altitudinales, écologiques et lithologiques des milieux.

Tableau 7 : Teneurs en chlorophylle a/b (mg/g MF) des aiguilles de *Cedrus atlantica* dans les 3 stations

Stations	Chélia	Noughis	Ouled Yagoub
Chlorophylle a/b	1,45	1,45	1,38

II. Discussion des résultats

L'environnement ambiant altéré par l'air d'intrusion polluant en zone urbaine exerce une profonde influence sur la l'état morphologique, biochimique et physiologique des plantes, et

donc sur les réponses biochimiques (Chaudhary et al., 2008 cité par Shyam et al., 2008). La chlorophylle, étant le photorécepteur principal dans la photosynthèse, conduit la lumière dans le procédé dans lequel le dioxyde de carbone est fixé pour produire les glucides et l'oxygène utilisé dans la respiration des êtres vivants (Huang et al., 2011).

A travers les résultats obtenus sur l'effet de la pollution environnementale, sur la régénération naturelle et le dépérissement du cèdre de l'Atlas, par les analyses effectuées sur les pigments chlorophylliens, on peut remarquer que les teneurs sont largement élevées dans les plantes de la station de Noughis à proximité de l'usine d'exploitation et de transformation de la baryte, qui est considérée comme principale source de pollution apparente à Ain Mimoune et à la station d'Ouled Yagoub, par rapport à la station témoin (Chélia) qui est située plus loin de cette industrie.

Cette variation des teneurs en chlorophylle pourrait montrer que :

La plante est entrain d'utiliser ses réserves d'une façon progressive, au niveau de la station de Chélia, car, selon Richardson et al., (2001), une grande partie de l'azote des feuilles est incorporée dans la chlorophylle, donc la quantification de la teneur en Chl donne une mesure indirecte de l'état nutritionnel de la plante. Ou, que les conditions environnementales sont favorables pour une importante synthèse de la chlorophylle. Aussi, ces proportions de chlorophylles peuvent fournir des informations importantes sur les relations entre la plante et son environnement.

Les pigments des plantes jouent un rôle important dans la capture de la lumière, la protection des photosystèmes et dans diverses fonctions de croissance et de développement. Les pigments photosynthétiques contrôlent la quantité de rayonnement solaire absorbée par une feuille et déterminent ainsi la photosynthèse, Les concentrations de pigments sont également liées au stress des plantes (Huang et al., 2015).

Les chlorophylles a et b, sont les plus importants des pigments assimilateurs, et sont donc pratiquement indispensables à la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique stockée qui alimente la biosphère. De perspective physiologique, le contenu foliaire en Chlorophylles est donc un paramètre d'intérêt significatif en soi (Richardson et al., 2001).

La réduction de la teneur en chlorophylle induit des dommages au niveau du végétal se traduisant souvent par des chloroses (Heath, 1989).

Dans une tentative de comprendre le schéma de contamination éventuel au niveau de la station témoin, par les conditions du milieu dans la région, on pourrait avancer notamment que le transport aérien contribue aux dépôts de différents contaminants de sources à caractère anthropique, provenant de régions aux alentours de Chélia.

Cependant, d'un point de vue appliqué, la pigmentation des feuilles est importante pour les chercheurs en écophysiologie. Car, la quantité de rayonnement solaire absorbée par une feuille est largement fonction des concentrations foliaires de pigments photosynthétiques, et donc de faibles concentrations de chlorophylle pouvant directement limiter le potentiel photosynthétique et la production primaire (Richardson et al., 2001).

Les concentrations de pigments sont liées au stress des plantes (lumière solaire directe en excès, irradiation UV-B, basse température, stress hydrique, carences en azote etc.) et à la sénescence (Huang et al., 2015). La réponse sélective des feuilles aux poussières peut être utilisée pour la surveillance de la pollution atmosphérique (Prusty et al., 2005).

De plus, le rapport Chl **a/b** est toujours légèrement supérieur à 1 ; ceci se traduit par la faible adaptation de la plante au stress en dépit de la teneur en Chl totale (Pääkkönen et al., 1999 cité par Dellaa, 2012).

Vues que les teneurs en Chl *a* sont toujours supérieures à celles en Chl *b*, ceci peut renseigner que la chlorophylle n'est pas affectée, aussi bien dans la région proche de l'usine de transformation (Noughis) et Ouled Yagoub que dans la station témoin (Chélia), qui paraît moins polluée, tout en affichant les teneurs les plus faibles. Les spécimens de cèdre au niveau des trois sites paraissent en bonne santé.

Par conséquent, des mesures précises de la dynamique temporelle et des variations spatiales de la concentration en pigment à l'aide de données répétées sur une plus longue période peuvent fournir une base pour la surveillance des processus physiologiques et écologiques dans la région.

A l'issue de ce travail, nous pouvons dire que les dépôts de baryte n'ont pas ou peu d'influence directe sur le comportement physiologique et l'activité photosynthétique de *Cedrus atlantica*, ceci peut traduire que ces dépôts n'ont pas un effet dépressif direct sur le paramètre étudié (Chlorophylle). Il serait à croire que les dépôts de poussières de baryte déposés sur le système foliaire possèdent un effet stimulant sur la synthèse des chlorophylles a et b.

Les conifères sont souvent considérés comme meilleurs bioindicateurs temporaires d'une contamination de l'environnement car leurs qualité de bois réduit le transfert latéral des polluants à travers les anneaux (Hireche, 2006).

En fin, on peut supposer que l'espèce étudiée manifeste une forme de tolérance à la pollution atmosphérique par la baryte qui, visiblement, stimule la synthèse des chlorophylles, dans ce cas le cèdre peut être considéré comme apte à se régénérer naturellement.

Les arbres jouent un rôle important dans l'amélioration de la qualité de la vie urbaine, en raison de la capacité d'interception de la matière dans l'atmosphère ; les plantes peuvent donc largement être utilisées comme indicateurs passifs de la pollution ou dans l'épuration de l'air (Shyam, 2008).

Conclusion et recommandations

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette étude était de montrer comment se manifeste la réponse biochimique par la chlorophylle du cèdre de l'Atlas, sous l'effet d'une source de pollution industrielle ? La recherche bibliographique effectuée a permis de cerner l'état des connaissances acquises relatives aux divers aspects du cèdre de l'Atlas en particulier, aussi bien dans son milieu naturel qu'artificiel. Cette revue de la littérature a révélé que l'espèce *Cedrus atlantica* Man., essence forestière endémique des montagnes marocaine et algérienne, présente plusieurs avantages écologiques et socio-économiques. Elle suscite alors beaucoup d'intérêts à l'échelle nationale et internationale.

La pollution atmosphérique constitue aujourd'hui un problème environnemental très complexe à l'échelle locale et planétaire. De plus, les stations préconisées dans ce travail sont justement localisées dans une agglomération munie d'une installation industrielle et, comme les deux autres stations, soumises à un phénomène de sécheresse et de changements climatiques d'une ampleur mondiale.

La teneur en chlorophylles de chaque plante peut être considérée comme un indicateur de la pollution et peut donner des indices sur l'état de santé de ces plantes. Dans ce contexte, notre étude est menée sur trois stations dans la willaya de Khenchela : Chélia, Noughis et Ouled Yagoub.

L'utilisation des feuilles des végétaux ligneux contribue dans la quantification de la pollution de l'air par les particules dans les centres urbains et périurbains. Ils sont utilisés, non seulement pour l'observation des symptômes d'attaque qu'ils manifestent, mais encore comme collecteurs de poussière (Ozenda, 1982 citée par Belhadj, 2011). Dans ce contexte, les aiguilles du cèdre sont vulnérables à la contamination par la baryte à cause de leur localisation géographique proche de l'usine de transformation de Baryte à Ain Mimoun.

D'après les résultats obtenus, nous avons remarqué que le cèdre de l'Atlas exprime des teneurs en chlorophylles importante dans la zone témoin Chélia, cela signifie que la synthèse des chlorophylles se fait normalement, induisant une meilleure photosynthèse. Alors que les teneurs en chlorophylles chez le cèdre des stations au niveau des stations de Noughis et Ouled Yagoub, ces teneurs sont les plus importantes encore à celle marquées à Chélia. La teneur en

CONCLUSION GENERALE

chlorophylle a étant plus élevée à la teneur en chlorophylle b, l'arbre se porte bien et supporte (s'adapte) au climat de pollution ou par une autre contrainte environnementale qui peut endommager la biosynthèse de la chlorophylle.

Le cèdre semble insensible aux contraintes du milieu et n supporte donc les conditions de pollution observées au niveau des stations comme de Noughis. A la lumière des résultats obtenus, le paramètre chlorophylle constitue un bon indicateur de la pollution atmosphérique par les différents types des industries.

CONCLUSION GENERALE

Recommandations et perspectives

A travers cette étude, nous avons constaté qu'en dépit de tout le phénomène de dégradation qui affecte la cédraie d'Ouled Yagoub et Noughis, cette dernière occupe une situation particulière dans la région et possède un caractère de tolérance très important.

Afin de protéger cette cédraie qui constitue un patrimoine national nous recommandons :

- Intégration de ces trois cédraies dans une réserve naturelle,
- Interdiction total de la planification des industries à l'intérieur ou à la proximité de la cédraie,
- Réaliser des analyses périodiques sur les plantes afin de détecter le degré de contamination et de pollution pour prendre des mesures préventives.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdessemed K., (1981). Le Cèdre de l'Atlas dans les massifs de l'Aurès et du Belezma - Étude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse Doct. Ing. Fac. St. Jérôme, Marseille. 199 p.

Adoui S., (1991). Contribution à l'étude des caractéristiques écologiques des complexes entomologiques du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en dépérissement au Belezma. Mémoire Ingénieur. Foresterie et protection de la nature. INA. Alger.

Alexandrian D., Gouiran M., (1992). Les causes des incendies. Levons le voile ! Forêt méditerranéenne, N° 1, p. 41-47.

Allen C.D., (2009). Le dépérissement des forêts dû au climat : un phénomène planétaire croissant ? Unasylva, Vol 60 : 231-232.

Anonyme (1992). Techniques de reboisement. Guide pratique. CEMAGREF. Chapitre 7. Guide technique du forestier méditerranéen français.

Anonyme (1996). Le plan national des reboisements. Direction générale des forêts. 121p.

Anonyme (2000). Présentation du plan de gestion du parc national de Belezma. Ed. Parc national de Belezma. Pp : 12-20.

Anonyme (2008). *Cedrus atlantica* decline in Belezma, Algeria. Atlas cedar decline.

Auclair A.N.D., Eglinton P.D., Minnemeyer S.L., (1997). Principal forest dieback episodes in Northern Hardwoods: Development of numeric indices of areal extent and severity. Water, Air and Soil Pollution. 93: 175-198.

Aussenac G., Granier A., Goss P., (1981). Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Willd. Et de divers pins du Mont-Ventoux. Ann. Sci. For., 19 : 41-62.

Aussenac G., (1984). Le cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écologique. Bull. Soc.Bot. Fr., Actuel Bot., (2/3/4). 385-398 P.

Badraoui M., Assali F., (2007). Les changements climatiques : ont-ils des impacts sur le dépérissement du cèdre dans le Moyen Atlas ? Résumé de la communication à la célébration de la journée mondiale 2007 de la terre "changements climatiques et impacts écologiques et économiques". Université Al Khawayn Ifran, 27 Avril 2007. 3p.

Bahri B., (2006). Contribution à l'étude de l'influence des facteurs édaphiques, orographiques et biologiques sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*. M) dans les monts des Ouled Yagoub. Mém. Mag. Uni. Colonel El Hadj Lakhdar. Batna. 95p.

Bariteau M., Ferrandes P., (1992). Les cèdres, in : Amélioration des espèces végétales cultivées, Objectifs et critères de sélection. Ouvrage collectif coordonné par A. Gallais et H. Bannerot. Institut National de la recherche Agronomique. Paris. Pp : 732-743.

Barry J.P., Celles J.C., Faurel L., (1976). Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques. Feuille d'Alger au 1/1.000.000. C.R.B.T., Alger : 42 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bastien Y., Aussenac G., Frochot H., (2000).** Les changements climatiques Conséquences pour la sylviculture. Rev. For. Fr. 1.II.
- Becker M., Picard J-F., Timbal J., (1983).** Les arbres. Ed. Masson. Paris, 141p.
- Beghami R., (2010).** Contribution à l'étude des insectes associés au dépérissement du cèdre de l'Atlas (*cedrus atlantica*) dans la région des Aurès : cas de la cédraie de Chélia. Mémoire de magister. Université Hadj Lakhdar, Batna. 132p.
- Belhadj H., Benchaben H., Ayad N., et Maatoug M., (2011).** Quantification de la pollution atmosphérique dans le milieu urbain de Sidi Bel'Abbes (Algerie Occidentale). Vol 6, N : 22.
- Benabid A., (1994).** Biogéographie, phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). In : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin 1993. *Annales de la recherche forestière au Maroc 27* (special). Pp : 61-76.
- Bensaid S., Tabti W., Hamimi S., (1998).** La question du reboisement en Algérie. Séchresse N°1, Vol 9. 5-11.
- Bentouati A., Bariteau M., (2006).** Réflexions sur le dépérissement du cèdre de l'atlas Aurès (Algérie), Forêt méditerranéenne, éd. Forêt méditerranéenne, Tome XXVII (4), Pp : 317-322.
- Bentouati A., (2008).** La situation du cèdre de l'Atlas des Aurès dans les Aurès. Forêt méditerranéenne. T XXIX, N° 2. pp. 203-208.
- B.N.E.D.E.R., (2010).** Etude et expertise sur le dépérissement de la Cédraies d'Ouled Yagoub et de Chélia Wilaya de Khenchela. Phase I : Etude du milieu, Ministère de l'Agriculture et du développement rural, conservation des forêts de la Wilaya de Khenchela, 49p.
- BNEF, (1983).** Etude d'aménagement de la forêt domaniale des Ouled Yagoub et Beni-Oudjana. Bureau national des études Forestières.
- BNEF, (1984).** Plan d'aménagement de la zone d'Ouled Yagoub et des Beni-Oudjana (40 000 ha), Ministère de l'hydraulique et l'environnement des forêts, RADP, 62p.
- BNEF, (1985).** Étude d'aménagement du Parc National de Belezma. Phase I.II.III Et IV.
- Boudy P., (1950).** Economie forestière Nord-Africaine : monographie et traitement des essences forestières. Ed. Larose, T2. Pp : 529-619.
- Boudy P. (1952) :** Guide du forestier en Afrique du Nord .Les essences forestières. Edition la maison rustique 505 p.
- Bovey P., (1971).** L'impact de l'insecte déprédateur sur la forêt : la lutte biologique en forêt. Ann. Zool. Ecol. Anim., HS (vol.3), 212p.
- Carter, G.A., (1998).** Reflectance wavebands and indices for remote estimation of photosynthesis and stomatal conductance in pine canopies. Remote Sens. Environ., 63 : 61–72.
- Chbouki N., (1994).** Une synthèse dendroclimatique du Cèdre de l'Atlas. Ann. Rech. For. Maroc. T 27. 33-59.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chevron R.B., (2005).** Pourquoi les incendies de forêts sont-ils si meurtriers. 17 Avenue du Hoggar parc d'activités de courta bœuf. France.
- Ciesla W.M., (1993).** Qu'arrive-t-il au Neem sahélien ? Unasyva. N°172 : sécurité des ouvriers forestiers. Archives des documents de la F.A.O. Département des forêts. 62p.
- Courbet F., Lagacherie M., Marty P., Ladier J., Ripert C., Riou-Nivert P., Huard F., Amandier L., Paillassa É., (2012).** Le cèdre en France face au changement climatique : bilan et recommandations. 7p.
- Debazac E.F., (1964).** Manuel des conifères. École nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 4.172 p.
- Dellaa Y., Rahmoune C., Kister J.J., Dupuy N., (2012).** Effects of particulate pollution induced by cement dust on biochemical metabolites in Conifers : *Pinus halepensis* and *Cupressus* sp. Journal Academica. Vol. 2 (1), pp. 25-50.
- Derridj A. (1990) :** Etude des populations de *Cedrus atlantica*. Manetti en Algérie. Thèse Doct. Université de Toulouse .282 p.
- Derrij A., (1990).** Etude des populations de *Cedrus atlantica*. Manetti en Algérie. Thèse Doct. Université de Toulouse. 282 p.
- De Vilmorin G.B., (2003).** Histoires d'arbres. Ed. Jean-Paul Gisserot. Paris, 280p.
- Ducrey M., (1994).** Adaptation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au climat méditerranéen : aspects écophysiologicals de sa réaction à la sécheresse. Annales de la Recherche Forestière du Maroc. 27, pp. 140-152.
- El Houssain., (1992).** Evaluation de la régénération naturelle de cèdre de l'Atlas. Doctorat de 3^{ème} cycle. Institut. Agronomique et vétérinaire. Hassan II. Rabat, Maroc.180P.
- El Yousfi M., (1994).** La sante du cèdre de l'Atlas au Maroc. *In* : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7–11 Juin 1993. Annales de la recherche forestière au Maroc 27 (spécial). 594-611 P.
- Ezzahiri M., Belghazi B., (2000).** Synthèses de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas (Maroc). Sécheresse, vol. II, N° 2.
- Faure L., Laffite L., (1949).** Facteurs de répartition des cédraies dans le massif de l'Aurés et du Belezma. Bul. Sci. Hist. Nat. De l'Afrique du Nord. 40: 178-182.
- Finkelstein V., (1981).** Influences des conditions d'alimentation hydrique sur le débourrement et la croissance de jeunes plants de cèdres (*Cedrus atlantica* Manetti) cultivés en serre. Ann. Sei. forest. 38 (4), pp. 109-126.
- Folly, P. (2000) :** Catabolisme de la chlorophylle b : Structure, Mécanisme et Synthèse. Thèse de Doctorat, Suisse. 172p.
- Gachi M., Khemici M., Zamou M., (1986).** Sur la présence en Algérie de la processionnaire du cèdre T. bonjeani Powell (*Lepidoptera thaumetopoeidaé*). Ann. Rech. Forest. Algérie I. 53-63 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gagnon G., Roy G., (1994).** Le dépérissement De l'érable à sucre (*acer saccharum* marsh.) au Québec. Rev. For. Fr. XLVI -5- Pp : 512-521.
- Garrec J.P., (1989).** Étude des surfaces foliaires des arbres dépérissants. Ann. Sci. For., 46 : 547-552.
- Gartner E., (1987).** La maladie des forêts un premier bilan.
- Gausson H., (1967).** Les gymnospermes actuelles et fossiles. Faculté des sciences de Toulouse, Fasc. 7, 477p.
- Gazonneau A., 2007.** Pour la forêt méditerranéenne, le changement climatique est déjà à l'oeuvre. <http://actscience.blogspot.com/2007/11/pour-la-forêt-méditerranéenne-le.html>
- Govindaraju M., Ganeshkumar R.S., Suganthi P., Muthukumaran V.R., Visvanathan P., (2010).** Impact assessment of Air Pollution Stress on plant species through biochemical estimations. Eds. World Academy of Science, Engineering and Technology. 933 – 936.
- Guibal F., (1986).** Dendroclimatologie du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le sud de la France. Thé. Doc. 3ème cycle. Université d'Aix Marseille III. 123p.
- GTZ, (1982).** Plan d'aménagement de la forêt domaniale des Beni Imloul, Série de Kantina. ONTF. Secrétariat d'état aux forêts et à la mise en valeur des terres. 61p.
- Halimi A., (1980).** L'Atlas Blidéen – climat et étages végétaux. Office des publications universitaires, Alger. Edition n° 648. 532p.
- Halitim S., (2006).** Contribution à l'étude de la réserve utile en eau des sols de cédraies dans les Aurès : Influence des facteurs édaphiques. Mémoire. Mag., Dép. Agr. Batna, 131p.
- Harfouche., Nedjahi A., (2003).** Prospections écologiques et sylvicoles dans les cédraies du Belezma et de l'Aurès à la recherche de peuplements semenciers et d'arbre. Rev. For. Fr. Vol. 55, N°2 : 113-122.
- Hartman G., Nienhaus F., Butin H., Winter K., (1991).** Les symptômes de dépérissement des arbres forestiers. Ed5Atlas de reconnaissance en couleurs des maladies, insectes et divers.). Française institut pour le développement forestier (IDF). 256 p.
- Heath R.L., (1989).** Alteration of chlorophyllian plants upon air pollution exposure. Biological markers of air pollution stress and damage in forests, committee on biological markers of air pollution damage in trees, National Research Council, National Academy Press; Washington DC.
- Hireche Y., (2006).** Réponse de la luzerne (*Medicago Sativa* L.) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Thèse de Magistère, Université de Batna : 75 p.
- Hopkins W.G. (2003).** Physiologie végétale. De Boeck,
- Huang J., Wei C., Zhang Y., Blackburn G.A., Wang X., Wei C., Wang J., (2015).** Meta-Analysis of the detection of plant pigment concentrations using hyperspectral remotely sensed data. Eds. Plos one. 1-26.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Khanfouci M., (2005).** Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.) dans le massif de Belezma. Mémoire Mag. Dép. Agr. Batna. 249 p.
- Krouchi F., (1995).** Contribution à l'étude de l'organisation reproductive du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) à Tala-Guilef (Djurdjura Nord Occidental). Thèse de Magister. INA. Alger. 105p.
- Laffite R., (1939).** Esquisse géologique de l'Aurès. *Thè. Sci.* Paris. France : 10-43.
- Lamhamedi M., Chebouki N., (1994).** Les principaux facteurs influençant la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.). Ann. Rech. For. Maroc, T (27). 243-257P.
- Landis W.G., Yu M.H., (1995).** Introduction to environmental toxicology. Impacts of chemicals upon ecological systems. CRC Press, Inc. Boca Raton, USA, 328p.
- Lanier L., (1976).** Mycologie et pathologie forestières. Tome II. Pathologie forestière. Edition Masson. Paris. Pp : 16-26.
- Lehninger A.L., (1989).** Principes de Biochimie. Aminoacides et peptides ; La photosynthèse. Eds.Flammarion Medecine-Sciences, Johns Hopkins University, Paris, 1001p.
- Lehnginger Y., (2008).** Materials characterization introduction to microscopic and Spectroscopic Methods. Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd. ISBN 978-0-470-82298-2 (HB), 337p.
- Lepoutre B (1963) :** Premier essai de synthèse sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le moyen Atlas Marocain.O.R.S.T.O.M Coll. Ref 11063.
- Lepoutre B., (1964).** Premier essai de système sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le moyen Atlas marocain. Ann. Rech. For. Au Maroc. Tome VII. Pp: 157-163.
- Le Meignen P., Micas L., (2008).** Bilan des dépérissements forestiers dans les Alpes-de-Provence. Forêt méditerranéenne. T XXIX, N°2, Pp : 177-182.
- Levy G., Becker M., (1987).** Le dépérissement du sapin dans les Vosges : rôle primordial de déficits d'alimentation en eau. Ann. Sci. For. 44 : 403-416.
- Lieutaghi P., (1970).** Le livre des Arbres, Arbustes et Arbrisseaux. Actes Sud. France.1305 P.
- Maire R., (1926).** Carte phytogéographique de cœur Algérie et de la Tunisie – Gouv. Gén. Algérie. Vol 1. 78 p
- Malki, H (1992) :** Contribution à l'étude de l'influence du l'Atlas dans les monts de Belezma (Algérie). Thèse Doctorat. Université de Paris Sorbonne.
- Manion P.D., (1981).** Tree disease concepts. Prentice – Hall. Englewood Cliffs. NJ, 399 p.
- Mazirt N., (1991).** Contribution à l'étude des facteurs de dégradation de la cédraie du Parc National de Belezma. Mémoire d'Ingénieur. INA. Alger. 34p.
- M'hirit O., (1982).** Etude écologique et forestière des cédraies du Rif marocain .Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du Cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti). Ann .Rech. Forest. Du Maroc, T (22), 502p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- M'hirit O., (1994).** Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti), présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva méditerranéa. Ann. Rech. Forest. Maroc, T (27) : 3-21.
- M'hirit O., Benzyane M., (2006).** Taxonomie et répartition historique, in M'hirit O, le cèdre de l'Atlas. Ed. Mardaga. 13-26p.
- M'hirit O., (2006).** Le cèdre de l'Atlas. Mémoire du temps. Ed. MARDAGA. 288 p.
- Millet Y., (2012).** L'architecture des arbres des régions tempérées : son histoire, ses concepts, ses usages. Eds. Multimondes. 397p.
- Mouna M., (1983).** Etude sur *Acleris Undulana* Walshingham (*Lepidoptera Tortricidae* Tortricinale), nouvelle tordeuse sur cèdre au Maroc. Bull. inst. Scientifique. 143-148.
- Nageleisen L.M., (2006).** Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. Ann. For. Sci. 63 : 613–624.
- Nedjahi A., (1988).** La cédraie de Chrea (Atlas Blidéen) : Phénologie, productivité, régénération. Thèse de Doctorat. Université de Nancy. 184p.
- Nedjahi A., (1994).** Etude de la croissance radiale des provenances du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en Algérie. Ann. Rech. For., T (27) : 451-462P.
- Péguy C.P., (1970).** Précis de climatologie. Masson et Cie. Paris. 152-166 P.
- Pollastrini M., Holland V., Bruggemann W., Bruelheide H., Danila I., Jaroszewicz B., Valladares B. Bussotti F., (2016).** Taxonomic and ecological relevance of the chlorophyll a fluorescence signature of tree species in mixed European forests. New phytologist. 212: 51–65.
- Prusty, B.A.K., Mishra, P.C., Azeez, P.A., (2005).** Dust accumulation and leaf pigment content in vegetation near the national highway at Sambalpur, Orissa, India. Ecotoxicology and Environmental Safety. 60 : 228 – 235.
- Pujos A., (1964) :** Le milieu de la cédraie marocaine. Ann. Rech. For. Maroc. Tome 8. p198.
- Pujos A., (1966).** Les milieux de la cédraie marocaine. Etude d'une classification des cédraies du Moyen Atlas et du Rif en fonction du sol et du climat de la régénération actuelle dans les peuplements. Ann. Rech. For. Maroc. 8 : Rabat 283p.
- Quezel P., Santa S., (1962-1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, 1-2. - C.N.R.S. Paris.
- Quezel P., (1998).** Cèdres et cédraies du pourtour méditerranéen : Signification bioclimatique et phytogéographique Forêt Méditerranéenne. T XIX n° 3 pp. 243-257.
- Quezel P., (1980).** Le peuplement végétal des hautes montagnes d'Afrique du nord. Ed. Le chevalier. 205-256P.
- Ramade F., (2003).** Eléments d'écologie, Ecologie fondamentale, Ed DUNOD, paris, P690.
- Raven P.H., Johnson B.G., Masson, Losos B.J., Singer R.S., (1970).** Biologie. De boeck. France. 1259P.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Richardson A.D., Duigan S.P., Berlyn G.P., (2001).** An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. Eds. New phytologist. 153 : 185–194.
- Roh E., Demarteau M., François L., et Cheddadi R., (2007).** Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. *Géo-Eco-Trop*, 31: 105: 146.
- Roy G., (1998).** Rôle des facteurs climatiques dans le mécanisme du dépérissement des érablières appalachiennes. Thèse doctorat, Univ de Sherbrooke Canada.
- Schoenberger A., (1970).** Etude de la végétation de l'Aurès Oriental. F.A.O projet d'Algérie 15P.
- Seltzer P., (1946).** Le climat de l'Algérie. Institut Météo et Physique du Globe. Uni. Alger. 129p.
- Semah H., Renault-Miskovski G., (2004).** Evolution de la végétation depuis deux millions d'années. Edition Errance. 225p.
- Sfea, 2008.** Que peut faire le forestier par rapport à ces changements ? Fiche n° 2.5.
- Shyam S., Nath K., Singh D., (2008).** Harmful effects of air pollutants in biochemical parameters of plants. *Research in Environment and Life Sciences*. 65 – 68.
- Talbi Y., (2010).** Contribution à l'étude des insectes associés au dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica*) dans la région de Batna : Cas de la Cédraie de Belezma. Thèse de magister. Université de Batna.
- Taleb M., (2004).** Contribution à l'étude de la productivité de *Cedrus atlantica* Manetti en fonction des Caractéristiques Stationnelles. Mem. Ing. Agr. I.N.A. El-Harrach. Alger, 81p.
- Thomas A.L., Gégout J-C., Landmann G., Dambrine E. and King D., (2002).** Relation between ecological conditions and fir decline in a sandstone region of the Vosges Mountains (northeastern France). *Ann. For. Sci.* 59 : 265–273.
- Toth, J (1971) :** Le cèdre (*Cedrus atlantica* M) en France. Bull.Vulg.For. n° 4. pp 1-20.
- Toth J., (1978) :** Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M) dans le sud de la France Thèse Doct. Ing. Fac. Sci. St Jérôme, Marseille, 196 p.
- Toth J (1980) :** Le cèdre dans quelques pays du pourtour méditerranéen et dans deux autres pays à grandes importance forestières Forêt Méditerranéenne. T.II.n° 1, pp23-30.
- Toth J., (1981).** Contribution à l'étude monographique du Cèdre dans la zone méditerranéenne. INRA, Station d'Avignon, Doc (5), 25 p.
- Toth J., (1984).** Quelques éléments nouveaux pour mieux situer et caractériser le cèdre de l'Himalaya vis-à-vis du cèdre du Liban en France méridionale Bull. Soc. Et. Sc. Nat. Vaucluse. pp 41-49.
- Toth J., (1990).** Le cèdre III. Intérêt paysage. Cédraie touristique. Forêt privée. N° 195. 8p.
- Toth J., (2005) :** Le cèdre de France. Etude approfondie de l'espèce. Paris, L'Harmattan. Biologie. Ecologie, Agronomie. 207 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Tremblay V., (1999) : Dendroécologie du dépérissement du bouleau blanc (*Betula Papyrifera* Marsh) après coupe forestière dans la réserve faunique des Laurentides.

Witham F.H., Blaydes D.F., Devlin R.M., (1971). Experiments in plant physiology. Eds. Van Nostrand Rein hold, 245 p.

Zeraria L., (1986). Etude phytosociologique des groupements végétaux forestiers du parc national de Chrea. Ann. Rech. For. Vol1. 23-52 P.

Zine El Abidine A., (2003). Le dépérissement des forêts au Maroc : Analyse des causes et stratégie de lutte. Sécheresse, 14 (4) : 209-218.

Présenté par :
Harrat Nadia
Saidi Amel

Encadré par :
Dr. Delaa Yassmina

Thème : Approche écotoxicologique de l'étude du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans la montagne d'Ain Mimoune

Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Ecologie fondamentale et appliquée

Résumé

A Khenchela, le cèdre de l'Atlas est soumis à un dépérissement qui s'aggrave ces dernières années. Cette situation est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs de stress de nature biotique ou abiotique provoquant l'affaiblissement de l'arbre et parfois même sa sénescence précoce. Le sujet de la présente étude se consacre à l'analyse de l'impact potentiel des dépôts de la baryte sur ce phénomène de dépérissement et sur le pouvoir de régénération naturelle du cèdre de l'Atlas dans les forêts de Noughis, Ouled Yagoub et Chélia à Khenchela. Nous avons effectué des prélèvements d'échantillons sur les aiguilles du cèdre de trois stations, sur lesquelles une évaluation des teneurs en chlorophylle a été réalisée au laboratoire pédagogique de l'université, où les variations des teneurs entre les stations de prélèvements ont été observées par spectrophotométrie UV-Visible. Les résultats obtenus reflètent des concentrations très importantes de chlorophylle dans les aiguilles du cèdre localisé à proximité de l'industrie de transformation de baryte. Cette étude peut être une base de recherche de la relation controversée entre cet arbre endémique qui constitue une ressource très importante pour le pays et les poussières induites par les dépôts des effluents de l'industrie.

Mots clés :

Jury de soutenance :

Président : Daif Allah Tarek	(M.C.B)	U Abbes Laghrour – Khenchela-
Promotrice : Delaa Yassmina	(M.C.B)	U Abbes Laghrour – Khenchela-
Examineur : Ziouche Omar Ramzi	(M.C.B)	U Abbes Laghrour – Khenchela-