

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



Université El-Hadj Lakhdar
– Batna –
Faculté des Sciences
Département d'Agronomie



MÉMOIRE

Pour l'Obtention du Diplôme de Magistère en Agronomie

Option : Gestion durable des écosystèmes forestiers

Présenté par :

BELOULA Salima

**Etude sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas dans
le Parc National de Belezma
(Wilaya de BATNA)
Apport de la télédétection et SIG**

Devant la commission d'examen :

M. OUDJEHIH B.	Prof.	Université de Batna	Président
M. OLDACHE E.H	M.C	ENSA (Ex INA, Alger)	Directeur de thèse
M. BENTOUATI A.	M.C	Université de Batna	Examineur
M. MESSAOUDENE	Dir. de Recherche	INRF	Examineur

Année 2010

REMERCIEMENTS

Je remercie avant tout mon **DIEU** tout puissant qui m'a comblé de ses bienfaits et m'a donné assez de force pour achever ce travail et de venir au bout de cette formation.

J'exprime ma profonde gratitude à mon promoteur M. OLDACHE pour ses conseils, ses remarques et le temps qu'il m'a consacré.

Je tiens également à présenter mes sincères remerciements à M. BENTOUATI A., qui a bien voulu accepter de faire partie de ce jury.

Qu'il trouve ici, le témoignage de ma gratitude et de mon respect, je le remercie aussi très sincèrement pour son aide, son encouragement et son accueil chaleureux.

J'exprime ma reconnaissance à M. OUDJEHIH d'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Tout comme je me dois exprimer ma reconnaissance pour sa présence comme membre de jury à M. MESSAOUDENE.

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé au niveau du Parc National de Belezma.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACE

A mes parents et mes frères ;

A mes amis(es) et à tous ceux qui me sont chers ;

A moi.

Je dédie ce travail.

Salima

TABLE DE MATIÈRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

PREMIERE PARTIE : Étude bibliographique

CHAPITRE I : Caractéristiques générales du cèdre de l'Atlas

Introduction	3
1-Systématique	3
2-L'aire de répartition naturelle du cèdre de l'atlas.....	4
3-Aire d'introduction	9
4-Caractères botaniques et forestières	9
5-Caractéristiques écologiques du cèdre de l'Atlas	11
5.1- Climat	12
5.1.1- Température.....	12
5.1.2- Précipitation.....	12
5.2- Altitude	12
5.3- Exposition	13
5.4- Sol	13
6-Les ennemis du cèdre de l'Atlas	13
6.1- Les insectes	14
6.2- Les maladies cryptogamiques (Champignon)	14
6.3- Les incendies	15
6.4- Les animaux	15
6.5- L'homme	15
7- Association végétale	16
8- Utilisation du cèdre : intérêt	16
9- Résistance du cèdre à la sécheresse	17
10- La régénération du cèdre	17

Chapitre II : Le dépérissement

Introduction	18
1- Facteurs du dépérissement	19

2- Symptômes du dépérissement	21
3- Le dépérissement forestier dans le monde	22
4- Le dépérissement forestier en Algérie - La cédraie des Aurès -.....	24
5- Complexité de l'étude de dépérissement forestier	24
Conclusion	25

DEUXIEME PARTIE : Etude expérimentale

Chapitre I : Présentation de la zone

Introduction	26
1-Situation géographique	27
2- Limites administratives	27
3- Le Relief	27
4- Géologie et sol	27
5- Végétations	28
6- Climat	28
6.1. Synthèse climatique	33
6.2. Diagramme Ombrothémique de GAUSSEN	33
6.3. Quotient pluviométrique d'EMBERGER	35
Conclusion	35

Chapitre II : Matériels et Méthodes

Introduction	37
1- Analyse du sol	37
2- Étude géomatique	38

Chapitre III : Résultats et Discussion

Introduction	39
1- Résultats et interprétation des cartes thématiques élaborées	39
2- Analyse des données climatiques	44
3- Caractérisations physico-chimiques des sols	48
4- Interprétation des différents facteurs de la station.....	51
4-1- Influence de l'altitude	51

4 -2- Influence de l'exposition et de la pente.....	53
4-3- Influence humaine.....	54
5-Complexité des facteurs écologiques.....	56
6- Synthèse et conclusion.....	56
CONCLUSION GENERALE.....	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

	page
Figure n°1 : Répartition naturelle du cèdre de L'Atlas.....	6
Figure n°2 : Répartition du cèdre de l'Atlas dans les Aurès.....	8
Figure n°3 : Le dépérissement massif au sein du parc national du Belezma.....	19
Figure n°4 : La spirale de dépérissement.....	20
Figure n°5 : L'attaque de la <i>Thaumetopeae pityocampa</i> sur un sujet de cèdre.....	21
Figure n°6 : Carte de localisation du Parc National de Belezma.....	26
Figure n°7 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (1984-2009).....	30
Figure n°8 : Variation des températures moyenne mensuelles minimales et maximales (1984-2009).....	32
Figure n°9 : Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN .Station de Hamla (1950-1975).....	34
Figure n°10 : Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN .Station de Hamla (1984-2009).....	34
Figure n°11 : Projection de la zone dans le climagramme d'EMBERGER.....	36
Figure n°12 : Exemple d'image satellitaire (Landsat) vue en trichromie.....	39
Figure n°13 : Carte représente le changement NDVI entre deux années (1999-2001).....	41
Figure n°14 : Carte représente le changement NDVI entre deux années (1999-2002).....	42
Figure n°15 : Carte représente le changement NDVI entre deux années (1999-2007).....	43
Figure n°16 : Carte représente le changement NDVI entre deux années (1999-2009).....	44
Figure n°17 : Pluviométrie mensuelle (1999, 2001, 2002, 2007, 2009).....	45
Figure n°18 : Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN .Station de Hamla (1999-2009).....	47
Figure n°19 : Variation mensuelle annuelle de la pluviométrie (1999-2009).....	51
Figure n°20 : Carte de répartition du cèdre de l'atlas au niveau du Parc de Belezma (Effet du versant).....	53

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau I: Répartition des cédraies algériennes selon le climat.....	5
Tableau II: Estimation de la superficie (ha) du cèdre de l'Atlas en Algérie.....	5
Tableau III: Superficie de la cédraie Aurassienne.....	7
Tableau IV : Quelques exemples de mortalité des forêts.....	23
Tableau V: Précipitations moyennes mensuelles (1950-1975).....	29
Tableau VI : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (1984-2009).....	29
Tableau VII: Evolution annuelle de la pluviométrie.....	30
Tableau VIII : Répartition des températures moyennes mensuelles minimales et maximales (1985-2005).....	31
Tableau IX : Répartition des températures moyennes mensuelles minimales et maximales (Période : 1984-2009).....	31
Tableau X: Estimation des surfaces de la cédraie pour Dj. Boumerzoug.....	45
Tableau XI : Estimation des surfaces de la cédraie pour Dj. Tuggurt.....	45
Tableau XII: Données physique-chimique des stations.....	49
Tableau XIII: Données pluviométriques extrapolées en fonction de l'altitude Versant nord et sud.....	52
Tableau XIV: Températures moyennes mensuelles corrigées en fonction de l'altitude.....	52



INTRODUCTION

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica* Manetti) est une espèce endémique de l'Afrique du Nord. C'est une essence qui a toujours suscité un intérêt important *en raison de ses nombreuses qualités forestières ; le maintien d'un équilibre biologique, sa faible inflammabilité, sa production de bois de qualité, un port remarquable et esthétique...* (Toth, 1978 a ; M'hirit, 1982 ; Ferrandes, 1986 ; Lanier, 1976), une croissance juvénile pouvant être rapide et une tolérance face aux stress climatiques (Boudy, 1950). Il est devenue la première essence de reboisement en particulièrement dans les pays situés au nord de la méditerranée (Toth, 1980). En Algérie, les cédraies les plus importantes se trouvent dans l'Aurès, elles constituent une grande richesse du point de vue écologique, économique et esthétique.

La cédraie Aurasiennne est connue depuis longtemps par sa capacité à résister à la sécheresse Malheureusement cette capacité a des limites, et elle se trouve actuellement en voie de disparition.

Le dépérissement des arbres forestiers est un phénomène complexe dont les facteurs responsables peuvent être très divers et non aisément identifiables et hiérarchisables (Mouna, 1994), et ils entraînent une détérioration générale, qui se termine souvent par la mort des arbres (Landmann, 1994). La cédraie de Belezma est un exemple type de ce phénomène.

Plusieurs facteurs ont été cités comme étant les causes du dépérissement du cèdre tels que : La sécheresse récurrentes, les incendies, le surpâturage, la sénescence, les maladies, les coupes illicites (ça n'a rien à voir avec le dépérissement), et le manque d'une politique forestière claire qui sont des facteurs qui affaiblissent les arbres et favorisent l'installation des insectes et des pathogènes phytophages et xylophages conduisant au dépérissement des arbres et à leur mortalité.

L'étude du dépérissement est complexe, puisqu'il s'agit bien souvent d'évaluer plusieurs facteurs (abiotiques et biotiques) agissant simultanément sur le peuplement forestier et pendant une longue période. Cette complexité exige de traiter les facteurs à étudier, séparément.

L'objectif de notre travail est d'une part connaître la dynamique du dépérissement, et d'autre part de faire le point sur quelques facteurs écologiques (climat, sol, exposition et altitude) agissant sur ce phénomène.

Notre travail aura lieu au niveau de deux stations : Djebel Boumerzoug et Djebel Tuggurt, dont l'espèce dominante est le cèdre de l'Atlas.

L'étude de la dynamique du dépérissement sera effectuée à l'aide des images satellitaires. L'utilisation de données de télédétection multi-dates combinées avec d'autres types de données concernant le milieu paraît être prometteur dans l'évaluation et l'analyse spatiale et temporelle du dépérissement du cèdre. Deux approches ont été suivies en parallèle :

- La première consiste à suivre la dynamique spatiale et temporelle de dépérissement en utilisant des images satellitaires et des observations réalisées directement -sur terrain- au niveau des deux stations (Dj. Boumerzoug et Dj. Tuggurt). Cette approche nécessite le recours à plusieurs types de traitements numériques d'images, notamment la production d'image d'indice de végétation permettant de mieux suivre le dépérissement.

- La deuxième approche s'est intéressée beaucoup plus aux divers facteurs du milieu, pouvant avoir une action sur le dépérissement.

Nous présentons dans ce travail : Deux grandes parties

Une première partie qui est une synthèse bibliographique comprenant

Le chapitre I qui traite des Caractéristiques générales du Cèdre de l'Atlas

Le chapitre II : qui s'intéressera au problème de dépérissement

Une deuxième Partie qui est l'étude expérimentale comportant

Un chapitre I qui présentera la zone d'étude

Un chapitre II qui porte sur le Matériel et les méthodes utilisés

Un chapitre III pour présenter les résultats et la discussion

Et enfin, nous terminerons notre étude par une conclusion générale et des propositions afin de contrecarrer ce fléau.



Chapitre I

*Caractéristiques du cèdre
de l'Atlas*



INTRODUCTION

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica* M.) est une essence endémique des montagnes de l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie). Il est d'ailleurs considéré par plusieurs auteurs comme l'espèce la plus importante, économiquement et écologiquement, de la montagne méditerranéenne (Benchekrone, 1993 ; M'hirit *et al.*, 2006 ; Terrab *et al.*, 2006).

La configuration de l'aire naturelle de l'espèce et sa variabilité écologique ont favorisé une différenciation de morphotypes divers et d'écotypes adaptés à une gamme étendue de climats et de substrats géologiques (Harfouche et Nedjahi, 2003)

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 deodora* **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).

En termes de surface, le Maroc et la Turquie sont au premier plan avec plus de 130.000 ha dans chacun des deux pays (M'hirit et Blerot, 1999).

1 –SYSTÉMATIQUE

Selon Emberger, (in Taleb, 2004) La position taxonomique du Cèdre de l'Atlas est :

Embranchement: Spermaphytes

S/Embranchement : Gymnospermes

Classe: Vectrices

Ordre: Coniférales

S/Ordre: Abiétales.

Famille: Pinacées

Sous famille : Abiétées.

Genre: *Cedrus*

Espèce: *Cedrus atlantica* Manetti

Nom commun: Cèdre de l'Atlas.

Nom arabe: Meddad, Erz

Nom berbère: Begnoun, lthguel

2 – L'AIRE DE RÉPARTITION NATURELLE DU CÈDRE DE L'ATLAS

L'aire naturelle du cèdre de l'atlas est très disjointe. Il occupe les montagnes de l'Afrique du Nord et plus précisément celles du Maroc et de l'Algérie (Boudy, 1950 ; M'hirit, 1982; Panestos et *al.*, 1992) (Figure n°01) .

Le Maroc détient la plus grande surface occupée par le cèdre, sa superficie est estimée à 116000 ha (M'hirit, 1994 et Messat, 1994).

La cédraie marocaine se localise dans deux régions bien distinctes : le Rif avec une superficie de 16000 ha, le moyen et le grand Atlas avec 100000 ha (Toth, 1980 ; Pradal *in* Boudjerda, 1990).

En Algérie, l'aire du cèdre est très morcelée. Les peuplements les plus importants se rencontrent dans l'Aurès, mais d'autres cédraies colonisent les massifs montagneux de l'Ouarsenis, de l'Atlas mitidjien, des Babors et du Hodna (Abdessamed, 1981 ; Derridj, 1990 ; M'hirit, 1994 ; Benabid, 1993).

Les cédraies Algériennes se divisent en deux types :

- Les cédraies sèches caractérisées par les conditions climatiques les plus sévères et soumises directement aux influences sahariennes.
- La cédraie humides qui bénéficie d'un climat particulièrement favorable (Abdessemed, 1981; Pradal, 1979 *in* Boudjerda, 1990) (Tableau I).

Tableau I: Répartition des cédraies Algériennes selon le climat.

Type de cédraie	Région	Superficie (ha)
Cédraies sèches	Aurès	12022
	Hodna	8000
	Théniet el Had	1000
Cédraies humides	Babor	1300
	Djurdjura	1200
	Atlas Blideen	1000

Source : Abdessemed (1981)

On trouve d'Est en Ouest :

1. le Massif de l'Aurès (23 254 ha)
2. les Monts du Hodna, (8000 ha)
3. le Djbel Babor, (1300 ha)
4. le Massif du Djurdjura, (2000 ha)
5. les Monts de Blida, (1000 ha)
6. le Massif de l'Ouarsenis. (1100 ha)

(M'hirit, 1994 ; Harfouche et Nedjahi, 2003 ; Roche, 2006)

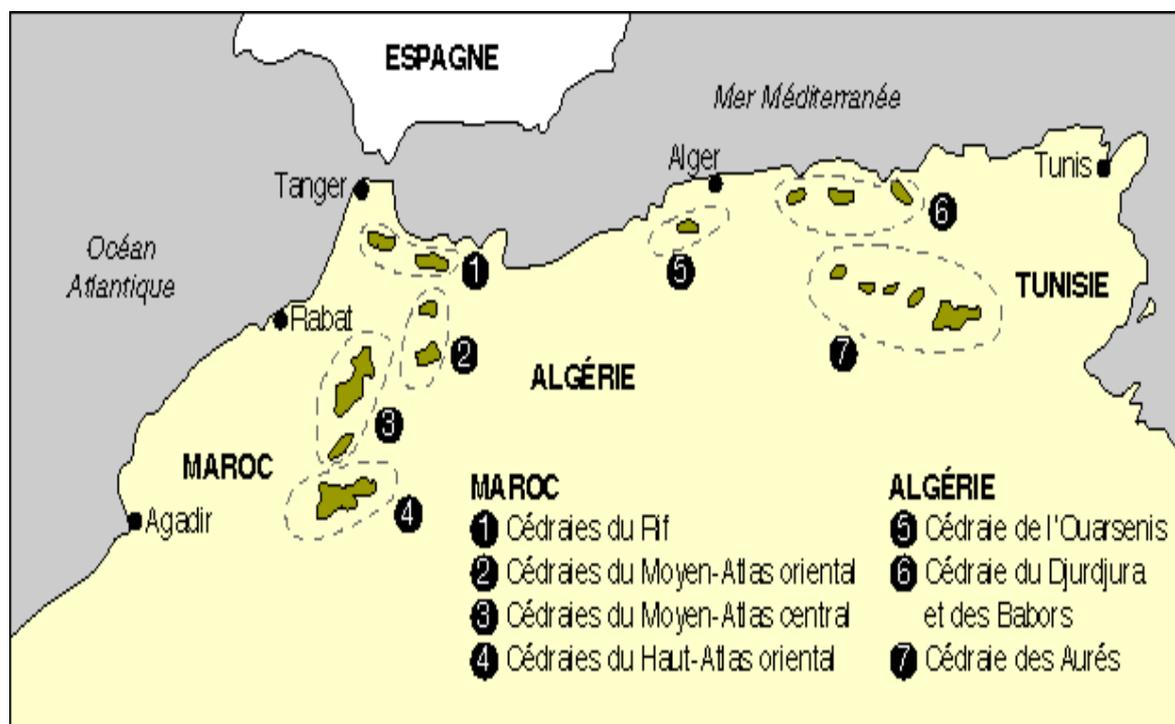
Selon Abdessemed (1981) la surface totale de la cédraie algérienne est estimée à 23 254 ha, alors qu'elle est estimée à 24 522 ha par M'hirit (1994); Harfouche et Nedjahi, (2003) et Roche, (2006), dont plus de 1 260 ha est perdue.

Tableau II: Estimation de la superficie (ha) du cèdre de l'Atlas en Algérie.

	1955 (Boudy)	1995 (INRF)	2006 (DGF)
Cèdre de l'Atlas	29.000 ha	23.000 ha	16.000 ha

D'après Boudy (1952), la cédraie algérienne, occupe 29.000 ha environ, soit 1,3 % de la surface forestière totale, ce qui semble aujourd'hui bien au-delà de la réalité, les cédraies ayant subi de

fortes dégradations. Elle est aujourd'hui de l'ordre de 16000 ha selon la direction générale des forêts (DGF) (Tableau II).



Source : M'hirit (1993)

Figure n°01 : Répartition naturelle du cèdre de l'Atlas.

L'Aurès est une montagne qui culmine à 2328 m, on trouve les sommets les plus élevés de l'Algérie : Mont Chélia (2328 m) ; Mont Mahmel (2321 m) ; Mont Amamra (2149 m) ; Mont Aidel (2147 m) ; Mont Tugourt (2094 m).

Le cèdre est groupé en deux massifs principaux : l'un à l'ouest près de Batna avec la forêt de Belezma sur les flancs de Djebel Tuggurt (7000 ha), l'autre à 50 km à l'Est, près de Khenchela dans le massif des Beni Oudjana sur 3000 ha (Mont Chélia) et des Ouled Yagoub (3000 ha) et de Djebel Feraoun, Djebel Aidel.

Entre ces deux ensembles, se trouve des cédraines moins importantes : Sgag (600 ha), Djebel Azreg (2600 ha) et Ras Ichmoul (150 ha).

Tableau III: Superficie de la cédraie Aurassienne

	Level et Lefebre cité par Faurel et Lafitte (1949) (Ha)	Boudy (1955) (Ha)	FAO (1971) (Ha)
Khanchela	4.000	3.000	3.300
Chelia	7.000	3.000	2.375
Ras Ichmoul	-	150	-
S'gag	500	600	2.093
Djebel Azreg	550	2.600	-
Belezma	8.000	8.100	4.254

Source : Khanfouci (2005)

Le tableau (III) montre que la superficie du cèdre de l'Atlas dans l'Aurès a été réduite de près de moitié.

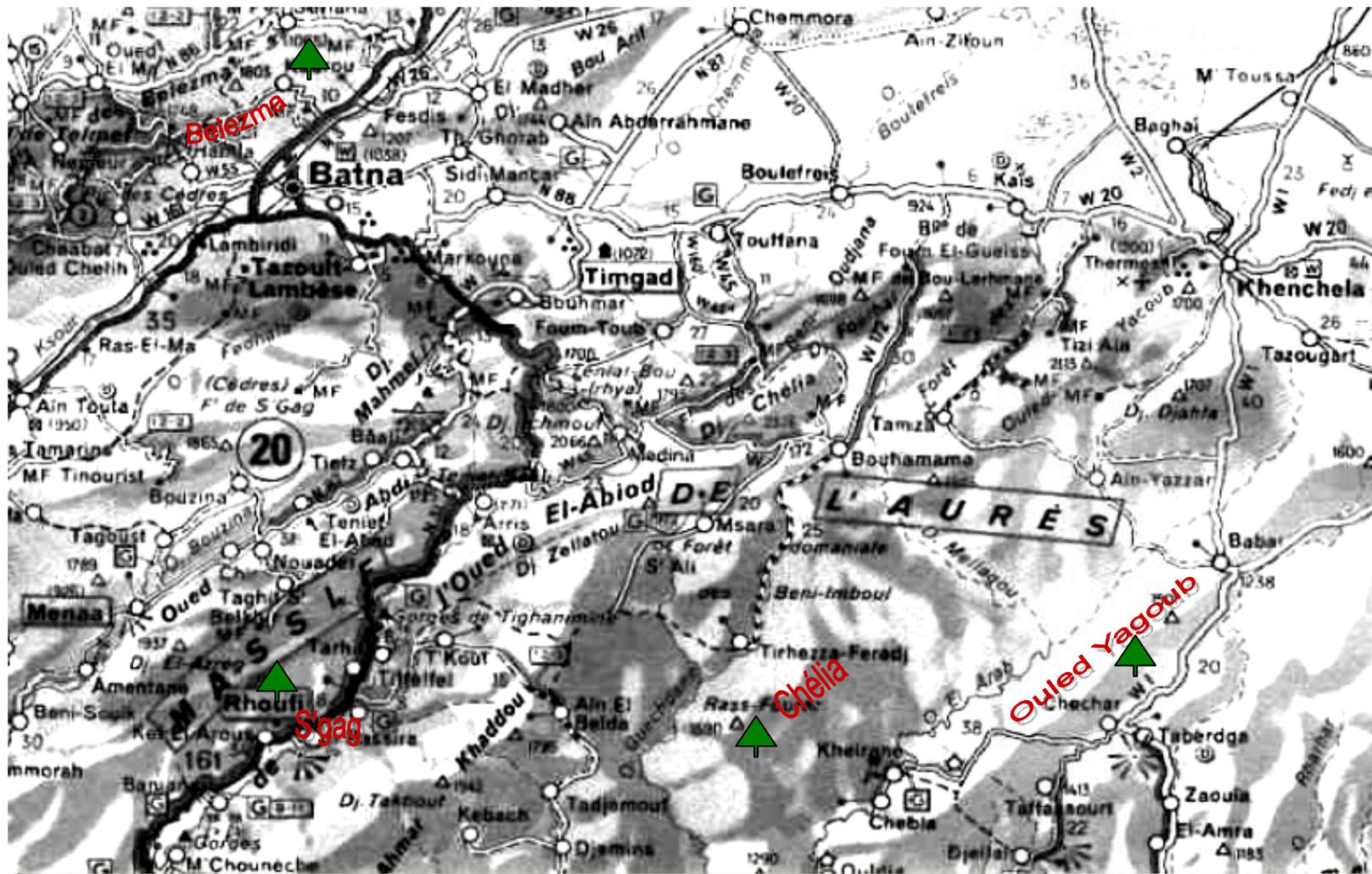


Figure n°02 : Répartition du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (lettre de Belezma, N°9, 2005) Échelle : 1/1500

3 – AIRE D'INTRODUCTION

Le cèdre de l'Atlas a été depuis longtemps l'une des espèces de reboisement les plus utilisées dans la région méditerranéenne (Ripert et Boisseau, 1994).

Dans le sud de la France, le cèdre de l'Atlas fut introduit pour la première fois en 1862 sur une superficie de 10-15 ha dans le reboisement de la forêt communale de Bédoin (Vaucluse) et dans la chênaie pubescente du Mont-Ventoux (Toth, 1971, 1994).

Aussi, il a été également introduit en Portugal en 1935 (Toth, 2005), en Italie en 1964 (Brunetti et al., 2001, Andrea et Roberto, 1994), en Espagne, les États Unis M'herit (1994), la Bulgarie en 1876 (Delkov et Grozev, 1994) et en Hongrie en 1955 (CSABA, 1994) et en Tunisie (Dahman et Khouja, 1994 ; Lasram, 1994).

4 – CARACTERES BOTANIQUE ET FORESTIERE

Le cèdre de l'Atlas 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 (Gausson, 1967).

Cône: Le cône est cylindrique de 5 à 8 cm de long, vert avant maturité puis brun, Il est cylindrique à sommet aplati ou déprimé (Debazac., 1964 ; Toth, 1971 et Riou-Nivert, 2007). Il mûrit en 2 ans (Boudy, 1952).

Longévité : la longévité du cèdre est très remarquable, elle peut dépasser 1000 ans (Boudy, 1950; Toth, 1978).

Taille : le cèdre de l'Atlas est un arbre de première grandeur pouvant atteindre 50 m de haut et 6 m de circonférence.

Tronc : il est généralement branchu avec une hauteur dépassant rarement les 20 m. Il est droit ou conique pendant son jeune âge et devient tortueux dès que l'individu est âgé.

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 ; Maire in Krouchi, 1995).

Enracinement : L'architecture du système racinaire est très étendue, ramifiée et pivotant (Boukcim et all, 2001). Les racines obliques colonisent les sols humides et profonds (Toth, 1970 et Ripert, 2007), et assure la stabilité de l'arbre (Boudy, 1950).

La graine : Elle est marron-roux, subtriangulaire, longue de 10 à 15 mm, tendre, très résineuse, à aile large (bois 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 aiguilles : Elles sont isolées sur les jeunes rameaux longs et sur les pousses de l'année, leur longueur est de 1 à 2 cm, rigide à apex aigu, d'une couleur qui varie du vert foncé au vert bleuté selon les arbres ; elles sont fasciculées et en rosette sur des rameaux courts elles sont persistantes (Boudy, 1950 ; Toth, 1971). Il est à noter qu'il existe une certaine variabilité intra-spécifique de *Cedrus atlantica*. Ainsi, les provenances algériennes présentent des aiguilles plus longues, mais moins nombreuses par rosettes que celles de leurs homologues marocaines (Bariteau et Ferrandes, 1992).

-Rameaux : Selon (Arbez et al., 1978) ils sont de deux sortes :

- 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)

-Organes de reproduction : Le cèdre de l'Atlas est une essence monoïque : les fleurs mâles et femelles de type chatons évoluent sur le même arbre. Les inflorescences mâle et femelle ne se constituent pas en même temps. **Les inflorescences mâles** sont d'un jaune verdâtre alors que les **inflorescences femelles** sont d'un vert pâle (Debazac, 1964).

Pollinisation : A partir du mois d'Octobre, les bractées des inflorescences femelles commencent à s'ouvrir progressivement pour recevoir les grains de pollen libérés par les chatons mâles. . Ces derniers se détachent une fois la pollinisation terminée. (Toth, 1978 a ; 1978 b ; 1982-1984; 1984).

Selon Boudy (1952), la fécondation des fleurs se produit en automne. Durant l'année suivant, le cône se forme et à l'automne de la deuxième année, il reste vert sur l'arbre. Durant la troisième année, se produisent la maturation des cônes et leur désarticulation.

5 – CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES DU CEDRE 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).

5.1- Climat

Selon Faurel (1947), La répartition géographique des cédraies est le résultat de composantes d'ordre presque uniquement climatique.

Le cèdre de l'Atlas se trouve donc en climat méditerranéen humide (Rif), sub-humide (Moyen Atlas) ou semi-aride (Aurès, Grand Atlas oriental) (Debazac, 1964).

Généralement le cèdre est une espèce de demi-ombre, occupant les étages bioclimatiques allant du semi-aride supérieur et subhumide, à variante fraîche à très froides (Quezel in Nedjahi, 1988 ; M'hirit, 1982 ; Derridj, 1990 ; Pons, 1998).

Le cèdre de l'Atlas trouve son optimum écologique dans le climat méditerranéen humide à hiver froid (Quezel, 1980).

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).

(Boudy, 1950)

5.1.1- Température

La température constitue un facteur écologique limitant et important. Elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition des végétaux.

En Afrique du nord (Maroc, Algérie) le cèdre vit entre 8°C et 10°C (température moyenne annuelle).

Dans les Monts des Aurès il se trouve entre 8 °C et 10 °C, à Ifran (MAROC), il se trouve entre 10 °C et 12 °C (Gausse, 1955 in Saadi, 1992). Riou-Nivert (2005) a signalé que le cèdre peut résister à très basses températures (-20°C).

5.1.2- Précipitation

La pluviométrie joue un rôle prépondérant sur la croissance du cèdre (Toth, 1987). Le cèdre de l'Atlas, est une essence pas très exigeante pour la pluviométrie, allant de 450 mm/an à 1700 mm/an (Schoenenberger, 1970). Selon Mediouni et Yahi (1994), le cèdre se développe entre 440 et 1403 mm de pluie.

La pluviométrie varie d'une station à l'autre ; la cédraie du massif littoral des Babors bénéficie de pluviométrie annuelle de 1400 mm, dans les Aurès la pluviométrie est plus faible ; 400 à 500mm.

5.2- Altitude

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.

Selon Quezel (1980), la cédraie peut descendre jusqu'à 900 m en Algérie. Au Maroc, elle peut aller, selon M'hirit (1982) et Abourouh (1994) jusqu'à 2500 m sur le haut-Atlas oriental.

En France le cèdre de l'Atlas est introduit à moins de 1000 m sur versant Nord avec succès. Il peut se rencontrer à des altitudes inférieures à 400 m (Provence), aussi bien qu'en altitudes supérieures à 700 m où les conditions sont meilleures (Ripert et Boisseau, 1993).

L'optimum écologique du cèdre se situe vers 1800 m d'altitude (Boudy, 1950), alors qu'Achhal et al. (1980) entre 1600 m et 2000 m. Au-delà de 2600 m, il est remplacé généralement par le Genévrier thurifère (Demarteau, 2006).

Dans le massif de Belezma, le cèdre de l'Atlas évolue dans une tranche altitudinale allant de 1400 à 2000 m d'altitude (Bentouati et Oudjih, 1999).

L'altitude joue un rôle important dans les processus de régénération naturelle du cèdre par l'influence de la période de végétation est plus courte.

A la basse altitude, les hivers sont plus doux et la régénération du cèdre est plus abondante, tandis qu'à haute altitude les hivers sont rudes et retardent donc les dates de germination ce qui est plus souvent incompatibles avec la survie des plantules (Lepoutre, 1963 b et Nedjahi, 1988).

5.3- Exposition

L'exposition joue un rôle très important dans la répartition du cèdre. C'est ainsi que pour une même chaîne de montagne le cortège floristique ainsi que la croissance, la fructification et la régénération sont différentes selon les versants. Cela s'explique surtout par le volume différent des précipitations selon les expositions. Selon Seltzer (1946) et Lehouerou (1975), il existe des relations entre l'exposition et l'altitude d'une part et la pluviométrie d'autre part et préconisent entre 20 et 40 mm d'accroissement de la pluviométrie annuelle par 100 m de dénivelée selon l'exposition des versants.

En Algérie les plus belles cédraies évoluent sur les versants nord et nord-ouest, plus exposées à une pluviométrie importante par suite de vents humides, comparativement aux versants sud exposés aux vents chauds et secs « Sirocco » et un ensoleillement plus fréquent (Emberger, 1935).

5.4- Sol

Selon Boudy (1952) et Lepoutre (1963), le cèdre s'accommode à toutes les compositions chimiques du sol c'est la composition physique qui joue le rôle prépondérant. Ce qui le rend apte à coloniser presque tous les types de sol (Toth ; 1971). Les textures légères semblent prisées par les jeunes semis (Pradal, 1979). Le cèdre préfère les sols profonds, meubles et caillouteux, généralement, il pousse mieux sur les calcaires plus ou moins compactés que sur les schistes, calcaires ou gréseux et en grès.

Il redoute les sols mal drainés, asphyxiants et hydromorphes; la structure argileuse lui est défavorable également (Schoenberger, 1970 ; Toth, 1971, 1981 et Anonyme, 1971 in Hadji, 1991).

Le cèdre peut croître aussi bien sur sol acide (pH 4) que sur sol basique (pH 8) (Alexandrain, 1992, in Belloumi, 2002).

En Algérie, on le retrouve sur les sols gréseux, sur les schistes et les sols calcaires (Bariteau et al, 1990 in Khanfouci, 2005). Dans les Aurès, le cèdre de l'Atlas évolue sur des sols bruns ou des rendzines. Les roches qui forment ces sols sont des grès blancs, des dolomies et des marnes (Schoenberger, 1970; Abdessemed, 1981), des sols bruns fersiallitiques, ou des sols bruns eutrophes sur grès (Benarab, 1996).

6 – LES ENNEMIS DU CÈDRE DE L'ATLAS

Plusieurs espèces d'insectes existent dans les cédraies du bassin méditerranéen et commettent des dégâts (Fabre, 1976). Les chercheurs de l'INRA signalent des peuplements spontanés de cèdre de l'Atlas du nord par un riche complexe d'insectes phytophages dont les processionnaires et les scolytes (Bariteau et al, 1992).

6.1- Les Insectes

6.1.1- Les insectes mangeurs des feuilles (défoliateurs)

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 Bélezma. Depuis, sa présence a été confirmée à la suite d'investigations dans les cédraies (Gachi et al., 1986; & Gachi, 1989).

La chenille Processionnaire du pin (*Thaumetopeae pityocampa*), Qui attaque les aiguilles des jeunes pousses (Boudy, 1950).

Tordeuse du Cèdre (*Epinotia cedria*) attaque en effet l'arbre en entier indépendamment de son âge et de sa situation dans le massif forestier (Mouna, 1986 et Ladjal, 2007).

Selon M'hirit et al., (2006), l'*Epinotia algeriensis*, elles peuvent pulluler et constituer un danger, ou, aussi vivre dans l'aire du cèdre à l'état de latence sans présenter de risques pour l'arbre.

Cette Tordeuse a pour seuls hôtes connus les Cèdres de l'Atlas et du Liban. Elle a été décrite initialement sur des individus récoltés en France, sur Cèdre de l'Atlas, dans la cédraie du Luberon, par Diakonoff en 1969. Depuis, sa répartition géographique a été précisée (Fabre, 1976). Dans l'aire naturelle des Cèdres, elle est présente au Maroc, et largement répandue en Algérie.

6.1.2. Les Insectes Mangeurs de Graines

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

6.1.3- Les Insectes Suceurs du Sève

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

6.2- Les Maladies Cryptogamique (Champignons)

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

- (***Polyporus officinalis***) : cause des altérations plus au moins graves au cèdre (Boudy, 1952).
- (***Armillaria milla***) : ce champignon attaque surtout les racines et le tronc, ce champignon se développe surtout sur les arbres affaiblis par une cause quelconque (Malki, 1992).

6.3- 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 ; Toth, 1970).

6.4- Les Animaux

En plus les insectes, les champignons, les incendies, on peut citer le sanglier comme un animal qui endommage la régénération naturelle du cèdre par son mode de nourriture et notamment par le piétinant et qui se fait particulièrement sous couvert.

Le bétail (surtout le Bovins) lâché en liberté dans la forêt cause lui aussi de terribles dégâts par leur empiétement qui compacte le sol (Mazirt, 1991 ; Belkhiri, 1993). 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.

6.5- 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).

7- ASSOCIATION VÉGÉTALE

L'association floristique du cèdre de l'Atlas varie d'un étage bioclimatique à un autre. Selon Boudy (1952) la cédraie se présente sous deux faciès :

- **Faciès humide**

Localisé aux monts de Chréa, dans les Babor et au moyen Atlas marocain caractérisé par le chêne vert, le chêne Zeen de l'IF et par l'absence de genévrier thurifère et de nombreuses autres espèces.

- **Faciès relativement sec**

Qui est celui de l'Aurès, des Monts des Hodna, Theniet El Had et du grand Atlas orientale marocain. Selon Boudy, 1952 Les espèces les plus caractéristiques de ce faciès sont :

Pinus halepensis Mill.....Le pin d'Alep.

<i>Juniperus oxycedrus</i>	Le genévrier oxycèdre.
<i>Juniperus Thurifera</i>	Le genévrier thurifère.
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	Diss
<i>Fraxinus xanthoxyloides</i>	Le frêne dimorphe.
<i>Acer monspessulanum</i>	L'érable de Montpellier.
<i>Sorbus aria</i>	Le sorbier
<i>Quercus ilex</i>	Le chêne vert
<i>Crataegus monogyna</i>	L'aubépine monogine
<i>Taxus baccata</i>	L'if

8- UTILISATION DU CÈDRE

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 Benzyane, 2006).
- Protection contre l'incendie, feuillage peut inflammable (Alexandrian et Gouiran, 1992 ; Aussenac, 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).

9- RÉSISTANCE DU CÈDRE À LA SÉCHERESSE

La résistance à la sécheresse chez le cèdre réside dans son développement racinaire profond et rapide (Grieu et Aussenac, 1988 *in* Ducrey, 1993).

L'adaptation du cèdre de l'Atlas à la sécheresse réside dans sa bonne croissance radiaire et sa capacité à prospecter le sol en profondeur, ce qui explique le relativement bon comportement des cèdres sur sols calcaires superficiels mais fissurés (Ducrey, 1993).

Selon le même auteur le cèdre résiste à des stress hydriques très importants. Il peut supporter des dessèchements atteignant -40 bars. Mais d'autres rapportent que le stress hydrique se manifeste à partir de -16 bars, puis vers le taux d'humidité diminue jusqu'à la fermeture des stomates, vers -30 bars les tissus ne peuvent plus retenir leur eau de constitution intra-cellulaire et les arbres meurent rapidement (Pradal, 1979 *in* Ait Abderrahman, 2007).

Par ailleurs, la présence de champignons ectomycorhiziens dans plusieurs sites de la cédraie peut conférer aux jeunes semis une tolérance à la sécheresse (Lamhameadi et Chbouki ; 1994).

10- LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE

Le problème des cédraies naturelles est le manque de régénération, qui serait lié au surpâturage (Pujos, 1964) le manque de réglementation forestier (pâturage en forêt) à affecté sensiblement cette régénération.

En Algérie, la régénération est confrontée à d'énormes difficultés que les forestiers rattachent à de nombreux facteurs : le surpâturage et, surtout, l'absence de sylviculture dans les peuplements adultes.

En Algérie, selon Boudy (1952) la régénération naturelle est exposée à une série de facteurs tels que : les pâturages, le développement de la couche herbacée, le manque d'humidité et les futaies vieillissantes.

Toth (1980) affirme que la plupart des cédraies sont localisées dans des conditions climatiques défavorables (Aurès), dont la régénération est confrontée à d'énormes difficultés (succession d'année de sécheresse).

Chapitre II

*Caractéristiques du cèdre de
l'Atlas*



INTRODUCTION

Les forêts sont négativement affectées par différents facteurs qui se propagent sur une grande échelle temporelle et spatiale induisant des pressions directes ou indirectes sur son état (Requardt et al. 2007) et le maintien de son bon fonctionnement des écosystèmes forestiers (Laurent et al. 2006).

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), Bert (1992) 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 provoqueraient le changement radical de la répartition des végétaux d'où le dépérissement de la strate arborée.

Les dépérissements forestiers et plus particulièrement ce qu'on a appelé le « dépérissement des forêts » ont constitué un thème environnemental de premier ordre au cours des années 1980 (Landmann, 1994).

Un dépérissement est un processus évolutif, faisant intervenir de multiples causes qui agissent en synergie (Fiot et al., 2007). Ils peuvent être de causes purement naturelles, humaines ou une combinaison des deux (Requardt et al., 2007 et Fiot et al., 2007). Il peut être se traduit pour l'arbre par une perte de vitalité progressive et des mortalités d'organes pérennes (branches, rameaux notamment chez les feuillus) ou des pertes prématurées d'aiguilles chez les conifères (Fiot et al., 2007).

Le dépérissement est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs de stress de nature biotique ou abiotique. Ces facteurs agissent de façons consécutives ou concomitantes et provoquent l'affaiblissement de l'arbre et parfois même sa mort (Dussureault 1985 *in* Laflamme, 1992).



Figure n°3: Le dépérissement massif au sein du parc national du Belezma

1- FACTEURS DU DEPERISSEMENT

Les scientifiques évoquent le scénario conjugué de trois séries de facteurs responsables :

les facteurs prédisposant, agissent de façon durable et pérenne sur le peuplement ; **les facteurs déclenchant** abiotiques ou biotiques, agissent sur une courte durée et **les facteurs aggravants**, conduisant souvent à une issue fatale (SINCLAIR, 1964, 1967 ; Delatour, 1983 et 1990 ; Andre et Laudelout, 1992 ; Malaisse et al., 1993; Manion, 1981 in Boutte, 2007) (Figure 3, 5 et 6).

Facteurs prédisposants : inadéquation difficile, essence-station (SFEA, 2008), potentiel génétique, tassement du sol, appauvrissement en minéraux, âge,... (Manion, 1981 in Boutte, 2007) station à faible réserves en eau, sénescence du peuplement, site à exposition sud, ...

Facteurs déclenchant : regroupent des variables qui provoquent des stress de forte intensité mais qui agissent à court terme (Gagnon et al., 1994).accidents climatiques, pullulations d'insectes (défoliateurs,...) SFEA, 2008), sécheresse, concentration en sel, pollution, virus,... (Manion, 1981 in Boutte, 2007).

Facteurs aggravants : développement de parasites de faiblesse,... (SFEA, 2008). Champignons parasites, insectes xylophages,... (Manion, 1981 in Boutte, 2007).

Mais, Le « dépérissement forestier » est généralement apprécié par deux symptômes macroscopiques : la défoliation et le jaunissement du feuillage (Landmann et all., 1987). La figure (4), représente la spirale de dépérissement.

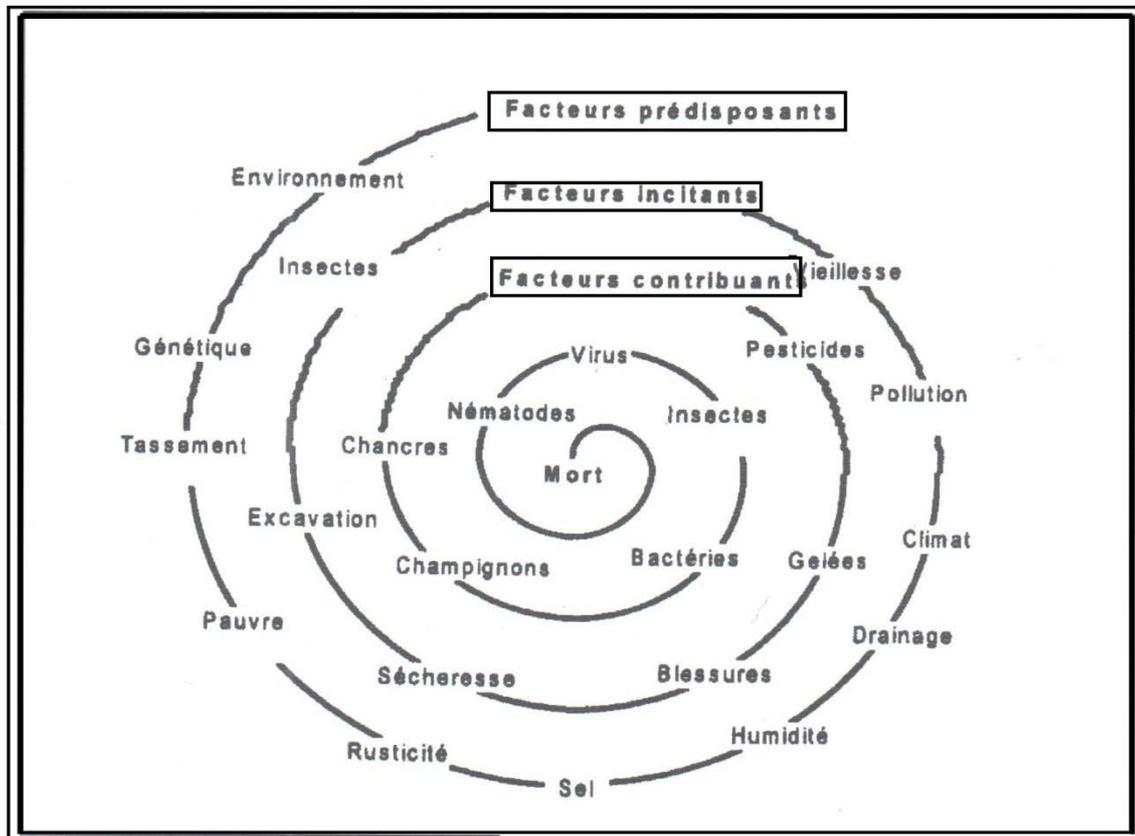


Figure n°4 : La spirale de dépérissement (Source : Lamontagne, 2000)

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, à leur tour, d'autres facteurs contribuent à amener le végétal vers une mort certaine (Manion, 1981 in Boutte, 2007).



Figure n°5 : L'attaque de la *Thaumetopeae pityocampa* sur un sujet de cèdre

2-SYMPTÔMES DU DÉPÉRISSEMENT

Les symptômes des dépérissements forestiers peuvent avoir été provoqués par des constellations de conditions défavorables et/ou d'agressions fortes différentes

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).

On constate que, lorsque plusieurs de ces contraintes se conjuguent (conditions stationnelles difficiles, pollution, salinité, vent), des phénomènes plus importants de dépérissement peuvent apparaître (Stammitti, 1992 in Garrec, 1994).

Selon Hartman et al. (1991), les symptômes concernent trois niveaux :

- **Symptômes sur aiguilles et feuilles** : chute prématurée « défoliation précoce », éclaircissement, dénudement de rameaux, de parties ou de la totalité de la couronne. Décoloration jaunâtre et blanchâtre (chloroses), brunâtres, flétrissement, anomalies de croissance, déformation.
- **Symptômes sur bourgeons, pousses et rameaux** : chute des pousses, décoloration jaunâtre, flétrissement, anomalie de croissance, déformations,...
- **Symptômes sur tronc et branches** : chute, décoloration jaunâtre, flétrissement, écoulement de gomme ou de résine, anomalies de croissance, déformations, plaies ouvertes/cicatrisées,...

Landmann (1994), ajoute les symptômes suivants :

➤ **en ce qui concerne la croissance :**

- Réduction de la croissance de quelques années à plusieurs décennies avant l'apparition des symptômes visibles ;

➤ **en ce qui concerne leurs caractéristiques spatio-temporelles :**

-dispersion au hasard (localement) des individus dépérissants (par opposition à l'action de certains pathogènes, dont l'action s'exerce de proche en proche) ;

-persistance et aggravation des symptômes durant plusieurs années.

3- LE DÉPÉRISSEMENT FORESTIER DANS LE MONDE

Généralement, le dépérissement des forêts a lieu à des marges géographiques ou altitudinales d'un type de forêt ou d'une espèce forestière (Jum, Hunt et Penuelas, 2006).

Beaucoup d'exemples de dépérissement des espèces forestières sont cités par différents chercheurs et auteurs. Au Maroc, Bakry et Abourouh (1996) cite le dépérissement du chêne liège que Jacob et al (1992) rattache aux champignons pathogènes. Le phénomène de dépérissement sur *Quercus cerris* a été aussi décrit en Italie par Vannini et Luisi (1990).

Au **France**, dépérissement des forêts du Pin maritime (GUYON, 1991), chêne pédonculé, chêne sécile, épicéa et hêtre (Laurent et Lecomte, 2006 et DSF, 2007). Micaux (2003) et Yves (2005), ajoutent le dépérissement du sapin en **Bretagne, Normandie** et des **pays de la Loire**.

En **Espagne**, les jeunes bouquets d'arbre sont touchés, le cèdre de l'Atlas dépérit au **Maroc** et en **Algérie**, selon le témoin d'experts (Gazonneau, 2007).

Le tableau IV récapitule quelques exemples de dépérissement et/ou de mortalité d'arbres en forêts qui, le plus souvent, d'écoulent du stress hydrique lié aux changements climatiques.

Tableau IV : Quelques exemples de mortalité des forêts (Source: Allen et al., 2009).

Région/Pays	Type de forêt
<u>Afrique</u>	
Algérie	<i>Cedrus atlantica</i>
Namibie	<i>Aloe dichroma</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 tabulaeformis</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	Diptérocarpacées 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
<u>Proche-Orient</u>	
Turquie	Espèces de <i>Pinus</i> et <i>Quercus</i> dans la région centrale
Arabie saoudite	<i>Junipurus procera</i>
<u>Amérique du Nord</u>	
Canada	Espèce d'Acer, <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>

4- LE DÉPÉRISSEMENT FORESTIER EN ALGÉRIE - LA CÉDRAIE DES AURÈS -

Dans les Aurès, le cèdre de l'Atlas est sujet à un dépérissement qui s'est aggravé ces dernières années. Ce phénomène concerne l'ensemble des cédraies des Aurès (Bentouati, 2007).

La cédraie reste soumise à des pressions multiples conduisant à une évolution régressive des écosystèmes (Moussafir, 2007). Ce sont des forêts qui ne se régénèrent plus, et elles sont actuellement dans un état de survie

L'intensité du dépérissement varie selon la station. Les peuplements les plus touchés sont ceux situés à base altitude où le cèdre est en mélange avec le chêne vert, il touche non seulement les cèdres âgés, mais aussi les jeunes bouquets d'arbres (Bentouati, 2007), situés dans des conditions de mauvaise alimentation en eau comme les pentes abruptes, les sols superficiels, arbres déchaussés.

Dans les Aurès, ce phénomène est apparu vers les années 1982 et serait dû principalement selon Laabed (2006) à un lépidoptère défoliateur (*thaumetapoeae Bonjeani*).

Le dépérissement des forêts s'accélère depuis 5 ans, principalement par accentuation de la sécheresse (Bariteau, 2003), probablement d'autres facteurs d'affaiblissement tels que les insectes défoliateurs ou champignons, comme l'armillaire observée chez les arbres dépérissants ou morts, interviennent par la suite (Bentouati, 2007). L'arbre devient rapidement l'hôte des insectes et des maladies. Le dépérissement est inévitable (Lamontage, 2000).

La sécheresse prolongée des ces dernières années, ainsi que l'âge avancé des peuplements seraient les principaux facteurs ayant prédisposé le cèdre au dépérissement. L'exposition de ces massifs aux influences sahariennes a accéléré la mortalité des arbres (Bentouati, 2007).

Le dépérissement se traduit en général, à l'échelle d'un arbre, par des symptômes bien visibles au niveau du houppier : mortalité d'organes, réduction de la qualité et de la quantité du feuillage. Pour ce qui est du cèdre de l'Atlas, le dépérissement commence par la cime de l'arbre et progresse vers la partie inférieure (descente de la cime) avec un certain écoulement de la résine sur les troncs.

5- COMPLEXITÉ DE L'ÉTUDE DU DÉPÉRISSEMENT FORESTIER

L'étude du dépérissement des arbres est complexe, puisqu'il s'agit bien souvent d'évaluer plusieurs facteurs (abiotiques et biotiques) agissant simultanément sur le peuplement forestier et pendant une longue période (Benoit, 2005). 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.

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 (Lanier, 1976 ; Manion, 1981 *in* Ciesla, 1993), et parfois mal connue (DSF, 2007).

Il est donc très difficile de savoir quel facteur s'avère décisif dans une situation donnée (Gartner, 1988), De ce fait, il devient très difficile de déterminer l'ordre de d'intervention de chacun des éléments mis en cause, et la tâche est encore plus ardue s'il s'agit de définir la part des responsabilités de chacun d'eux dans le processus (Lanier, 1976) ; dans bien des cas, les agents contributifs sont jugés responsable du phénomène alors qu'ils ne sont que des interventions secondaires.

CONCLUSION

Les symptômes du dépérissement forestier sont multiples et variables avec l'espèce. Certains symptômes peuvent être attribués à plusieurs facteurs différents, qui résultent une difficulté de savoir exactement le facteur qui attribue ce phénomène.

Il est primordial de mettre en évidence les facteurs déterminants du dépérissement forestier afin de minimiser l'impact du climat par une gestion sylvicole adaptée.





INTRODUCTION

Le parc national du Belezma a été créé par le décret 84 – 326 du 03 novembre 1984. Il se situe dans la partie orientale de l'Algérie du Nord, dans le massif montagneux du Belezma qui se trouve à l'extrémité Ouest de Monts d'Aurès.

Les Monts de Belezma sont caractérisés par un relief très tourmenté avec des vallées très étroites et des pics culminants jusqu'à 2136 m d'altitude (Djebel Thichaou) et 2178 m (Djebel Refâa).

1- SITUATION GEOGRAPHIQUE

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

Nord : X = 816.00	Sud : X = 790.00
Y = 273.00	Y = 250.00
Est : X = 817.10	Ouest : X = 782.00
Y = 271.90	Y = 259.00

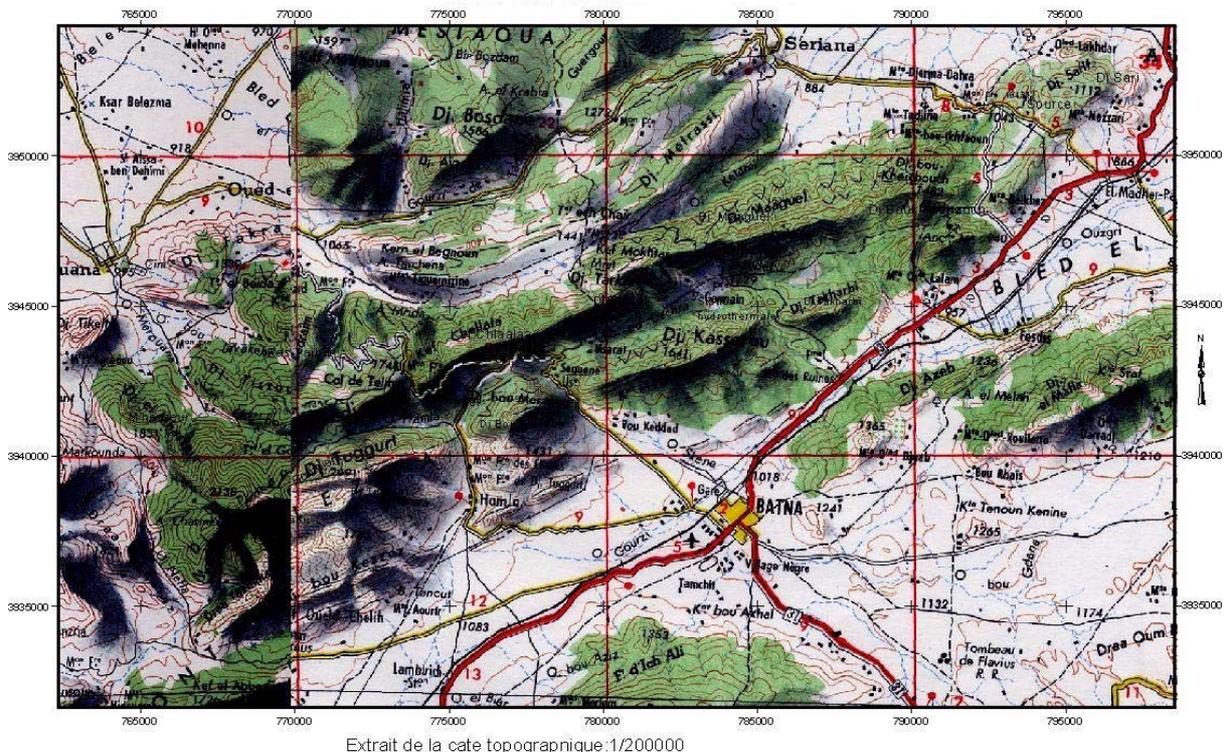


Figure n° 6 : Carte de localisation du Parc National de Belezma

2- LIMITES ADMINISTRATIVES

Le parc national de Belezma se situe sur le territoire de la Willaya de Batna et dépend des daïras et communes suivantes :

- Daïra de Batna : communes de Fesdis, Batna Oued Chaâba.
- Daïra de Merouana : Commune de Merouana, Ouled –El-Ma et Hidoussa.
- Daïra de Sériana : commune de seriana.
- Daïra de d'El –Maâdher : commune de Djerma.

3- LE RELIEF

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

11,4% de la superficie du parc se trouve à une altitude supérieure à 1400 m.

La topographie du site est globalement orientée Nord/Sud avec un relief très accidenté et des pentes supérieures à 75%. Ce sont des barres rocheuses, des falaises sur les deux versants, et des vallées étroites formées de deux (02) lignes de crête de 60 km de longueur, ces chainons de montagne sont en altitude décroissante en allant du Sud au Nord en tout point du territoire du parc.

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

4- GÉOLOGIE et SOL

Les terrains du massif de Belezma sont de formation géologique secondaire appartenant au Triasique, Jurassique et Crétacé (Lafitte, 1939, Yahiaoui, 1990 in Bentouati, 1993).

Les principales structures géologiques dans la région du parc national de Belezma sont :

- Des marnes dans sa partie inférieure et du grès dans sa partie supérieure, cette structure se trouve dans la région de Boumerzoug.
- Des marnes dans la partie inférieure, des grés dolomitique dans sa partie centrale et du gré au sommet au niveau du djebel Tuggurt (2010 m) d'altitude.
- Des grés dans la partie inférieure, du calcaire dolomitique dans la partie centrale et du gré au sommet qui domine la région de Bordjem et Chllaala.

D'après Abdessemed (1981) les sols typiques du massif de Belezma sont :

Sols bruns calcaires : se localisant sur un support de substrat marneux-calcaire au niveau des bas versants des djebels Boumerzoug et Tuggurt au sein d'un spectre altitudinal de 1400 m et 1600 m.

Sols bruns faiblement calcaires : qui se localisent essentiellement au niveau du djebel Bordjem, Chelala et Theneit El-Gontos sur substrat gréseux, et dans un spectre altitudinal allant de 1600 m à 2000 m.

Rendzines : ils évoluent à partir d'une altitude de 1600 m sur pentes fortes à djebel Tuggur et Tichaou, sur substrat calcaire.

Les sols du territoire du Parc National sont caractérisés par leur jeunesse relative, leur épaisseur ainsi que leur faible degré d'érosion (Schoenberger, 1970 et Abdessemed, 1981), absence de lessivage et érodé par endroit (Massaadia, 1989 *in* Benarab, 1996)

5- VÉGÉTATIONS

La flore du parc est très diversifiée et c'est le domaine forestier qui est largement représenté avec 82 % de la superficie totale du parc. C'est ainsi qu'on observe le cèdre, le pin d'Alep et le chêne vert.

Les particularités et les curiosités résident en l'existence d'une cédraie sur dalle unique en son genre dans la classe primitive d'une superficie de 30 ha avec la présence du houx en association avec le cèdre, ayant une superficie de 141.5 ha, l'autre curiosité c'est l'existence d'orchidées telles que *Epipactis helliborine*, *Ophirs* ...

Selon Laabed (1999) la cédraie occupe 5 679.3 ha soit 21.6% du territoire du parc. On peut le rencontrer à l'état pur, à partir de 1800 m d'altitude, ou avec du chêne vert, et genévrier à partir de 1200 m. Les plus belle cédraie s'observent sur les expositions Nord et Nord - Ouest de Chelalaa, Bordjem, Thichaou, Boumerzoug, Tuggurt et Maagal. On le trouve aussi sur les expositions Sud – Est de Tuggurt et sur le versant sud de Thichaou et M'hasseur avec une faible superficie (Nourredine, 1992 *in* Aidel, 2007).

En revanche les cédraies sur les versants Sud sont dans un état ardu (dépit) le cas du mont Boumerzoug (exposé directement aux Influences Sahariennes).

6- CLIMAT

Le climat représente un des facteurs les plus importants. Son importance se manifeste par la répartition des biomes à l'échelle de la planète (Braque, 1988), en effet il est utile de connaître la durée de la saison sèche, les quantités des précipitations et les différents facteurs climatiques (gelée, neige, vent,...) pour avoir une idée précise sur le climat de la région.

La disponibilité en eau est le premier des facteurs du milieu qui contrôlent la croissance des arbres (Loustau et al., 2005).

Sachant que la pluviométrie augmente au fur et à mesure qu'on s'élève en altitude et que les versants nord sont plus pluvieux que les versants sud ; (Seltzer, 1946, in Benissaad, 1992), préconise une élévation de 40 mm pour 100 m d'altitude sur les versants exposés en nord alors que pour les versants sud, Le Houerou in Abdessemed (1981) donne une élévation de 20 mm pour la même altitude (100 m).

Période 1950-1975

Le tableau V consigne la pluviométrie moyenne mensuelle sur une période de 25 ans (1950-1975).

Tableau V: Précipitations moyennes mensuelles (Période : 1950-1975)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	52,45	47,86	46,09	49,98	41,7	21,84	8,8	17,05	42,01	34,61	57,95	58,95	479,31

Le tableau V décrit que le mois de juillet est le mois le plus sec (8,8 mm) et le mois de Décembre est le plus pluvieux (avec 58,95 mm). On constate que la période la plus pluvieuse se situe en hiver avec 159,26 mm et la période sèche se situe en été avec (47,69 mm).

Période 1984-2009

La comparaison avec les données anciennes ci-dessus citées, montre une notable différence ; une différence qui se traduit par une nette tendance vers un cycle de sécheresse. Le tableau (VI) illustre les variations moyennes mensuelles des pluies et révèle un maximum en Avril et en Décembre. Le minimum correspond aux mois de Juillet avec une moyenne mensuelle de 7,23 mm. C'est une caractéristique de l'étage bioclimatique semi-aride auquel le parc de Belezma est soumis.

Tableau VI : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (Période : 1984-2009).

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	36,7	22	33,6	43,04	34,84	20,56	7,23	13,86	32,13	26,63	37,43	42,57	328,3

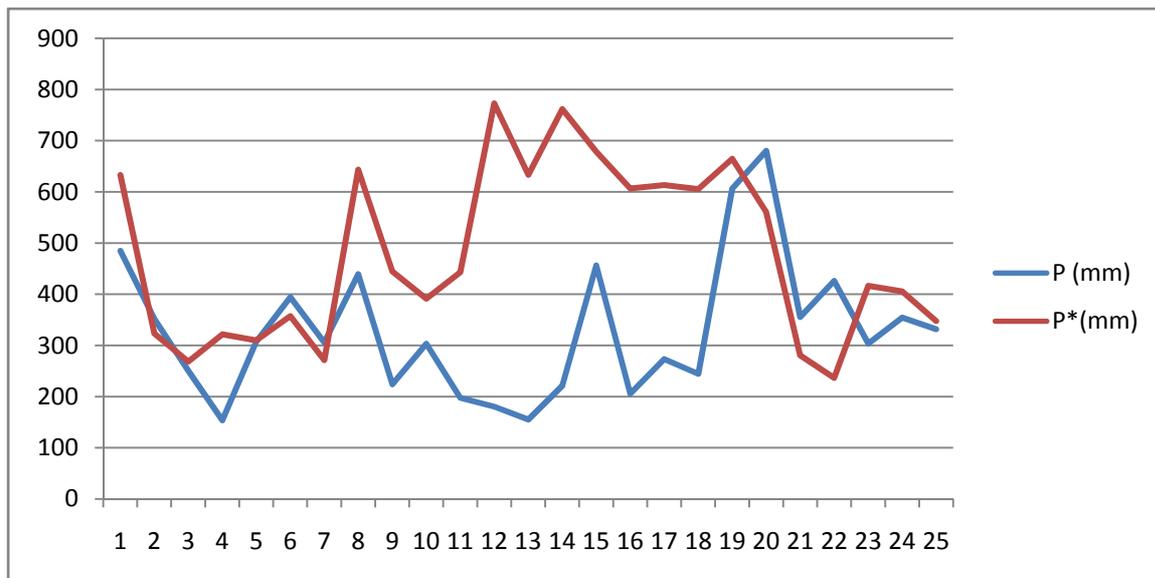


Figure n°7 : Variation des précipitations moyennes annuelle (1950-1975) et (1984-2009)

La pluviométrie moyenne annuelle calculée sur les données disponibles à la station météorologique de Hamla est de 328,3 mm. Cependant, L'analyse quantitative des apports pluviométriques annuels relevés sur cette même période indique une évolution irrégulière des précipitations d'une année à l'autre et met en relief une variation régressive dans son ensemble avec le temps.

La comparaison entre la variation des précipitations moyennes annuelle des deux périodes (1950-1975/P*) et (1984-2009/P), montre une baisse -de la quantité- des pluviométries remarquable.

Tableau VII: Fréquence de la pluviométrie

Pluviométrie annuelle	1950-1975	1984-2009
> 500 mm	10	2
400-500 mm	5	4
300-400 mm	6	9
200-300 mm	4	6
100-200 mm	0	4

(Source:Station Hamla).

On remarque nettement l'irrégularité des pluies. D'ailleurs, il s'agit de l'une des caractéristiques du climat algérien qui tend vers l'aridité (Halimi, 1980). La hauteur moyenne des pluies est relativement faible dans la région par rapport aux années précédentes.

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 peuplement entiers(Lapie, 1909 in Abdessemed, 1980).

Correction des données : D'après Seltzer, (1946) (in Benissad, 1992), la température baisse avec l'altitude selon un degré de 0.7°C pour 100 m d'élévation en altitude aux températures moyennes maximales, et de 0.45°C pour les températures moyennes minimales.

Les températures moyennes enregistrent durant la période 1984 - 2009, un maximum de 25,8°C au mois de juillet. Le minimum des températures moyennes 5,8°C est enregistré au mois de Janvier.

Quant aux températures extrêmes, le minimum des moyennes mensuelles des températures minimales est enregistré en Janvier, il représente l'unique moyenne avec une valeur de 0,3°C. 34.5°C est le maximum des moyennes mensuelles des températures maximales, valeur enregistrée en Juillet (Tableau VIII, figure n°9).

Tableau VIII : Répartition des températures moyennes mensuelles minimales et maximales (Période : 1950-1975).

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Min (m)	-0,17	0,47	2,17	4,05	7,74	12,73	15,59	15,50	12,60	7,79	4,81	2,11
Max (M)	10,05	10,94	14,84	17,36	22,39	29,19	33,23	32,21	26,33	19,87	14,67	10,60
M+m/2 °C	4,94	5,71	8,50	10,70	15,06	20,96	24,41	23,86	19,47	13,83	9,74	6,35

Tableau IX : Répartition des températures moyennes mensuelles minimales et maximales (Période : 1984-2009).

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Min (m)	0,3	0,9	3,1	5,8	10	15,2	17,2	17,7	13,9	9,48	4,52	1,8
Max (M)	11,6	13,5	16,7	20	25,3	30,1	34,5	33,7	27,6	23,5	16	11,7
M+m/2 °C	5,8	7,2	9,9	12,9	17,6	22,6	25,8	25,7	20,7	16,5	10,2	6,7

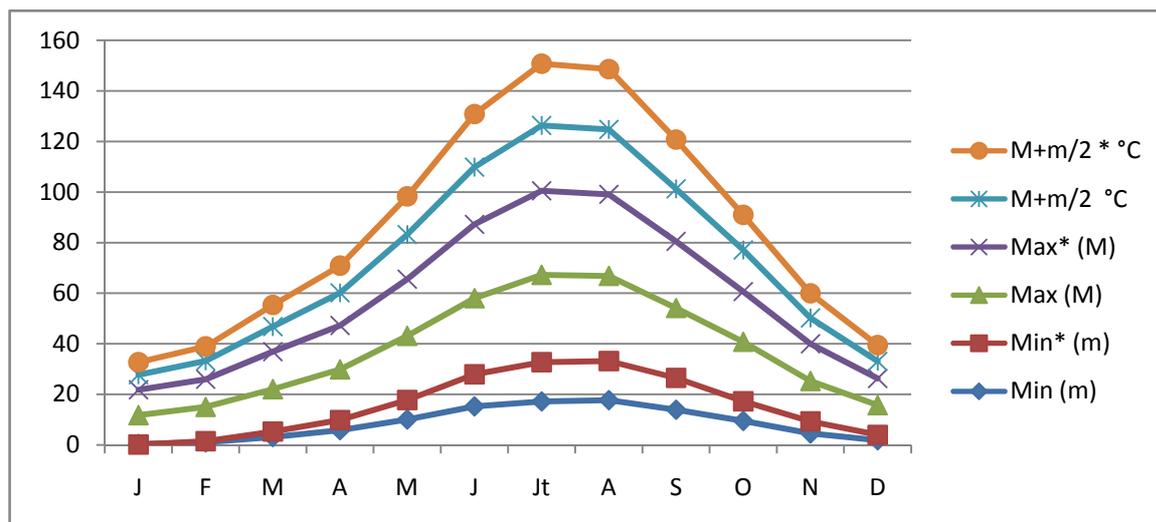


Figure n°8 : Variation des températures moyennes mensuelles minimales et maximales
Périodes : (1950-1975) et (1984-2009)

D'une manière générale, les températures moyennes mensuelles sont variables d'une saison à l'autre révélant la présence de deux saisons :

- Une saison froide s'étalant de novembre jusqu'à avril
- Une saison chaude s'étalant de mai à octobre

En montagne, la température devient un facteur important et limitant dans la répartition des végétaux.

♦ Autres facteurs climatiques

♦ Les vents

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

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

- Les vents du Sud (sirocco), chauds et secs surtout durant la période estivale où ils accentuent l'aridité. Ils soufflent pendant 20 jours au cours de l'année avec un pic de 5 jours pour le mois de juillet.
- Les vents dominants d'hiver Nord -Nord/Ouest qui sont des vents pluvieux et frais arrosent les faces Nord et Nord Ouest du Parc National.

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

♦ Les orages

Caractérisés par de grosses averses donnant parfois des précipitations très fortes et très intenses, ces orages sont fréquents durant les mois les plus chauds (Mai à Septembre). Parfois ils sont accompagnés par la grêle.

L'enneigement : La durée et l'intensité des neiges sont irrégulières. Le nombre de jours de neige par année est de l'ordre de 20 à 30 jours. La neige peut persister sur les expositions nord au-delà du mois d'Avril « trous de neige ».

Les gelées : Leur fréquence, est assez importante surtout en période hivernale où les moyennes des minima peuvent atteindre -1°C .

6.1- SYNTHESE CLIMATIQUE

6.2- DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN

Bagnouls et Gausсен (1953) considèrent qu'un mois est sec quand le total des précipitations exprimé en millimètre est égal ou inférieur au double de la température moyenne exprimée en degré celsius.

Nous avons établi les diagrammes ombrothermiques pour l'ensemble de la zone pour la période 1951-1975 (figure n° 10) et pour la période 1984-2009 (figure n°11).

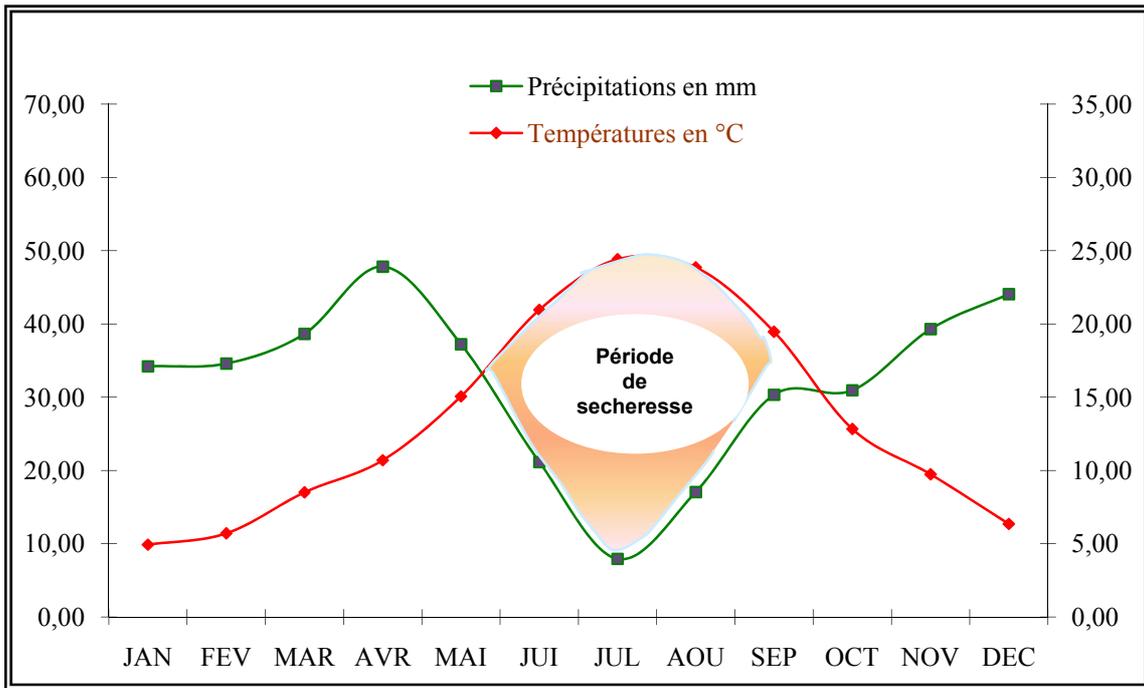


Figure n° 9 : Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN .Station de Hamla (Période : 1950-1975).

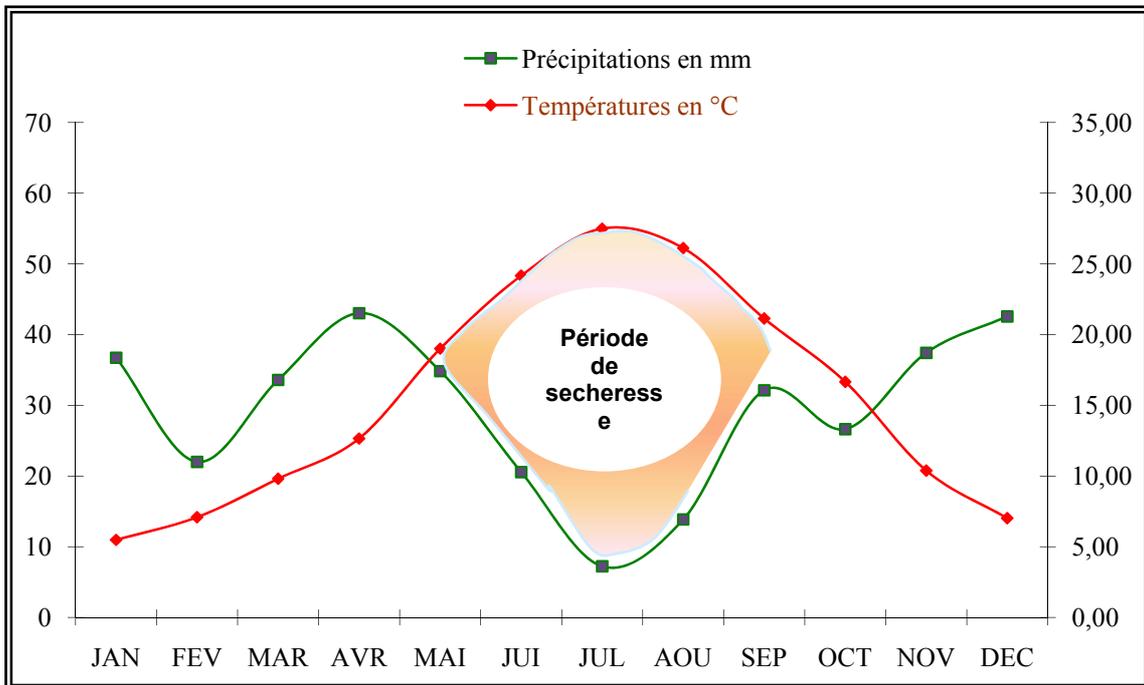


Figure n° 10 : Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN .Station de Hamla (Période : 1984-2009).

L'examen des deux diagrammes ombrothermiques indique que le climat de la région d'étude est caractéristique par une période sèche qui dure 5 mois (de mai à septembre) (pour 1984-2009), alors que la période sèche (1951-1975) dure presque 3 mois.

La comparaison entre les deux diagrammes ombrothermiques (anciens et récents) montre en général une accentuation de sécheresse pour la période 1984-2009.

6.3- QUOTIENT PLUVIOMETRIQUE D'EMBERGER ET ETAGE BIOCLIMATIQUE

En 1939, Emberger proposa une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité.

Cette formule est :
$$Q = 1000 P / (M+m/2 (M-m))$$

Ce quotient a été simplifié par STEWART (1969) (in Meddour, 1983), et propose

$$Q = 3,43 \times P / M-m$$

Où :

P : Précipitation annuelle. M : Température maximale du mois le plus chaud.

m : Température minimale du mois le plus froid.

Donc, dans notre zone d'étude et ce qui concerne la période (1984-2009) on a :

$$P = 328,3 \text{ mm} ; M = 38^\circ\text{C} ; m = -3,1^\circ\text{C}$$

$$Q = 3,43 * 363,1 / (38 + 3,1) \quad \mathbf{Q2_{(1)} = 27,4}$$

Et en ce qui concerne la période (1951-1975) on a :

$$P = 479,31\text{mm} ; M = 38,5^\circ\text{C} ; m = -2,7^\circ\text{C}$$

$$Q = 3,43 * 479,31 / (38,5+ 2,7) \quad \mathbf{Q2_{(2)} = 39,9}$$

CONCLUSION

L'observation des climagrammes pluviothermiques montre un déplacement significatif de la station vers la droite faisant apparaître une légère élévation des valeurs des températures moyennes minimales 'm' (Figure n°08).

La station qui malgré la diminution relative de la valeur de Q2 reste toujours dans l'étage semi-aride inférieur à hiver froid en raison de l'importance relative de la couverture végétale.

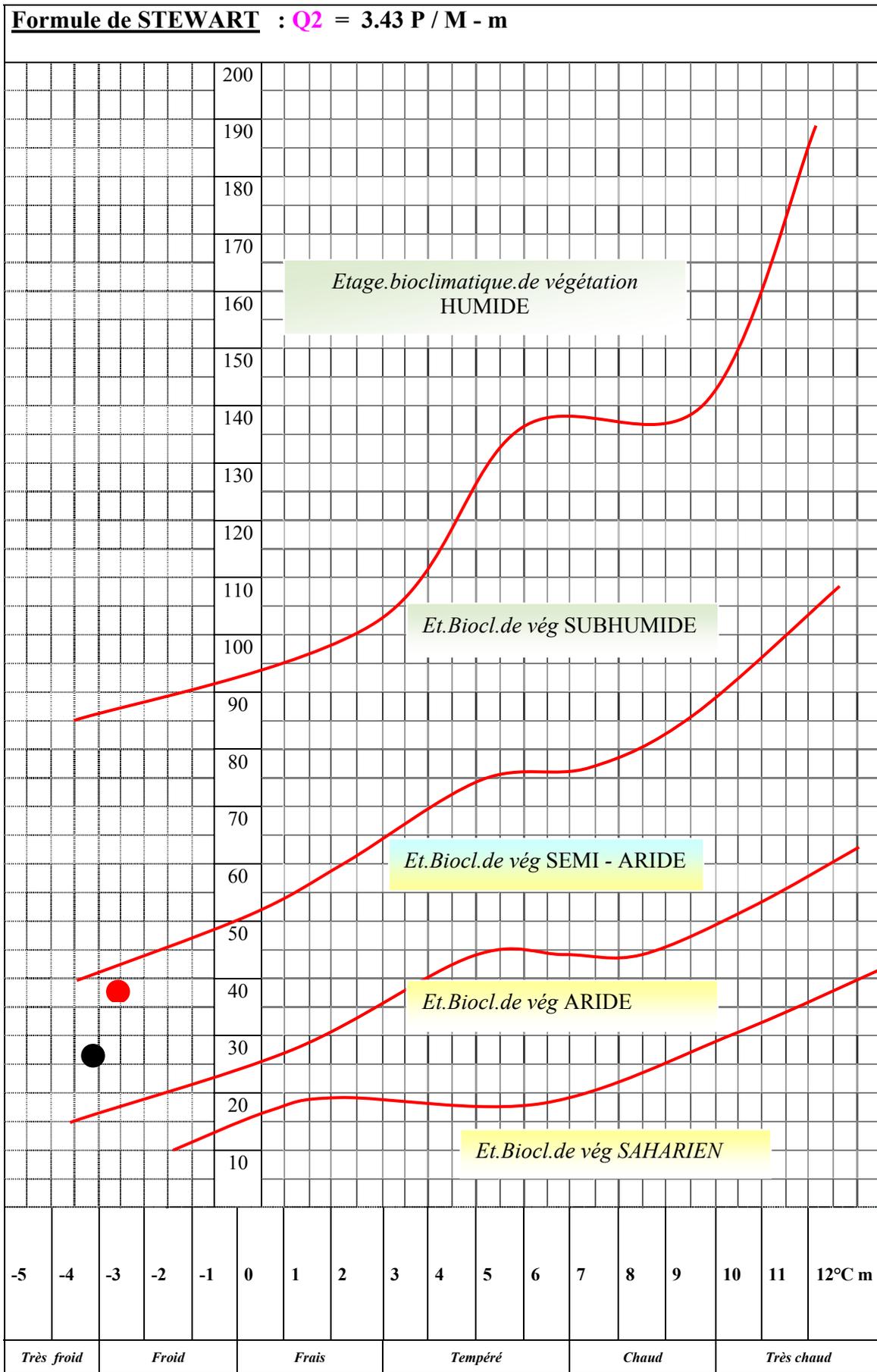


Figure 11 : Projection de la zone dans le climagramme d'EMBERGER



Chapitre II

Matériels et méthode

INTRODUCTION

Les stations choisies pour notre étude se situent aux : Djebel Tuggurt (versant Nord et versant nord et Nord/ouest) et Djebel Boumerzoug (versant Nord et versant Sud), ont pour trait commun la présence de *Cedrus atlantica*.

A partir de chaque station nous avons prélevé les données suivantes :

La pente, l'altitude, l'échantillon du sol (sachant que à chaque versant nous avons prélevé du sol sur nombreuse altitudes

1. Analyse du sol - Analyse de base (physico-chimique)

Les analyses faites sont : PH, Granulométrie, Calcaire (total, actif), Carbone organique, Azote, Phosphore (assimilable, total), les bases échangeables, capacité d'échange cationique (CEC)

Méthodologie :

Séchage : il a été réalisé à l'aire

Tamissage : chaque échantillon à été séparé en 2 fractions terre fine dont les éléments ont une taille inférieurs à 2 mm et élément grossier supérieur à 2 mm.

Granulométrie : effectuée selon la méthode internationale (pipette de Robinson après dispersion à l'hexametaphosphate de sodium.

PH : déterminé par PH-mètre.

Calcaire total : méthode du calcimètre de Bernard

Calcaire actif : méthode Drouinan à l'oxalate d'ammonium

Carbone organique : méthode Anne par oxydation chronique a chaud

Azote : méthode Kjeldalh

Phosphore assimilable : méthode Truog

Phosphore total : attaque à l'acide perchlorique et dosage colorimétrique.

Potassium total : attaque de 5 H à l'acide nitrique et dosage par photométrie de flamme

Les bases échangeables : percolation à l'acétate d'ammonium, dosage de K et Na par photométrie de flamme, dosage de Cd et Mg par spectrophotométrie d'absorbtion atomique

Capacité d'échange cationique (CEC) : après percolation à l'acétate d'ammonium, lavage à l'alcool et percolation par le chlorure de sodium à 10%

2. ÉTUDE GÉOMATIQUE

Logiciels et produits utilisés :

Cartes : (de la végétation, pédologique, du pente, d'altitude).

Images satellitaire : de type Landsat

MapInfo Professional: pour le traitement des différentes cartes.

Erdas Imagine: pour le traitement des images satellitaires

Global mapper : pour convertir des différent type d'image et cartes.

L'ensemble des traitements qui ont été appliqués aux images satellites sont :

- + Classification ;
- + Corrections géométriques
- + Segmentation ;
- + La détection des changements (par le NDVI).



INTRODUCTION

Le traitement des images satellitaires à l'aide du logiciel (Erdas imagine), ainsi que les logiciels de cartographie numérique (Global Mapper et MapInfo) nous ont permis d'obtenir des différentes cartes représentant les superficies de deux Dj. Boumerzoug et Tuggurt, à partir des années 1999, 2001, 2002, 2007 et 2009.

Les images satellites serviront à établir des relations entre les niveaux de dépérissement observé sur terrain.

1 - RESULTAT ET INTERPRETATION DES CARTES THEMATIQUES ELABOREES

La figure n°13 représente l'une des images satellitaires traitée par le logiciel Erdas Imagine. Ces images sont de type Landsat qui permet d'avoir une couverture réelle à partir de spectral du capteur TM (Thematic Mapper) par la combinaison des trois canaux (4, 3 et 1) acquise d'une façon homogène d'un vaste territoire.

La surface traitée est estimée à 2820,79 ha pour Tuggurt et 807,92 ha pour Boumerzoug, ces surfaces sont calculées à partir des images satellitaires à l'aide de logiciel Erdas Imagine.

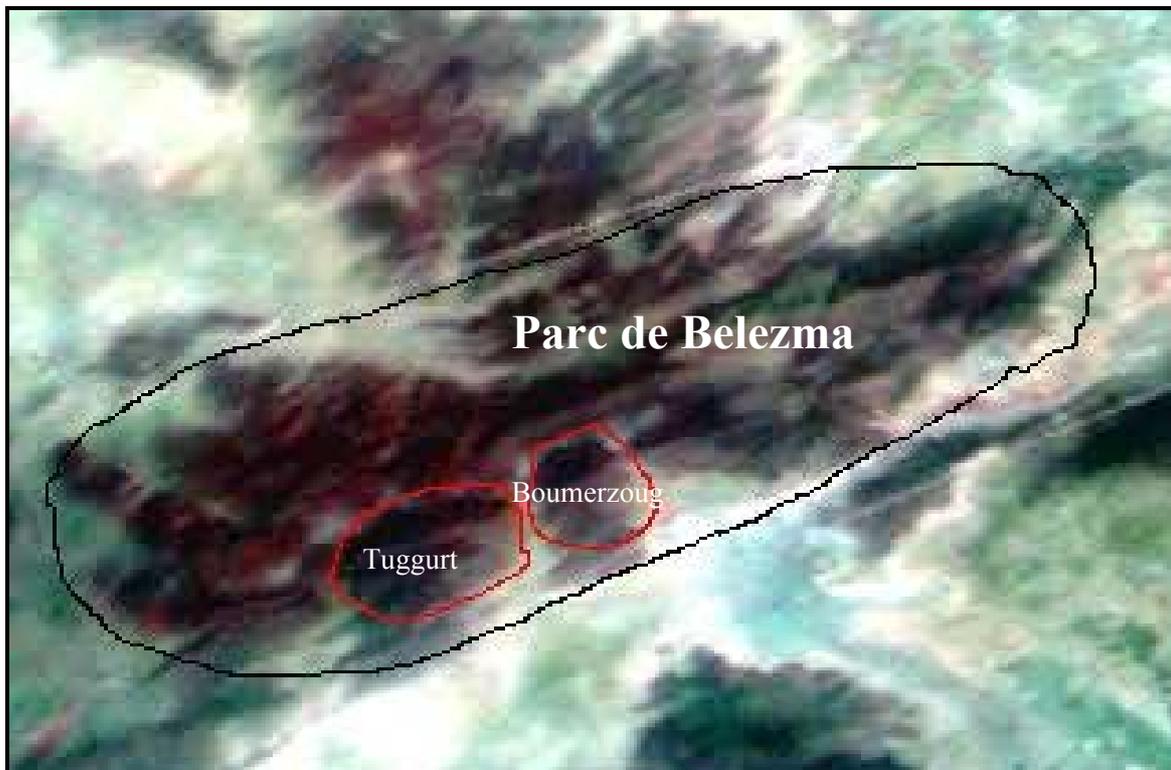


Figure n°13 : Exemple d'image satellitaire (Landsat) en trichromie (4, 3 et 1)

NDVI (The Normalized Difference Vegetation Index) est basé sur le fait que la végétation photosynthétiquement active est caractérisée par une forte absorption de la lumière incidente dans

les longueurs d'ondes correspondant au rouge visible, et une forte réflectance dans la gamme de longueurs d'ondes correspondant au proche infrarouge (Goutouly et al., 2006).

La comparaison faite entre les synthèses numériques du NDVI du mois de juillet de chaque année (1999, 2001, 2002, 2007 et 2009).

Ces images ont été obtenues en classant les pixels en classes d'effectifs égaux. Les gradients de 152 couleurs indiquent des gradients de valeurs de NDVI croissants : la couleur verte et ses nuances correspondent aux zones où le recouvrement de la végétation est important (vert foncé) ; les couleurs rouge, rose correspondent aux zones faiblement recouvertes par la végétation.

Le cèdre de l'Atlas montre des caractéristiques spectrales de milieux enneigés durant l'hiver, période de repos de la végétation des montagnes, ce qui explique les positions très inférieures de leurs NDVI. En revanche, l'augmentation de ces valeurs au printemps et en été, indique la période de végétation qui démarre avec la fonte de la neige et l'élévation des températures.

La comparaison des images satellitaires permet de se rendre compte de la poursuite de la dégradation de la cédraie avec une dynamique des surfaces. Pour mieux appréhender les changements survenus, les images classifiées des deux dates sont croisé pixel par pixel porteuses en elles-mêmes de l'information diachronique. Ce croisement permet la génération d'une matrice de détection des changements offrant des statistiques sur le devenir des classes de l'image de 1999 à 2009 et qui va permettre d'effectuer une prédiction de la surface perdue (pour 2001, 2002, 2007 et 2009).

Les cartes suivantes (Figure 14, 15, 16 et 17) représentent les résultats de la différenciation du NDVI, on a pris l'année 1999 comme référence pour le changement.

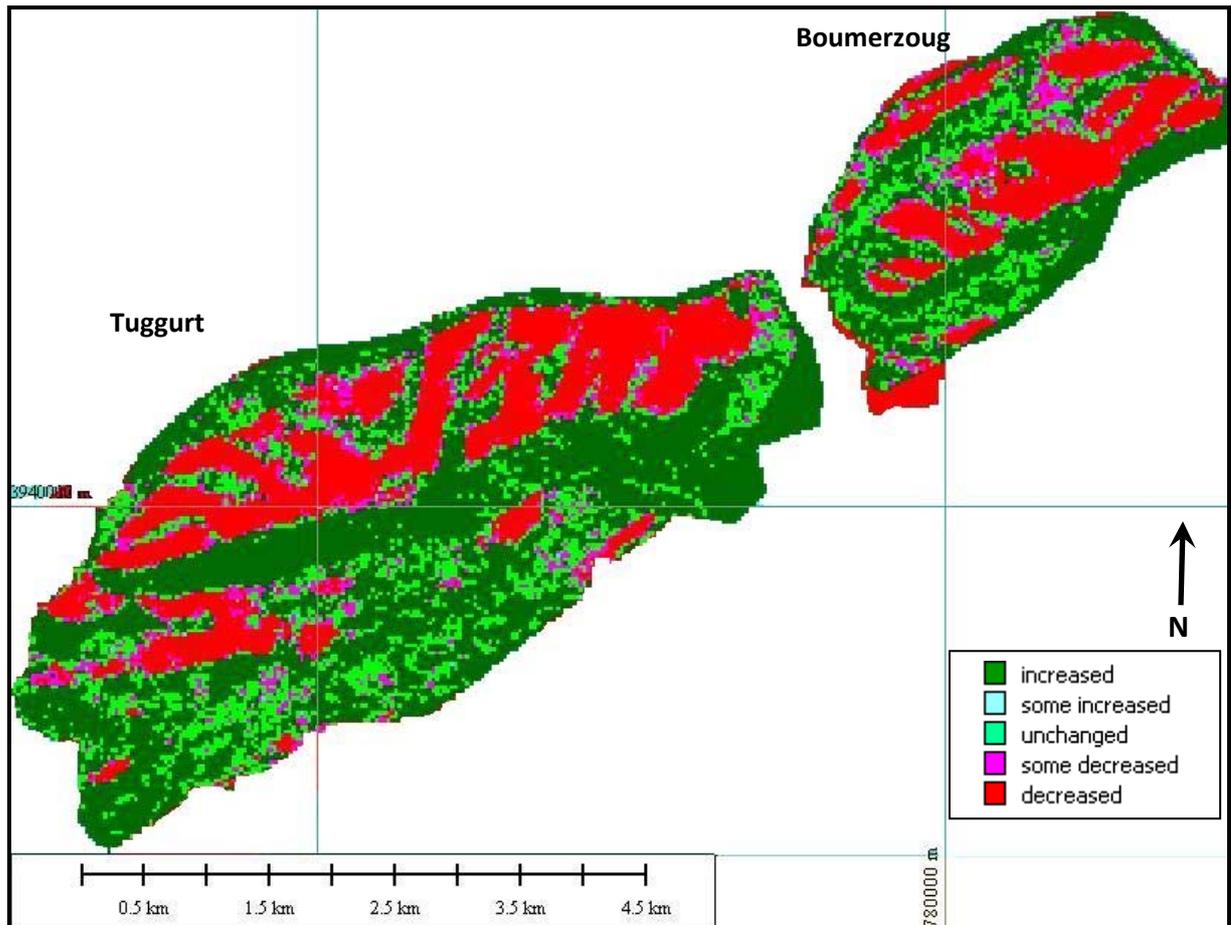


Figure n° 14: Carte représentant le changement NDVI entre deux années (1999-2001)

La carte présentée dans la figure n°14 montre la différence de NDVI de deux années (1999 et 2001), pour Dj. Boumerzoug et Dj. Tuggurt.

La cédraie de Dj. Boumerzoug présente une régression dans la surface de 72,92 ha (soit 9.03% de la superficie totale qui est de 807,82 ha), alors qu'on observe une augmentation du NDVI de 36,99% (298.82ha) et une surface inchangée estimée à 47,69 ha.

En ce qui concerne Dj. Tuggurt la superficie ou le NDVI a régressé est de 548,28 ha avec un pourcentage de 19,44% pour une surface totale de 2820,79 ha, La surface ou le NDVI a augmenté est de 622,26 ha. La surface ou le NDVI n'a pas changé est estimée a 1241,15 ha.

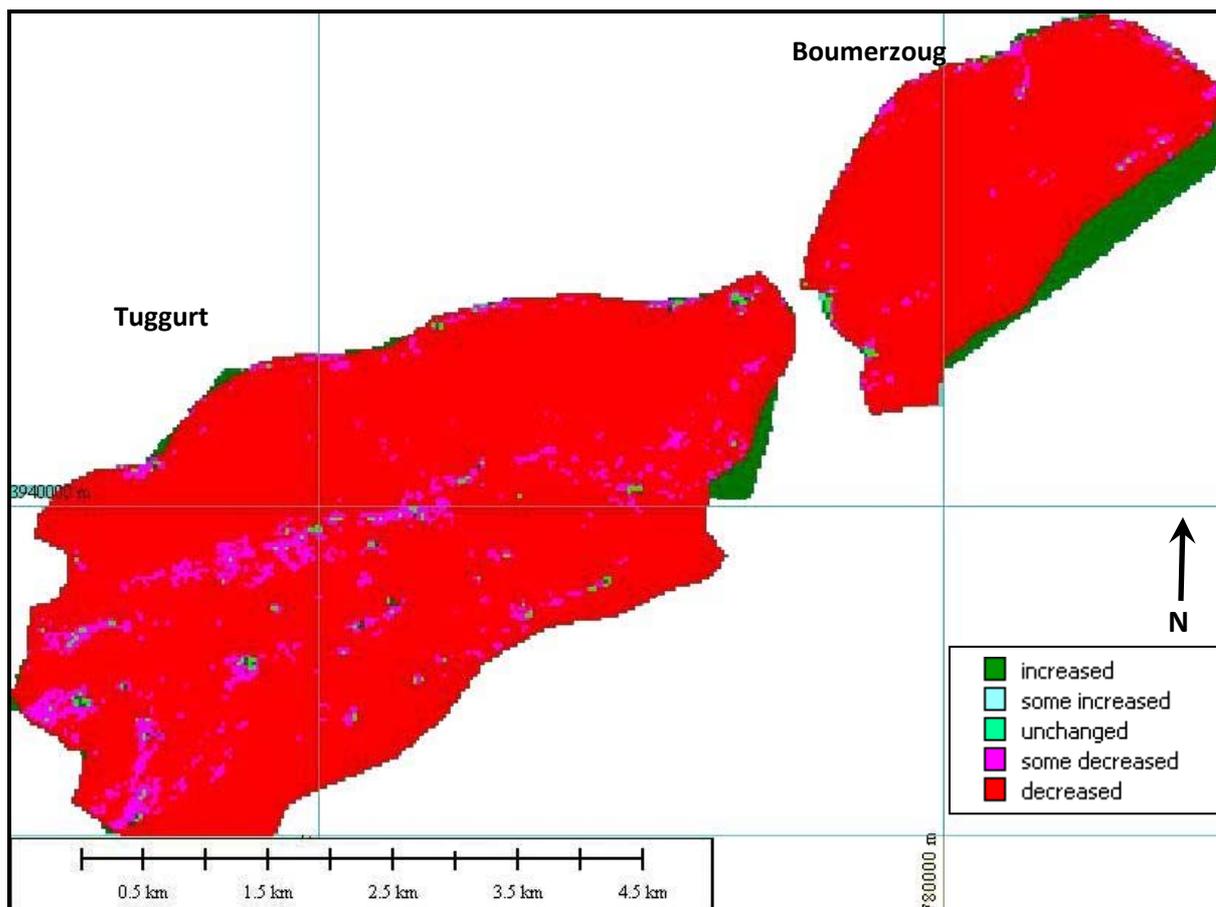


Figure n° 15: Carte représentant le changement NDVI entre deux années (1999-2002)

La carte (figure n°15) représente la différence de NDVI de deux années (1999 et 2002), pour les deux Dj. Boumerzoug, Tuggurt.

Pour la cédraie de Dj. Boumerzoug le NDVI a régressé sur une surface de 215,25 ha, soit 26,64 % de la superficie totale qui est de 807,92 ha, par ailleurs il y a une augmentation NDVI sur une surface de 93,15 ha (36,99%). Alors que le NDVI non changé, il représente une surface de 414,86 ha.

En ce qui concerne Dj. Tuggurt la valeur du NDVI a régressé sur une surface de 1515,59 ha soit 53,73% de la surface totale qui est de 2820,69 ha et une augmentation du NDVI de 44,69 ha, et le NDVI non changé sur une surface de 1238 ha.

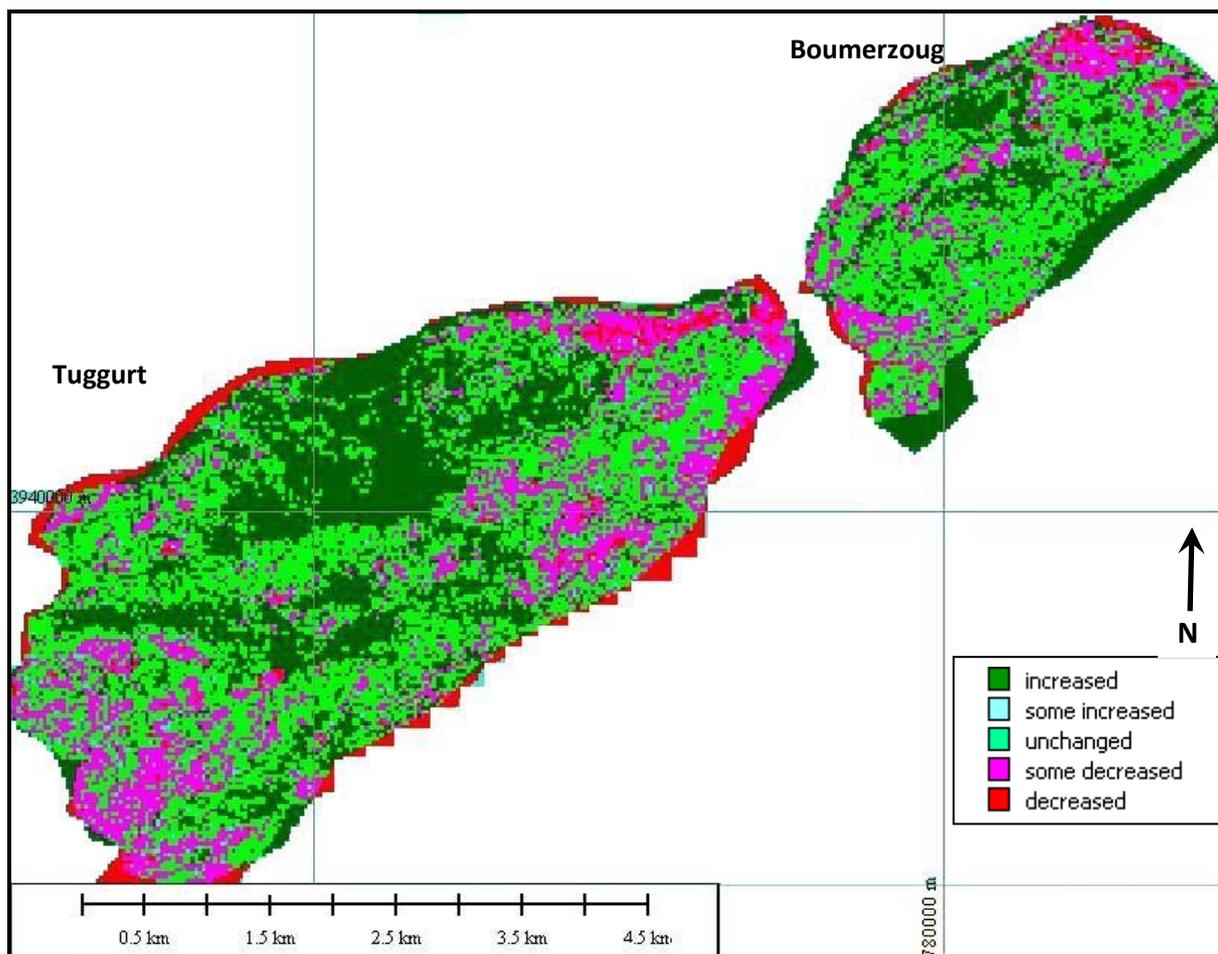


Figure n° 16: Carte représentant le changement NDVI entre deux années (1999-2007)

La carte (figure n°16) représente la différence de NDVI de deux années (1999 et 2007), pour Dj. Boumerzoug et Dj. Tuggurt.

Pour la cédraie de Dj. Boumerzoug le NDVI a régressé sur une surface de 390,57 ha, soit 48,35% de la superficie totale qui est de 807,75 ha, par ailleurs il y a une augmentation NDVI sur une surface de de 8,08 ha (1%). Alors que le NDVI non changé, il représente une surface de 377,82 ha.

En ce qui concerne Dj. Tuggurt la valeur du NDVI a régressé sur une surface de 1600,19 ha soit 56,73% de la surface totale de 2820,84 ha, avec une augmentation du NDVI de 14.76 ha, et le NDVI non changé sur une surface de 1196,49 ha.

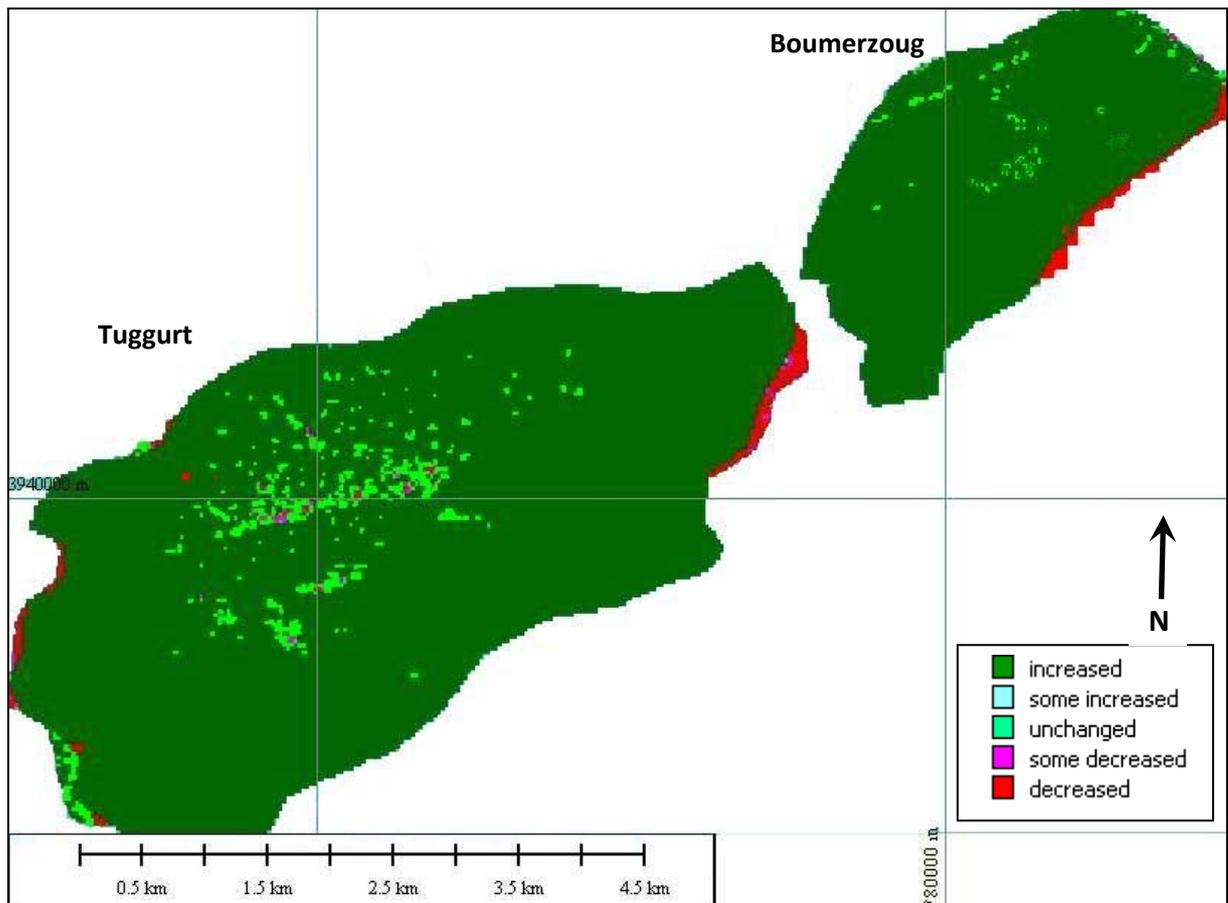


Figure n° 17: Carte représentant le changement NDVI entre deux années (1999-2009)

Pour La figure n°17, la carte représente la différence de NDVI de deux années (1999 et 2009), pour Dj. Boumerzoug et Dj. Tuggurt.

La cédraie de Dj. Boumerzoug le NDVI a régressé sur une surface de 416,32 ha, pour 51.53% que dépasse la moitié de la surface totale de 807,85 ha, par ailleurs il y a une augmentation NDVI sur une surface de 4,19 ha (5,2%). Alors que le NDVI non changé, il représente une surface de 383,10 ha.

En ce qui concerne Dj. Tuggurt la valeur du NDVI a régressé sur une surface de 1492,01 ha soit 52,89% de la surface totale qui est de (2820,77 ha), et une augmentation du NDVI de 9,08 ha, et le NDVI non changé sur une surface de 1272,97 ha.

Les 2 tableaux suivants représentent l'estimation des surfaces de la cédraie à partir des cartes élaborées des deux sites boumerzoug et Tuggurt.

Tableau n° IX : Estimation des variations de surfaces de la cédraie pour Dj. Boumerzoug

Boumerzoug	1999-2001	1999-2002	1999-2007	1999-2009
Decreased (ha)	72,92	215,25	390,57	416,32
Some Decrease (ha)	19,19	45,16	0,63	3,62
Unchanged (ha)	385,25	414,86	377,82	383,10
Some Increase (ha)	31,64	39,51	30,65	0,63
Increased (ha)	298,82	93,15	8,08	4,19
Somme (ha)	807,82	807,92	807,75	807,85

Tableau n° X : Estimation des variations de surfaces de la cédraie pour Dj. Tuggurt

Tuggurt	1999-2001	1999-2002	1999-2007	1999-2009
Decrease (ha)	548,28	1515,59	1600,19	1492,01
Some Decrease (ha)	206,33	12,16	5,65	38,32
Unchanged (ha)	1241,15	1238,00	1196,49	1272,97
Some Increase (ha)	202,77	10,26	3,76	8,39
Increase (ha)	622,26	44,69	14,76	9,08
Somme (ha)	2820,79	2820,69	2820,84	2820,77

Les NDVI obtenus indiquent qu'il y a une grande perte des surfaces du cèdre de l'Atlas d'une année à une autre. On constate que, surtout à partir de 2002, il ya une augmentation importante du dépérissement du cèdre.

Les zones ou il y a une augmentation du NDVI ne peut s'expliquer que par l'envahissement du chêne vert au détriment du cèdre de l'Atlas ainsi que l'accroissement du cortège forestier qui accompagne le cèdre.

Si on fait une comparaison entre les deux stations, on observe qu'il y a une homogénéité dans la dynamique des surfaces des deux monts Boumerzoug et Tuggurt.

Concernant la diminution des superficies du terrain, elle est 52,89% pour Tuggurt et 51,53% pour Boumerzoug. Et, on remarque que l'évolution du nombre de cèdres dépéris est inversement proportionnelle au chêne vert.

L'indice de végétation, est considéré comme un bon indicateur du comportement de la végétation dans des milieux variés, il devrait permettre de comparer l'état de la végétation dans l'ensemble de la zone étudié.

2- ANALYSE DES DONNEES CLIMATIQUES

A partir des données pluviométriques, nous avons tracé un histogramme concernant les mêmes années étudiées auparavant (1999, 2001, 2002, 2007 et 2009).

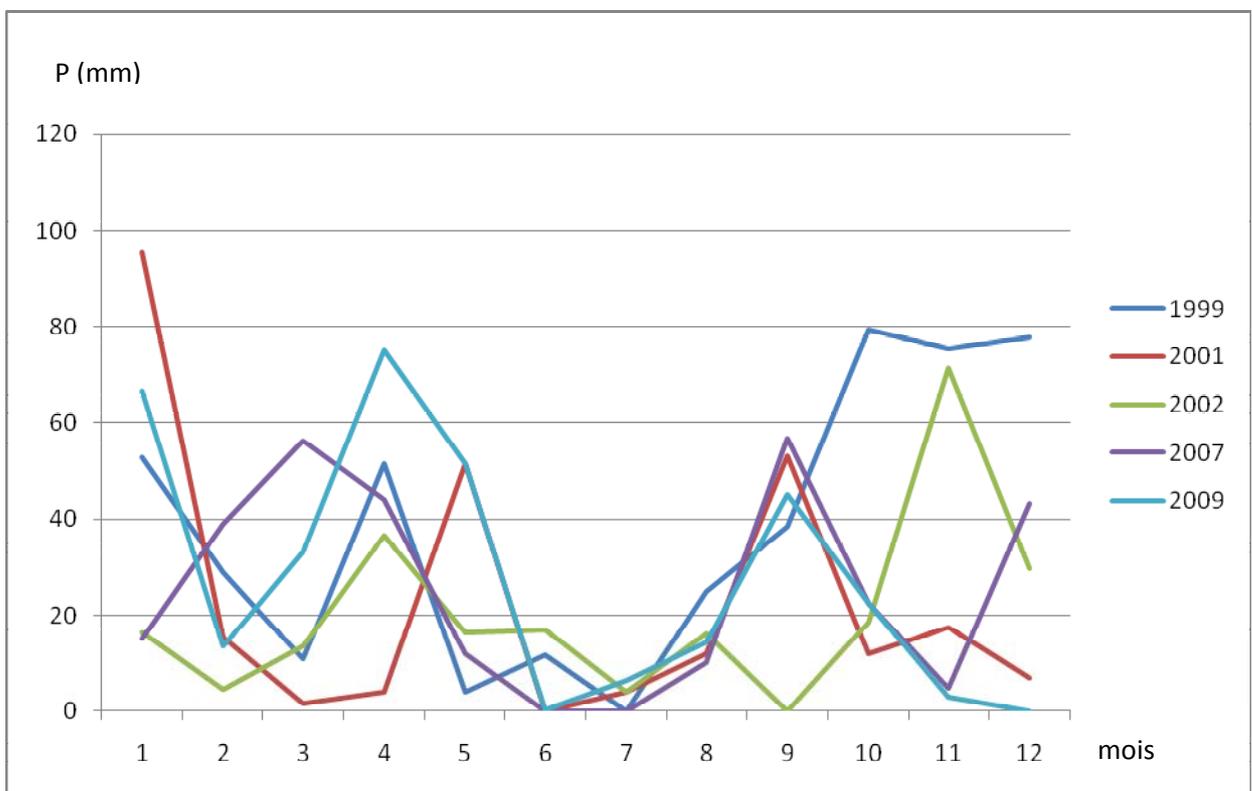


Figure n° 18: Pluviométrie mensuelle (1999, 2001, 2002, 2007, 2009)

La figure n° 18 représente les courbes d'évolution de la pluviométrie mensuelle des années 1999, 2001, 2002, 2007 et 2009. On observe une irrégularité des précipitations inter-mensuelles et interannuelles. L'année (1999) apparaît la plus pluvieuse (456,5 mm).

Durant l'été de mai jusqu'au mois d'août on enregistre une faible quantité de précipitation. Par ailleurs durant le mois de Février 2002, la quantité de pluie tombée est estimée à 4.5 mm. Et durant deux mois de suite (juin et juillet 2007) aucune goutte d'eau n'est tombée.

Toth (1987), estime que 80% de l'accroissement annuelle en hauteur se fait durant les mois de mai et juin, contre 20% en juillet et août.

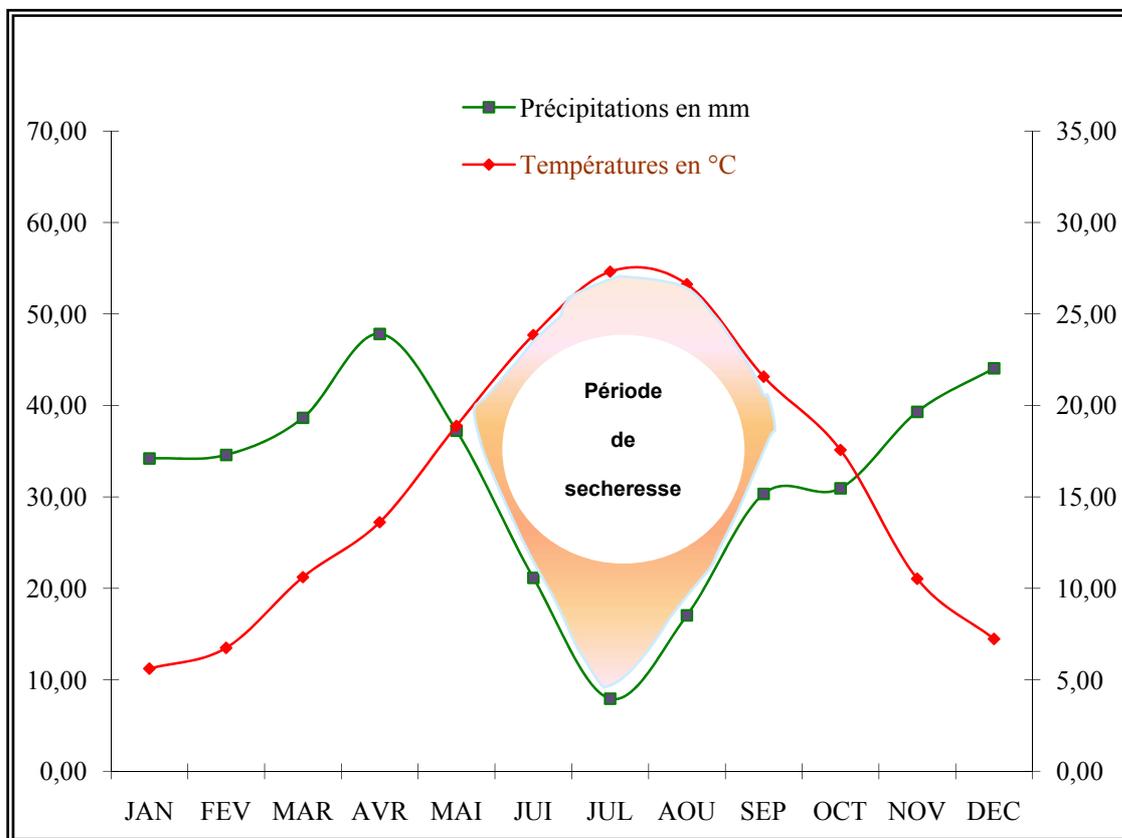


Figure n° 19 : Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN. Station de Hamla (1999-2009).

Le diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN (Figure n° 19) pour les dernières années représente une zone de sécheresse qui s'étale sur une période presque de 6 mois.

Comme l'indique Schoenberger (1970), le cèdre de l'Atlas peut se développer dans une tranche de pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 450 et 1700 mm/an. Pour Aussenac (1984) ; le cèdre est susceptible de se développer entre 600 et 2000 mm/an.

En ce qui concerne la température, le cèdre est relativement plastique et pousse sous des températures moyennes comprises entre 8 et 14 °C (TOTH, 1970) et avec des températures extrêmes allant de -25 à +41°C (Gausсен, 1964 in Belloumi, 2002)

Les exigences écologiques du cèdre de l'atlas sont étendues, alors que les données climatiques enregistrées au niveau de la station de BATNA et du Belezma ont montré ce que suit:

- La température moyenne annuelle comprise entre 5.96°C pour le mois le plus froid et 26.67°C pour le mois le plus chaud, le cèdre est bien dans son aire privilégiée.
- Pour ce qui est de la pluviométrie, on remarque que malgré que certaines années la pluviométrie a été très importante, mais globalement, elle reste nettement inférieure aux exigences du cèdre de l'Atlas (voir figure 18).

Ce manque d'eau, qui est rappelons le, l'élément qui représente plus de 80 % de la masse des feuilles, il est évident qu'une plante doit maintenir un certain équilibre hydrique pour survivre.

La sécheresse physiologique correspond au stade où le déficit en eau n'est plus compensé par la plante. Les insuffisances hydriques seraient responsables de la diminution de la plupart des activités physiologiques du cèdre.

En général, la sécheresse a une action défavorable sur la croissance et le développement des espèces. Selon sa durée et son intensité, elle peut être létale pour des plantes peu ou pas adaptées.

Le problème de la sécheresse pour les cédraies aurasiennes fut déjà posé par Boudy (1950), il signala qu'une sécheresse exceptionnelle ravagea la région entre 1875 et 1880. De même la forte sécheresse de 1977 et 1978 où la pluviométrie était très insuffisante (186 mm en 1978) avait entraîné un dessèchement du chêne vert au Belezma, qui est par excellence une espèce rustique. D'après Abdessamed (1980) ce serait probablement cette sécheresse qui serait à l'origine de la dégradation du cèdre, qui rappelons le s'est manifesté à partir de 1979.

L'impact des changements climatiques est d'autant plus fort que cette espèce sensible à la sécheresse est proche de la limite sud de son aire de répartition.

3- CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS

A travers les résultats obtenus dans ce chapitre on peut faire les constatations suivantes :

La texture des sols étudiés varie entre argileuse et sablonneuse. Ces textures sont globalement défavorables à la vie des racines, et s'agisse défavorablement sur les propriétés physiques des sols.

Du point de vue biochimique, les sols étudiés sont pauvres en matière organique avec un taux de 3.01%.

Le rapport (C/N) est en général inférieur à 10. Cette valeur traduit une bonne minéralisation de la matière organique. Ceci est favorisé par la richesse des sols en calcium et un climat favorisant la minéralisation (climat aride).

Les sols sont riches en calcaire total (jusqu'à 65.53%).

L'excès du calcium engendre des phénomènes de blocage de plusieurs éléments.

Les données sont regroupées dans le tableau suivant

Tableau n° XI: Données physico-chimiques des stations

	Dj. Boumerzoug				Dj. Tuggut							
	Alt: 1520		Pente: 15		Alt: 1480		Pente: 21					
Exp: Nord	A	59	MO%	4,01	Ca++	18,14	A	39	MO%	4,39	Ca++	26,3
	LF	9	C%	2,41	Mg++	9,23	LF	12	C%	2,55	Mg++	12,8
	LG	8,25	N%	0,12	K+	1,9	LG	28,95	N%	0,18	K+	2,5
	SF	4,85	C/N	15,99	Na+	0,5	SF	8,53	C/N	14,16	Na+	1,7
	SG	6,22	CE	0,18	PH :	8,76	SG	11,28	CE	0,13	PH :	8,63
	Alt: 1400		Pente: 25		Alt: 1400		Pente: 25					
	A	55	MO%	3,01	Ca++	19,1	A	40	MO%	5,04	Ca++	25,4
Exp: Nord	LF	6	C%	1,75	Mg++	11	LF	8	C%	3,32	Mg++	10,6
	LG	25,77	N%	0,14	K+	1,3	LG	45,3	N%	0,25	K+	1,2
	SF	4,26	C/N	12,5	Na+	0,5	SF	2,84	C/N	13,28	Na+	0,6
	SG	7,84	CE	0,16	PH :	8,58	SG	13,1	CE	0,16	PH :	8,47
		Alt: 1520		Pente: 15		Alt:1520		Pente: 45				
A		62	MO%	5,51	Ca++	17,85	A	41	MO%	4,12	Ca++	23,13
Exp: Sud	LF	14,15	C%	3,2	Mg++	8,45	LF	11	C%	2,65	Mg++	13,25
	LG	11,63	N%	0,27	K+	1,3	LG	12,19	N%	0,19	K+	1,67
	SF	3,12	C/N	11,85	Na+	0,5	SF	3,22	C/N	17,9	Na+	0,29
	SG	8,19	CE	0,17	PH :	8,79	SG	10,25	CE	0,22	PH :	8,40
		Alt: 1420		Pente: 25		Alt: 1420		Pente: 18				
A		63	MO%	3,94	Ca++	22,02	A	38	MO%	3,39	Ca++	21,99
Exp: Sud	LF	17	C%	2,29	Mg++	15,07	LF	15	C%	3,13	Mg++	12,9
	LG	22,52	N%	0,13	K+	0,42	LG	23,22	N%	0,2	K+	0,98
	SF	3,54	C/N	17,61	Na+	0,5	SF	3,69	C/N	16,7	Na+	0,4
	SG	11,68	CE	0,16	PH :	8,71	SG	12,09	CE	0,24	PH :	8,76

Malgré que le cèdre de l'Atlas s'accommode à toutes les compositions chimiques du sol, l'analyse chimique faite nous donne une idée sur la composition du sol sur lequel le cèdre se développe.

Le pH : est le premier indicateur de toute évolution physico-chimique des sols. Il s'agit d'un paramètre relativement facile à mesurer.

Le pH des sols étudiés varie de 8,40 à 8,79. Ceci est dû aux teneurs élevées en calcaire, la valeur minimale est enregistrée pour le versant sud du Dj. Tuggurt et la valeur maximale pour le versant sud de Dj. boumerzoug.

Selon les normes d'interprétation du pH-eau du sol, cité in Mathéau et Pieltain (2003), le pH des sols étudiés a généralement une alcalinité faible à modérée. C'est une fourchette des pH courants pour les sols en régions arides.

Les taux du calcaire total : Les sols étudiés ont des teneurs homogènes et faibles en calcaire, le taux varie de 1,75 à 3,32%.

Les teneurs en matière organique : La matière organique est une source importante d'éléments nutritifs pour les plantes et la connaissance de sa teneur totale dans le sol renseigne sur sa potentialité fertilisante.

La matière organique a également un rôle important dans la « fabrication » des agrégats. Autrement dit sur l'élaboration de la structure du sol instable.

Les sols étudiés ont des teneurs variables en matière organique de 3,01 à 5,04%. Selon les teneurs faibles à moyen en matière organique, ces échantillons constituent une zone pâturée. Rappeler que des excréments et rejets par des troupeaux ont été retrouvés sur le terrain.

Le rapport C/N indique l'évolution de la matière organique, il oriente la décomposition de la matière organique, soit vers la minéralisation (C/N faible), soit vers l'humification (C/N élevé) (Duchaufour, 1988). Ce qui signifie que la minéralisation est bonne. Ceci a favorisé la minéralisation globalement, pour la plupart des sols.

L'analyse granulométrique ne dévoile aucune différence flagrante, du point de vue édaphique entre les différentes stations.

Selon En ce qui concerne Dj. Tuggurt la valeur du NDVI a régressé sur une surface de 1515,59 ha soit 53,73% de la surface totale qui est de 2820,69 ha et une augmentation du NDVI de 44,69 ha, et le NDVI non changé sur une surface de 1238 ha.

Abdessemed (1984), qui avait fait une étude pédologique approfondie, les sols de la cédraie du Belezma sont essentiellement des sols bruns faiblement calcaires. Ces sols reposent sur des calcaires avec des affleurements gréseux et se rencontrent aussi bien dans les cédraies pures et mixtes. Il conclue que ce sont des sols d'une jeunesse relative à faible épaisseur.

L'analyse physico-chimique du sol (annexe III) de deux Dj. Bumerzoug et Tuggurt à différents altitudes, et la comparaison avec des données anciennes réalisées en 1990, nous a permis de conclure que la différence entre les deux résultats est n'est pas très notable.

A partir de nos résultats, nous pouvons conclure que le sol n'a pas un grand influence sur le phénomène de dépérissement, mais ce là reste à confirmé par des analyses plus poussées et plus approfondies.

4- INTERPRETATION DES DIFFERENTS FACTEURS DE LA STATION

4 -1 Influence de l'altitude

L'altitude est un des principaux facteurs limitant. En effet, plus l'on s'élève en montagne plus les conditions de vie deviennent difficiles. Ainsi, elle va déterminer des " seuils " au-delà desquels certaines espèces végétales disparaîtront. Cette limitation naturelle par " tranche altitudinale " permet de définir des étages de végétation au sein desquels on trouvera différents milieux associés à des espèces caractéristiques.

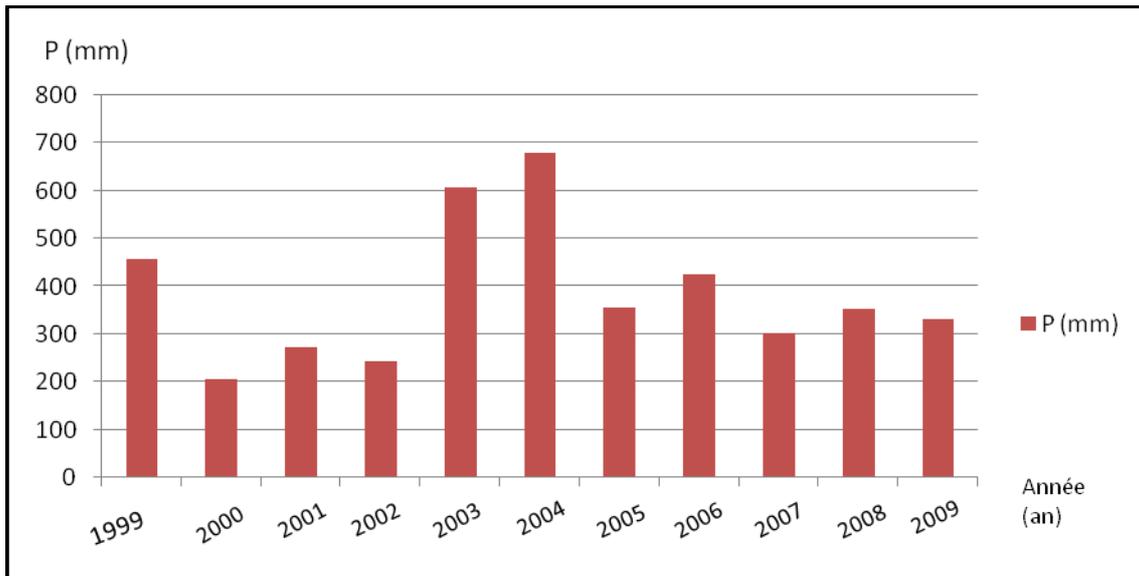


Figure n° 20 : Variation annuelle de la pluviométrie (1999-2009)

La figure n°20 représente l'histogramme de la pluviométrie annuelle de 1999 à 2009.

On observe que pour la plupart des années la pluviométrie reste inférieure à 400 mm de pluie sauf 1999 et 2006 où elle est respectivement de 450 et 420 et les années (2003 et 2004) qui dépassent les 600 mm.

Malgré la présence de ces deux années pluvieuses, cela n'empêche pas le dépérissement des arbres du cèdre. Toujours c'est le manque d'eau qui s'impose.

Ici, La sécheresse, apparaît être le facteur critique, agissant comme facteur prédisposant et/ou d'incitation au développement de dépérissement.

Tableau n°XII: Données pluviométriques extrapolées en fonction de l'altitude Versant nord et sud

V N	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ToT
1400	43,49	24,61	28,83	54,44	39,85	23,29	10,97	17,56	37,4	27,74	49,3	53,56	411,06
1500	43,6	24,72	28,94	54,55	39,96	23,4	11,08	17,67	37,51	27,85	49,41	53,67	412,38
1600	43,7	24,82	29,04	54,65	40,06	23,5	11,18	17,77	37,61	27,95	49,51	53,77	413,58
1700	43,8	24,92	29,14	54,75	40,16	23,6	11,28	17,87	37,71	28,05	49,61	53,87	414,78
2000	44,01	25,86	93,59	56,29	65,23	23,68	13,21	16,67	35,99	24,32	47,98	49,64	496,5
Versant sud													
1400	43,19	24,31	28,53	54,14	39,55	22,99	10,67	17,26	37,1	27,44	49	53,26	407,46
1500	43,25	24,37	28,59	54,2	39,61	23,05	10,73	17,32	37,16	27,5	49,06	53,32	408,18
1600	43,3	24,42	28,64	54,25	39,66	23,1	10,78	17,37	37,21	27,55	49,11	53,37	408,78
1700	43,35	24,47	28,69	54,3	39,71	23,15	10,83	17,42	37,26	27,6	49,16	53,42	409,38
2000	43,12	24,98	31,07	117	52,02	22,8	12,3	15,79	35,11	23,43	47,1	48,75	473,53

La relation utiliser pour l'extrapolation est : $C = A + 387.6 / 387.6$

Où : C (coefficient de correction).

A (Accroissement pluviométrique en mm) = $d \times 40/100$

d = différence d'altitude entre la station de référence et la zone concernée.

Le tableau ci-dessus présente les données pluviométriques des années 1999 à 2009 extrapolées en fonction de l'altitude pour les deux versant nord et sud, la première constatation ce que la totalité des pluviométries ne dépasse pas les 500 mm, malgré l'influence du versant nord qui est normalement le plus arrosé ainsi la haute altitude (2000 m).

D'après ces résultats le cèdre de l'Atlas est loin d'être dans son optimum, et c'est pour ça on remarque que le phénomène de dépérissement touche même les arbres à haute altitude, jeunes ou adultes tous sont touchés, et sa ne s'explique que par l'absence de la pluie (l'eau) dans la période indispensable a l'eau (l'été).

Tableau n° XIII : Températures moyennes mensuelles corrigées en fonction de l'altitude

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1400	2,72	3,73	7,83	10,51	15,45	21,09	23,48	23,33	18,33	14,58	7,30	3,43
1500	0,58	1,65	5,48	7,89	12,46	17,92	20,28	20,00	15,32	11,79	5,02	1,28
1600	-1,59	-0,73	2,94	5,17	9,48	14,83	16,95	16,73	12,28	9,11	2,50	-1,08
1700	-3,94	-3,12	0,13	2,47	6,58	11,59	13,52	13,38	9,19	6,10	0,02	-3,35

Le tableau n°XIII représente les températures moyennes mensuelles corrigées en fonction de l'altitude, pour une période de 10 ans (1999-2000). Les températures semblent de ne pas être une limite au cèdre, au contraire avec ses moyens et dans son milieu favorable, son optimum est étendu.

4 -2 Influence de l'exposition et de la pente

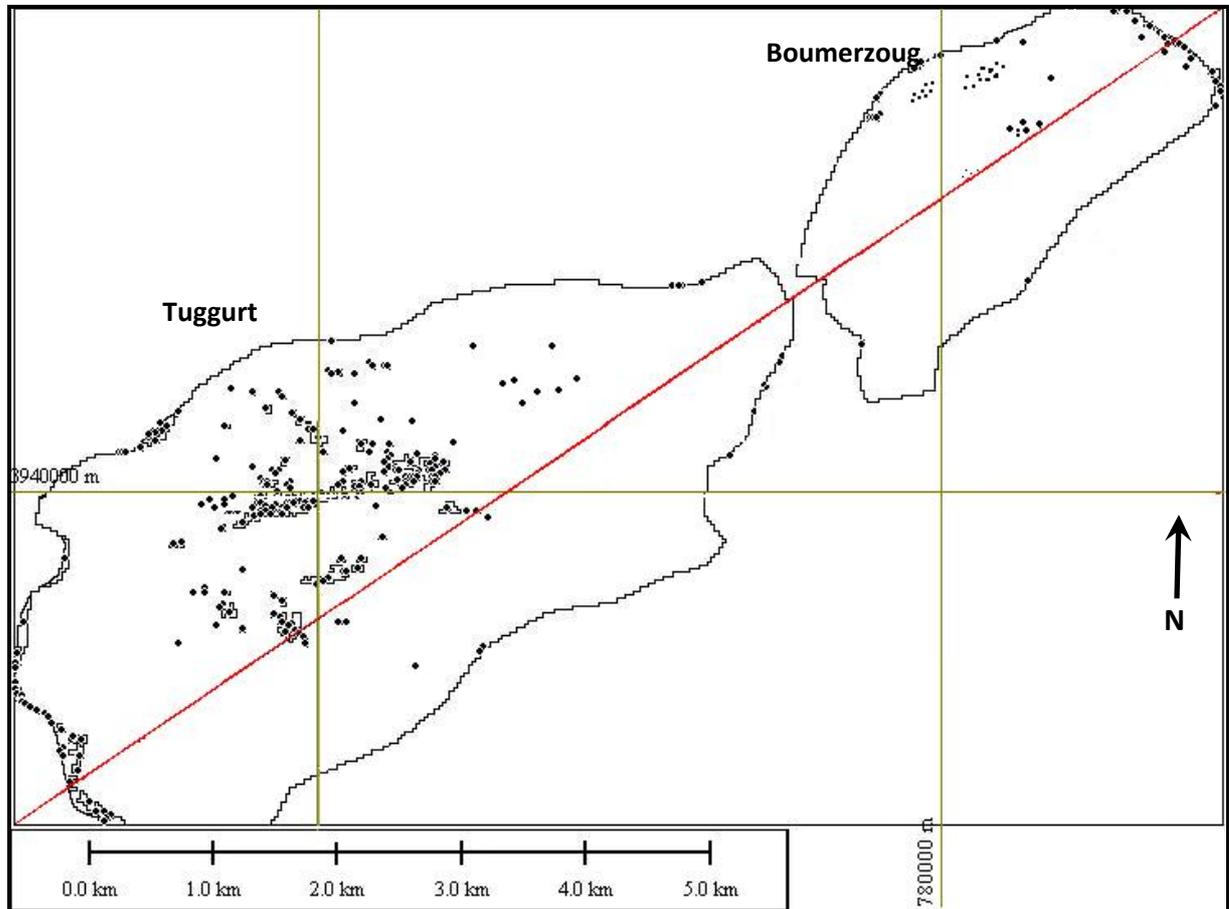


Figure n° 21 : carte de répartition du cèdre de l'Atlas au niveau du Parc de Belezma (Effet du versant).

Les effets de l'altitude sont modulés par d'autres caractéristiques du relief. Ainsi, l'exposition des versants qui joue un rôle très important et conditionne fortement la présence des espèces. Deux types d'exposition sont mises en évidence : du nord au nord ouest et celle du Sud. Cette stratification est retenue pour les deux Dj (Boumerzoug et Tuggurt).

La figure n° 21 représente la répartition du cèdre de l'Atlas au niveau de Dj. Boumerzoug et Dj. Tuggurt sur les deux versants nord et sud. On remarque l'absence totale du cèdre de l'Atlas sur les deux monts, au niveau du versant sud, alors qu'au versant nord la présence du cèdre se caractérise par une faible surface.

Le Dj. Tuggurt, sur le versant sud c'est à peu près la même chose, du pied du cèdre mort, alors que sur le versant nord, il reste un nombre assez faible (non touché par le dépérissement) et une régénération existante a coté d'oued de Hamla c'est à dire où il y a une suffisamment d'eau.

Les différences d'ensoleillement et d'humidité entre les deux versants font donc osciller le pourcentage de présence des arbres morts.

Et en ce qui concerne la pente les deux versants des deux Dj. Boumerzoug et Tuggurt sont assez importante qui met la surface du terrain sous l'influence d'érosion de la matière organique, minéraux et de l'eau (influe sur la capacité à retenir l'eau) qui n'aide pas à la germination des graines.

Les deux facteurs (versant et pente) sont aussi importants que l'altitude. En fait, les cèdres exposés à des périodes d'ensoleillement relativement élevées sont les plus nombreux à être affectés par le dépérissement.

Dans l'ensemble, le terrain est d'une pente élevée au niveau du versant Nord. La zone est connue par son terrain accidenté.

Les cèdres dépéris de Djebel Boumerzoug et Tuggurt sont dans leur totalité au versant Sud, ainsi que dans des terrains en pente, cela peut s'expliquer par l'influence du climat aride. Par contre Le versant sud du Chélia, protégé des influences sahariennes par le plateau des Beni-Imloul et le Dj. Arhane, qui jouent le rôle de déflecteurs, porte de futaies de cèdre bien venantes (Abdessmed. 1981).

Ces peuplements de cèdre reposent sur des sols marneux, en basse altitude, ils sont exposés aux influences désertiques, forment les dernières formations forestières en bordure du désert où le cèdre est en situation très instable, et condamné à disparaître, comme c'est le cas du versant Sud de Djebel Boumerzoug.

Ces conditions difficiles sont aggravées par une tendance à la réduction du volume annuel des précipitations et surtout avec une nette tendance au réchauffement accentuant le déficit hydrique auquel une espèce mésophile comme le cèdre s'adapte de plus en plus mal.

4-3-Influence humaine

Les activités humaines ont considérablement modifiées et perturbées ces milieux par le développement de l'agriculture, pâturages, les coupes illicites,...etc.

- La régénération

L'obtention d'une régénération abondante nécessite une longue période de climat favorable et non une seule année pluvieuse (Lamhmedi et Chebouki, 1994).

La faiblesse de la régénération du cèdre constatée au Belezma peut influencer de façon négative sur la pérennité des peuplements. Et malgré cette faiblesse il existe un taux de régénération au bord des oueds où il y a une disponibilité en eau et d'humidité.

Le type d'intervention visant au reboisement et la reconversion en forêt paraît judicieux. Le Dj. Boumerzoug et le versant sud de Dj. Tuggurt peuvent faire l'objet d'un reboisement pour la protection du sol et l'extension des superficies forestières. Le choix des essences de reboisement nécessite une étude approfondie basée sur des expérimentations dans les zones dégradées à conditions écologiques peu favorables (le cas de notre région) des plantations en espèces rustiques comme le pin d'Alep ou du chêne vert permettront dans une première étape de créer l'ambiance forestière et de préparer l'installation d'autres espèces comme le Cèdre de l'Atlas. Pour assurer le maximum de chance de réussite pour les plantations de cèdre il faut que les plants soient plantés sous un abrit.

- Le surpâturage

Le pâturage est une activité normale en forêt, parfois souhaitée, car le bétail participe au contrôle de la prolifération des strates arbustives et herbacées, hautement inflammables. Cependant, le surpâturage, causant un broutage excessif de la végétation et des jeunes plants forestiers empêche toute régénération, épuise les ressources disponibles, dégrade les parcours et les soumet à l'érosion.

Dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord, le surpâturage est généralement considéré comme une cause essentielle de la dégradation des écosystèmes naturels (Le Houerou, 1980). En Algérie, les éleveurs préconisent le pâturage libre du bétail, sans limitation de la densité de charge et sans clôtures (Montero et Canellas, 1998). En effet, et comme le signale Benabdeli (1996) nos forêts sont souvent sollicitées par les pasteurs comme source d'appoint pour l'alimentation du bétail.

Plusieurs signes de surpâturage peuvent être observés au niveau du parc de Belezma (sur le terrain), la présence des asphodèles (*Asphodelus microcarpus*) est une espèce témoins.

Le compactage du sol par endroits causé par le passage du bétail et les jeunes tiges du sous-étage sont détruites. De plus, il entrave la régénération naturelle des espèces et plus particulièrement celle du cèdre ce qui rend impossible l'installation de nouveaux semis.

Le pâturage au sein du parc de Belezma peut être toléré en vue d'en améliorer le potentiel fourrager des espèces susceptibles de fournir des biomasses vertes pour le bétail (filaire, caroubier, etc.), mais éviter les céderais et permettre d'accroître dans les sites reboisés ou au niveau des zones à régénérer.

Les surfaces ainsi traitées doivent être protégées par une clôture et soumise à un pâturage spatiotemporel contrôlé, pour permettre une bonne évolution floristique du tapis herbacé.

Il est bien évident que ce type d'intervention est envisagé dans un contexte où le contrôle du pâturage, et le respect des mises en défens des zones forestières et en cours de reboisement pourraient être assurés.

5-Complexité des facteurs écologiques

Il est difficile d'expliquer le phénomène de dépérissement du cèdre de l'Atlas car les facteurs exposés précédemment interagissent entre eux.

Par exemple :

- l'altitude, facteur composite, agit sur les végétaux en modifiant la température, la pluviosité, l'effet d'abri, la pente.

- la température, facteur simple, dépend des effets de l'altitude, de l'orientation, de la pente, du sol et de l'humidité ambiante.

6- SYNTHÈSE ET CONCLUSION

La situation du Belezma aux portes du désert est un autre facteur qui influence négativement la cédraie.

La correction des images satellites de 1999, 2000, 2001, 2007 et 2009, et leur interprétation ont permis non seulement de mettre en évidence les zones de régression, de progression et de stabilité de la cédraie mais également de tenter de mettre l'accent sur la nécessité d'une gestion efficiente et contrôlée à travers une base de donnée fiable, accessible et aussi complète que possible. D'où l'intérêt majeur de l'établissement d'une carte dynamique de la zone.

Les possibilités offertes par les images satellitaires multitemporelles permettront à l'avenir, par couplage avec les données climatiques et stationnelles de faire un suivi en temps réel des risques de disparition des massifs forestiers.

Dans notre zone, le cèdre n'est plus présent sous forme de forêt, il est dégradé et dépérit par l'action néfaste de plusieurs facteurs. Il s'agit des facteurs : climatiques, altitudinaux, exposition, pente, ...etc

En conséquence, on relève que le dépérissement est largement recensé au niveau des basses altitudes, à des expositions au niveau desquelles subit une grande sécheresse, et sur des sols à forte pente.

Le surpâturage et les coupes notamment dans les zones sensibles exposées au sud pourrait contribuer aux dépérissements du cèdre.

Les sécheresses répétées associées à l'absence d'une sylviculture intensive ne permettent pas d'équilibrer la densité et la structure des peuplements forestiers aux disponibilités hydriques des sols et aux conditions écologiques.

La complexité du dépérissement des forêts, le manque de connaissance sur les facteurs déterminants et les relations de cause à effet, ainsi que l'incertitude des prédictions des scénarii futurs rendent l'implication de la science nécessaire.

Quelle que soit la cause exacte du dépérissement du Cèdre, elle serait liée à l'alimentation en eau de l'arbre.

Le phénomène du dépérissement massif intervenu dans les cédraies de Belezma semble être provoquer par :

Des facteurs prédisposant considérés comme « facteur déclenchant », il s'agit de la sécheresse prolongée.

Des facteurs aggravants, là on signale la faiblesse des arbres suivi d'une perturbation physiologique (pertes des aiguilles), et le milieu devient favorable à l'installation d' insectes xylophages et des champignons

Ainsi que le manque de gestion sylvicole.

Les causes du dépérissement du cèdre de l'atlas sont loin d'être identifiées de façon catégorique. En effet, ce phénomène tend à s'amplifier et semble suivre l'accélération des changements climatiques.

Certaines pistes de gestion peuvent être proposées, comme :

☞ Coupes sanitaires dans la cédraie : coupe des arbres infectés, Mais l'ouverture du couvert peut aussi augmenter la sécheresse de l'air et du sol ;

☞ Mise en défens de la Régénération naturelle ou artificielle du cèdre protégé ;

- ☛ Etude de diagnostic ;
- ☛ Incidence du dépérissement sur : le génotype de l'espèce, les habitats et la faune.

Le reboisement est une mesure indispensable pour le maintien des ressources forestières. En termes de protection des cédraies, le reboisement peut contribuer à la réduction des risques d'érosion des sols, des eaux, etc. Si les mesures de reboisement sont mises en œuvre, il faudrait s'assurer que l'essence adaptée au site soit bien sélectionnée, et lors de son installation, il est primordial de limiter la concurrence végétale et les reboisements sous un abri (sous le chêne vert), et pourquoi pas que les plants soient des plants mycorhizés.

En cas d'échec dans le reboisement du cèdre, le mieux dans notre cas est de le remplacer par le chêne vert (régénéré par voie naturelle ou par plantation, le chêne vert est l'espèce la mieux adaptée aux conditions stationnelles actuelles).

La cédraie de Belezma, non soumise à des opérations d'aménagements appropriées, engendre en conséquence une situation chaotique loin d'être rationnelle.

Il est primordial de mettre en évidence les facteurs déterminants du dépérissement forestier afin de minimiser l'impact du climat par une gestion sylvicole adaptée aux conditions locales. Une opération d'éclaircies réalisée, serait inévitablement l'indice d'une meilleure protection du cèdre.



CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, que nous avons mené, au sein du Parc National du Belezma, dans le but d'étudier l'évolution ou bien la dynamique de dépérissement, nous avons pris en considération l'importance des conditions écologiques (climat, type de sol, exposition et altitude).

Il apparaît clairement qu'il est possible de localiser les modifications de l'espace forestier et d'en estimer l'ampleur à partir des images satellitaires.

La méthodologie adoptée se base sur la comparaison de la zone à différentes dates. La détection des changements est précédée par des prétraitements de corrections géométriques des images. La comparaison de l'indice de végétation normalisé (NDVI) généré pour les différentes dates a permis d'établir des images présentant les différents changements dans ces deux zones. Hormis les espaces restés inchangés, les évolutions constatées sont classées selon des classes de changement.

Les interprétations des causes de ces évolutions sont diverses. Le phénomène de sécheresse répétitive qui touche depuis longtemps notre secteur est le principal facteur de dépérissement. Les évolutions radiométriques progressives concernent essentiellement les nouveaux reboisements introduits dans certaines parties, le développement du chêne vert et le sous bois..

Les changements régressifs de radiométrie montrent l'importance du dépérissement dans ces milieux naturels.

Du point de vue édaphique, malgré que les sols soient dans un état de dégradation avancé, leur impact sur le dépérissement de la cédraie demande à être confirmé par des études approfondies.

Il semblerait qu'il intervient à une échelle locale un ensemble de facteurs biotiques et abiotiques. La difficulté d'appréhender les causes et les risques de dépérissement au niveau des stations nous incite à étudier ce phénomène sur une plus grande échelle (régionale) pour repérer des facteurs plus larges, applicables sur de grandes surfaces.

Il est en tous cas important d'identifier rapidement les causes du dépérissement afin de modéliser ce phénomène et d'identifier les zones et les conditions où il risque de se produire à court comme à moyen terme.

Les données climatologiques montrent des précipitations irrégulières et une sécheresse plus importante pour la période récente.

Le dépérissement des arbres paraît être lié aux conditions écologiques défavorables exprimées par des expositions plus chaudes, des sols superficiels sur des pentes fortes et dont la capacité de retenir l'eau est limitée, prédisposées à des conditions stressantes contrairement au niveau du versant Nord.

Les causes du dépérissement du cèdre sont loin d'être identifiées de façon catégorique. En effet, ce phénomène tend à s'amplifier et semble suivre l'accélération des changements climatiques. Dans cette étude, aucune variable n'explique plus de 50 % le dépérissement.

De plus, afin de préciser et compléter les résultats, il faudra aussi réaliser une étude plus approfondie des facteurs environnementaux influençant l'état de la végétation tels que la topographie, les stress climatiques, la pollution locale et qui pourraient expliquer l'état de santé des peuplements. Là encore, il serait peut-être possible de mettre en place des méthodes de lutte et de prévention.

Le problème du dépérissement du cèdre de l'atlas du parc du Belezma paraît donc être centré sur *les sécheresses répétées* (cause primaire)

Pour finir, quelques pistes de gestion peuvent être proposées :

Nous proposerons en premier lieu des coupes sanitaires :

- comme la coupe des arbres infectés par des ravageurs afin d'en limiter la propagation. Mais l'ouverture du couvert peut aussi augmenter la sécheresse de l'air et du sol, néfaste pour le cèdre.

- Le maintien d'une densité raisonnable représente une solution pour limiter la compétition hydrique du peuplement et assurer sa vigueur.

- Une gestion adaptée aux conditions locales devra s'imposer pour la conservation des cédraies.

- une détermination de l'impact des stress abiotiques sur le fonctionnement écophysiological, le développement des cèdres et les autres essences utilisées dans les programmes de reboisement ;

- une analyse des mécanismes de résistance à la sécheresse, pour une meilleure adéquation site/génotype ;

- une détermination des types d'aménagements édaphiques adéquats, permettant d'améliorer le bilan hydrique des sols dans différentes situations et leur efficacité dans le temps ;

- une étude d'impact des différents traitements sylvicoles pouvant favoriser le bilan hydrique des sols ;

Dans l'ensemble, une surveillance et des précautions sont nécessaires pour le maintien de la santé de la cédraie.

Enfin, il serait intéressant que ce thème soit complété par des études qui soient menées sur d'autres facteurs dans différentes stations forestières.



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.
- ABOUROUH M., 1994.** Les ectomycorhizes du cèdre de l'Atlas : état des connaissances et perspectives. Ann. Rech. Maroc. 27. Vol. 2 338-346.
- ACHHAL A., AKAZBLI O, BARBERO M. et al., 1980.** A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. Ecologia Mediterranea. Pp : 11-49.
- AIDEL Z., 2007.** Mise en place d'un système d'information géographique dans le PNB (Wilaya de Batna). Thèse. Ing. Univ. INA. Alger. 84p.
- AIT-ABDERRAHMAN H., 2007.** Contribution à l'étude de la fertilisation azotée sur la croissance des jeunes plants de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) élevés en pépinière. Thèse. Ing. 58p.
- AGENJO R., 1941.** Monographie de la famille des thaumetopoeidae (Lep.). Eos. Rev. Esp. Ent. XVII. Pp : 69-130.
- ALEXANDRIAN D., GOUIRAN M. 1992.** Les causes des incendies. Levons le voile !. *Forêt méditerranéenne*, n° 1, p. 41-47.
- ALLEN C.D., MACALADY A., CHENCHOUNI H., BACHELET D., MCDOWELL N., VENNETIER M., GONZALES P., HOGG T., RIGLING A., BRESHEARS D.D., FENSHAM R., ZHANG Z., KITZBERGER T., LIM J.-H., CASTRO J., RUNNING S.W., ALLARD G., SEMERCI A. et COBB N., 2009.** Le dépérissement des forêts dû au climat : un phénomène planétaire croissant ? *Unasylva* 231/232, Vol. 60. Pp : 43-49.
- ANDREA C. et ROBERTO M., 1994.** Growth performances of a thinned atlas cedar (*Cedrus atlantica* Man.) Stand. Ann. Rech. For. Maroc, T(27) : 281-293.
- ARBEZ M., FERRANDES P. et UYAR N., 1978.** Contribution à l'étude de la variabilité géographique des cèdres. Ann. Sci. For. 35(4) : 265-284.
- AUSSENAC G. et GUEHL J., 1990.** Ecophysiologie des cèdres (*Cedrus* Sp.), conséquences pour la sylviculture. Bull. Sci. Bot. For. 131. Actual Bot. (2/3/4), Pp: 384-398.
- AUSSENAC G., 1984.** Le cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écologique. Bull. Soc. Bot. Fr., Actuel Bot., (2/3/4). Pp : 385-398.
- AUSSENAC G., BOULANGEAT C., 1980.** Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillu (*Fagus sylvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), Ann. Sci. For. 37 : 91-107.
- AUSSENAC G., GRANIER A. et 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.
- BAKRY M. et ABOUROUH M., 1996.** Nouvelles données sur le dépérissement du chêne-liège (*Quercus suber* L.) au Maroc. Ann. Rech. For. Maroc. T(29), Pp: 24-39.

- BARITEAU M. et 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.
- BARITEAU M., 2003.** Les ressources génétiques forestières dans le bassin méditerranéen. Forêt méditerranéenne. t. XXIV, n°2.
- BARITEAU M., VAUTHIER D., POMMERY J., REI F. et ROYER J., 2007.** Les meilleures provenances de cèdres pour le reboisement en France méditerranéenne. Forêt -Entreprise, n° 174. Pp : 21-26.
- BASTIEN Y., AUSSENAC G., et FROCHOT H., 2000.** Les changements climatiques : conséquences pour la sylviculture. Rev. For. Fr. 1.II
- BECKER M., 1987.** Bilan de santé actuel et rétrospectif du sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Etude écologique et dendrochronologique. Vol. 44, n°4.Pp :379-401.
- BECKER M., PICARD J-F., et TIMBAL J, 1983.** Les arbres. Ed. Masson. Paris, 141p.
- BELKHIRI S., 1993.** Contribution de l'étude de la régénération naturelle du cèdre de l'atlas dans le massif de Belezma, cas de djebel M'hseur. Thèse. Ing. INA., 82p.
- BELLOUMI H., 2002.** Contribution à l'étude de la régénération du cèdre de l'Atlas (*cedrus atlantica* Manetti) : influence de deux modes d'élevage sur le comportement des jeunes semis en pépinière. Mem. Ing. Uni. Batna. 81p.
- BENABDELI K., 1996.** Aspects physionomico-structuraux et dynamique des écosystèmes forestiers faces à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les Monts de Dhaya. Algérie occidentale. Doct. Es-sci. Univ. Djilali Liabes de Sidi Bel Abbés. 356p + annexes.
- BENABID A, 1993.** Biogéographie phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). Silva Méditerranæa Actes du séminaire International sur le cèdre de l'Atlas. Ifran (Maroc). 7-11 juin 1993. Pp : 62-69.
- BENARAB M., 1996.** Caractérisation physico-chimique des sols des monts de Belezma : Essai sur les potentialités de quelques stations de cèdre (*Cedrus atlantica* M). Mem. Ing. Uni. Batna., 101p.
- BENCHEKROUN, F. 1993.** L'économie de la cédraie marocaine et son impact sur le développement des collectivités locales. Annales des Recherches Forestières du Maroc 27(spécial). Pp : 714-724.
- BENISSAD B., 1992.** Contribution à l'étude de l'accroissement du pin d'Alep (*Pinus halpensis* Mill) en relation avec quelques variables du milieu dans la forêt de Beni-imploul, série Ras-bignoun, versant (sud-est). Thèse ingénieur, université Batna. 66 p.
- BENNACER K., 2007.** Contribution à l'étude de l'influence de l'exposition, du couvert végétal et du travail du sol sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans les monts de Ouled Yagoub (série Taza) W. Khenchela. Univ. Batna. Mem. Ing. Batna, 99 p.
- BENOIT T., 2005.** Problématique du dépérissement du bouleau blanc en Estrie : revue de la littérature et avenues possibles pour son aménagement futur. *Association forestière des Cantons de l'Est*. Pp : 1-42.

- BENTOUATI A., 1993.** Première approche à l'étude de la croissance et de la productivité du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Bélezma. Thèse. Mag. Uni. Batna. 63 p.
- BENTOUATI A. et OUDJEHIIH B., 1999.** Premières études de la croissance et de la productivité du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Belezma (Aurès). Ann. Rech. For. Algérie. **2**. Pp : 23-33.
- BENTOUATI A., 2007.** La situation du cèdre de l'atlas en Algérie, Forêt méditerranéenne ; journées d'études changements climatiques et forêt méditerranéenne « 9 novembre 2007 ».
- BERT G.D., 1992.** Influence du climat, des facteurs stationnels et de la pollution sur la croissance et l'état sanitaire du sapin pectiné (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. Etude phytoécologique et dendroécologique. Doctorat de l'Université de Nancy1 en Sciences du Bois, Biologie Végétale et Forestière. Pp : 1-110.
- BNEF, 1985.** Étude d'aménagement du Parc National de Belezma. Phase I.II.III Et IV
- BOUDJERDA A., 1990.** Contribution à l'étude de la production du cèdre de l'Atlas dans le parc national de Belezma Ingénieur d'État en foresterie. Institut d'Agronomie d Batna. 130p.
- 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. Ed. La Maison Rustique. 505 p.
- BOUKCIM H., PAGES L., PLASSARD G. et MOUSSAIN D., 2001.** Effects of N fertilization on root system architecture and receptivity to mycorrhizal infection of cedar seedlings. Tree physiology, 21. Pp: 109-115.
- BOUTTE B., 2007.** Les dépérissements observés sont-ils tous dus au changement climatique? Journées d'études << Changements climatiques et forêt méditerranéenne>>. Forêt Méditerranéenne.
- BRAQUE R., 1988.** Biogéographie des continents. Masson.- 470p.
- BRUNETTI B., DE CAPUA E. L., MACCHIONI N. ET MONACHELLO S., 2001.** Natural durability, physical and mechanical properties of Atlas cedar (*Cedrus atlantica* Manetti) wood from Southern Italy. Annals of forest science **58**. Pp : 607-613.
- CIESLA W-M., 1993.** Qu'arrive t-il au Neem sahélien ? Unasyuva. N°172 : sécurité des ouvriers forestiers. Archives des documents de la F.A.O. Département des forêts.
- CSABA M., 1994.** Results of introduction trials with *Cedrus atlantica* in Hungary. Ann. Rech. For. Maroc (27) (special). Pp : 220-222.
- DAHMAN M. et KHOUJA M., 1994.** Résultats des essais d'acclimatation du cèdre en Tunisie. Ann. Rech. For. Maroc T(27) (spécial). Pp : 129-137.
- DE VILMORIN G.B., 2003.** Histoires d'arbres. Ed. Jean-paul Gisserot. Paris, 280p.
- DEBAZAC (E. F.), 1964.** Manuel des conifères. Nancy, École nationale des Eaux et Forêts, 1964. 172 p.

- DELKOV A. et GROZEV O. 1994.** Résultats de l'introduction du *Cedrus atlantica* Manetti en Bulgarie de Sud-Ouest. *In* : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin 1993. Ann. Rech. For. Maroc **27** (spécial). Pp : 174-185.
- DEMARTEAU M., 2006.** Réponse de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. Licence en sciences géologiques, Univ. Liège., 60 p.
- DERRIDJ A, 1990.** Etudes des populations de *Cedrus atlantica* M. en Algérie. Thèse. Doc : Uni. Paul Sabatier. Toulouse. Pp : 112-122.
- DEPARTEMENT DE LA SANTE DES FORETS (DSF), 2007.** Dépérissement et mortalité: un éclairage de la situation en France. L'IF. n°16, 3° trimestre.
- DUCHAUFFOUR PH., 1988** : Abrégé de pédologie. 2^{ème} édition. Masson. Paris.Milan. Barcelone. Mexico, 224 p.
- DUCREY M, 1993.** Adaptation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au climat méditerranéen. Aspect écophysologique de sa réaction à la sécheresse. Silva Meditternea Acte du séminaire International sur le cèdre de l'atlas. Ifran (Maroc) : 7-11 juin1993. Pp ; 140-150.
- EI 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). Pp : 594-611.
- EMBERGER L. 1939.** Aperçu général sur la végétation au Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1 : 150000. Veröffentlichungen des geobotanischen forschungsinstituts Rübel in Zürich **14**.
- ET-TOBI M., et BENZIANE M., 2007.** Le dépérissement du cèdre de l'Atlas au Maroc. Journées d'études << Changement climatiques et forêt méditerranéenne>>. Forêt Méditerranéenne.
- FABRE J.P., 1976.** Extension du cèdre et risques d'attaques d'insectes. R.F.F. XXVIII -4- Class. Oxford 174 CEDRUS: 453
- FAUREL L., 1947.** Note sur la Cédraie de l'Atlas de Blida (Algérie), ses sols et ses associations végétales. C.R. Conf. Pédologie Médit., Alger-Montpellier. Pp : 474-477.
- FERRANDES P. 1986.** Cèdres. Revue forestière française, vol. XXXVIII, n° spécial "Amélioration génétique des arbres forestiers". Pp. 139-141.
- FIOT J-L., CAROULLE F. et LUCAS S., 2007.** Dépérissement et mortalité de quelques essences. L'IF. N° 16, 3° trimestre.
- GACHI M. KH2MICI M. et ZAMOU% M., 1986.** Sur la présence en Algérie de la processionnaire du cèdre *T. bonjeani* Powell (*Lepidoptera thaumetopoeidaé*). Ann. Rech. Forest. Algérie I. Pp : 53-63.
- GACHI M. 1989.** Eco-biologie de la processionnaire du cèdre *Thaumetopoea bonjeani* Powel. (*Lepidoptera, Thaumetopoeidae*) en Algérie. Séminaire International de Biologie - Constantine. Mai 1989, 13 p.
- GAGNON G., ROY G., 1994.** Le dépérissement De l'érable • sucre (*acer saccharum* marsh.) Au Québec. Rev. For. Fr. XLVI -5- Pp : 512-521.
- GARREC J.P., 1994.** Les dépérissements Littoraux d'arbres forestiers. Rev. For. Fr. XLVI. Pp : 254-457.

- GARTNER E., 1988.** Maladie des forêts : un premier bilan. Sylviculture. Pp : 30-38.
- GAUSSEN 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'œuvre. <http://actscience.blogspot.com/2007/11/pour-la-forêt-méditerranéenne-le.html>
- GOUTOULY J-P., DRISSI R., FORGET D. et GAUDILLERE J-P., 2006.** Caractérisation de la vigueur de la vigne par l'indice NDVI mesuré au sol. Enita 2006. Pp : 237-242.
- GUYON J.P., 1991.** Dépérissement du pin maritime (*Pinus pinastre* Ait) en Vendée. Les causes écologiques. Ann. Sci. For.48. Pp : 333-346.
- HADJI O., 1991.** Contribution à l'étude de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M) en forêt domaniale de Belezma W (Batna). Mem. Ing. Agr. I.N.A. El-Harrach. Alger. 81p.
- HALIMI A., 1980.** L'Atlas Blidéen – climat & étages végétaux. Office des publications universitaires – Alger. Edition n° 648-2/80.
- HARFOUCHE A. et NEDJAH 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, Pp: 113-122.
- HARTMAN G., NIENHAUS F., BUTIN H. et 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.
- JUM, HUNT et PENUELAS, 2006.** Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *fagus sylvatica*. Global change Biology, 12. Pp: 2163-2174.
- KHANFOUCI (M.S.), 2005.** Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le massif du Belezma. Thèse. Mag. Uni. Batna. 249p.
- KROUCHI F., 1995.** Contribution à l'étude de l'organisation reproductive du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) à Tal-Guileg (Djurdjura Nord Occidental). Thèse. Mag. INA. Alger. 105p. 6 Annexes.
- LAABED A., 1999.** Le plan de gestion du parc national de Belezma. Actes du 3^{ème} séminaire national sur les plans de gestion des parcs nationaux. Blida, pp : 57-64.
- LAABED A., 2006.** Les principales pistes du dépérissement du cèdre. Pp : 1-110.
- LADJAL M., 2007.** Etude de l'effet du stress hydrique sur la germination des graines de différentes provenances de *Cedrus libani* et de *Cedrus atlantica*. Mémoire de D.E.A. Univ. Nancy I, Fac sci, 24p + annexes.
- LAFLAMME G, 1992.** Diagnostic des cas de dépérissement. Coll. Recherche sur le dépérissement. Un premier pas vers le monitoring de forêts. 1ère partie. Pp 189-193, Canada.
- LAMHAMED M. et CHBOUKI N., 1994.** Les principaux facteurs influençant la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.). Ann. Rech. For. Maroc, T (27). Pp : 243-257.

- LAMONTAGNE J., 2000.** Les conséquences du verglas sur les arbres. Conférences présentée dans le cadre du Congrès annuel de l'association forestière des Cantons de L'Est. 178p.
- LANDMANN G., BONNEAU M. et ADRIAN M., 1987.** Le dépérissement du sapin pectiné et de l'épicéa commun dans le massif vosgien est-il en relation avec l'état nutritionnel des peuplements ? R.F.F. XXXIX -1-. Pp : 5-11.
- LANDMANN G., 1994.** Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers. Rev. For. Fr. XLVI - 5- Pp : 405-415.
- LANIER L., 1976.** Mycologie et pathologie forestières. Tome II. Pathologie forestière. Edition Masson. Paris. Pp : 16-26.
- LANIER L., 1993.** Les champignons des cédraies en Algérie (Etude comparative). Ann. Rech. For. Maroc. 27 Vol 2. Pp : 554-561.
- LASRAM M., 1994.** 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). XXXV-XXXVI.
- LAURENT C. et LECOMTE H., 2006.** La santé des forêts. RES. FOR 3
- LE HOUEROU (H.N.), 1975.** Deterioration of the ecology in the arid zones of North Africa. FAO, Rome. Pp: 45-57.
- LE HOUEROU H. N., 1980.** L'impact de l'homme et de ses animaux sur les forêts méditerranéennes. Forêt méditerranéenne II, I, pp31-34.
- LEPOUTRE B. 1963a.** Rôle des mycorhizes dans la biologie des jeunes cèdres. C.R. Soc. des Sc. nat. et phys. au Maroc., t. XXIX, no 5-6, Rabat, 1963.
- LEPOUTRE B. 1963b.** Recherche sur les conditions édaphiques de régénération des cédraies marocaines. Ann. Rech. For. ; 6, Rapport 1957-1961, Fasc. 2 ; 210 p.
- 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.
- LEVY G. ET BECKER M., 1987.** Le dépérissement du sapin dans les Vosges : rôle primordial de déficits d'alimentation en eau. *Ann. Sci. For.* 44 Pp : 403-416.
- LOUSTAU D., et al., 2005.** Modeling climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub-regional level. *Tree physiology* 25, n°7. Pp: 813-823.
- MATHIEU C et PIELTAIN F., 2003.** Analyse chimique des sols. Ed. Tec et doc. Lavoisier, Paris, 292 p.
- M'HIRIT O., 1982.** Études écologiques et forestières des cédraies du Rif Marocaine : essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la production du cèdre de l'Atlas. Ann. Rech. For. Maroc. Vol. 2. 499 p.
- M'HIRIT O., 1994.** Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) présentation générale et état des connaissances a travers le réseau Silva mediterranea "Le cèdre". Ann. Rech. For. Maroc, T (27). Pp : 3-21.
- M'HIRIT O. et BLEROT P., 1999.** Le grand livre de la forêt marocaine. Ed. Mardaga, 280p.
- M'HIRIT O. et BENZYANE M., 2006.** Taxonomie et répartition historique, in M'HIRIT O, le cèdre de l'Atlas. Ed. Mardaga. Pp : 13-26.

- M'HIRIT O., BENZYANE M., et BLEROT P. 2006.** Le cèdre de l'Atlas : Mémoire du temps, Éd. Mardaga. 245p.
- MALKI H., 1992.** Contribution à l'étude de l'influence du climat et des facteurs physiques sur la végétation naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans les monts du Belezma (Algérie). Thèse. Doc. Uni. De Paris- Sorbonne. 187p
- MAZIRT N., 1991.** Contribution à l'étude des facteurs de dégradation de la cédraie du Parc National de Belezma. Thèse. Ing. Uni. INA. Alger. 34p.
- MEDDOUR G., 1994.** La cédraie de l'Atlas Blideen (Algérie) valeur bioclimatique, syntaxonomique et dynamique. Ann. Rech. For. Maroc, T (27). Pp : 105-127.
- MEDDOUR M., 1983.** Contribution à l'étude de la croissance de *Pinus halpensis* Mill en relation avec les groupements végétaux dans les forêts de Bainem. Mem. Ing. Agro. Alger. 67p
- MEDIOUNI K. et YAHY N. 1994.** Phytodynamique et autoécologie du *Cedrus atlantica* dans le Djurdjura. Ann. Rech. For. Maroc. T (27) (Spécial). Pp : 77-104.
- MESSAT S., 1994.** Modèle matriciel pour la croissance des futaies jardinées ou irrégulières de *Cedrus atlantica* Manetti : cas de la forêt du Seheb au moyen atlas du Maroc. Ann. Rech. For. Maroc, T(27) : 313-319.
- MICAS L., 2007.** Le dépérissement des forêts des Alpes de Haute-Provence. Journées d'études « Changement climatiques et forêt méditerranéenne ». Forêt Méditerranéenne.
- MICAUX D., 2007.** Le dépérissement de la sapinière de l'Aude. Journées d'études « Changement climatiques et forêt méditerranéenne ». Forêt Méditerranéenne.
- MONTERO G. & CANELLAS I., 1998.** Salviculturay gestion sostenible de sistemas forestales, Actas de Los Primeros Encuentros Científicos del parque natural de Penalara, 29-31 Mai. Conserjería de Medio Ambiente de Madrid.
- MOUNA M., 1986.** Possibilités et époque de lutte contre la tordeuse du cèdre *acleris undulana* a walsingham. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 1986, n° 10 p. 209 - 210
- MOUNA M., 1994.** Etat des connaissances sur l'entomofaune du cèdre de l'atlas (*cedrus atlantica* Manetti) au Maroc. Ann. Rech. For. Maroc, (1994), T(27), 513-526.
- MOUSSAFIR M., 2007.** Le cèdre, emblème du moyen Atlas. Quotidien Aujourd'hui le Maroc. N° de parution 1371.
- NEDJAHY A., 1988.** La cédraie de Chréa. (Atlas Blideen) : Phénologie, productivité, régénération. Thèse. Doc. Univ. de Nancy. 184p.
- PANESTOS K. P., CHRISTOU A. et SCALTSOYIANNES A. 1992.** First analysis on allozyme variation in cedar species (*Cedrus* sp.). *Silva Genet.* **41** (6). Pp : 339-342.
- PANESTOS K. P., CHRISTOU A. ET SCALTSOYIANNES A. 1992.** First analysis on allozyme variation in cedar species (*Cedrus* sp.). *Silva Genet.* **41** (6). Pp : 339-342.
- PONS A., 1998.** L'histoire du genre *cedrus* d'après les données paléobotaniques disponibles. Forêt méditerranéenne. t XIX, N°3.
- PRADAL F., 1979.** Variabilité génétique et écophysiological du cèdre. Résumé. INRA département Forêt. Nancy.

- 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 283.
- QUEZEL, P., 1976.** Les forêts du pourtour méditerranéen. In *Forêts et maquis méditerranéens: écologie, conservation et aménagement. Note technique MAB, 2.* Pp : 9-33. UNESCO, Paris.
- QUEZEL P., 1998.** Cèdre et cédraies du pourtour méditerranéenne : signification bioclimatique et phytogéographiques. Forêt méditerranéenne. T.XIX, n°3.
- QUEZEL P., 1980.** Le peuplement végétal des hautes montagnes d'Afrique du nord. Ed. Le chevalier. Pp : 205-256
- RAMADE F., 2003.** Éléments d'écologie - Écologie fondamentale. 3ème édition. 690 p.
- REQUARDT A., KÖHL M., SCHUCK A., POKER J., JANSE G., MASVAR R., et PÄIVINEN R., 2007.** Feasibility study on means of combating forest dieback in the European Union. EC DG ENV Contract (070102110004/2006/449050/MAR/B1), Brussels, Belgium, pp. 79 + Annex I, II, III.
- RIOU-NIVERT P., 2005.** Les résineux. Tome II : Ecologie et pathologie. Ed. I.D.F, 356 p.
- RIOU-NIVERT P., 2007.** Fiche extraite de la Flore forestière française. T (III) région méditerranéenne. Forêt-entreprise, n°174. Pp : 14-16.
- RIPERT C. et BOISSEAU B., 1994.** Écologie et croissance du cèdre de l'Atlas en Provence. CMAGREF. Pp : 156-171.
- RIPERT C. et BOISSEAU B., 1993.** Ecologie et croissance du cèdre de l'Atlas en Provence. Silva Mediterranea Actes du Séminaire International sur le cèdre de l'Atlas. Ifran (Maroc) ; 7-11 juin 1993. Pp : 156-164.
- RIPERT C., 2007.** Autoécologie du cèdre de l'Atlas. Forêt-entreprise. N°174. Pp : 17-20.
- ROCHE E. 2006.** Palynologie de la région méditerranéenne. Université de Liège. Notes de cours, inédit.
- SCHOENBERGER A, 1970.** Etude de la végétation de l'Aurès oriental. FAO. Projet Algérie 15. 20 p.
- SELTZER P., 1946.** Le climat de l'Algérie. Institut Météo et Physique du Globe. Uni. Alger. 129 p.
- SFEA, 2008.** Que peut faire le forestier par rapport à ces changements ? Fiche n° 2.5.
- 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.
- TERRAB A., PAUN O., TALAVERA S., TREMETSBERGER K., ARISTA M., et STUESSY T.F. 2006.** Genetic diversity and population structure in natural populations of Moroccan Atlas cedar (*Cedrus atlantica*; Pinacea) determined with cpSSR markers. American Journal of Botany 93(9). Pp: 1274-1280.
- TILL C., 1985.** Recherches dendrochronologiques sur le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Endl. carrière) au Maroc. Thèse. Doc. Fac des sciences. Uni. Catholique de Louvain. La Neuve. 231 p et annexes.

- TOTH J., 1971.** Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* en France). Bulletin de la vulgarisation forestière. N° 4. Pp : 5-19.
- TOTH J., 1978 a.** Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le sud de la France. Thèse. Doc. Ing. Fac. St. Jérôme. Marseille, France. 136p.
- TOTH J., 1970.** Plus que centenaire et plein d'avenir : le cèdre en France. Rev. For. Fr, vol . 22, n° 3. Pp : 355-364.
- TOTH J., 1978 b.** Prévision de production de cônes de cèdre ; Estimation qualitative et quantitative. Protocole n° 11. Ministère de l'agriculture. I.N.R.A. stat. sylv. medit. avignon. pp : 1-3.
- TOTH J., 1980.** Le cèdre III. La graine des plants en pépinière, reboisement, régénération naturelle. Forêt privée. Rev. For; Europe. N° 132. Pp : 41-47.
- TOTH J., 1981.** Contribution à l'étude monographique du cèdre méditerranéen. INRA. Station d'Avignon : 25p.
- TOTH J., 1982-1984.** Quelques éléments nouveaux pour mieux situer et caractériser le cèdre de l'Himalaya en France vis-à-vis du cèdre de l'Atlas et du cèdre du Liban en France méridionale. INRA. Bull. Soc. et Sci. Nat. Vaucluse. Pp : 41-49.
- TOTH J., 1984.** La prévision des possibilités de récoltes de cônes de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Bull. Tech. N° 15 O.N.F. Pp: 39-51.
- TOTH J., 1987.** Effets des facteurs d'environnement sur l'accroissement du cèdre de l'Atlas. Bull. Soc. Et Nat. Vaucluse. Pp : 71-76.
- TOTH J., 1990.** Le cèdre III. Intérêt paysage. Cédraie touristique. Forêt privée. N° 195. 8p.
- TOTH J., 1994.** Le cèdre de l'atlas en France : Croissance et production dans les dispositifs anciens. Ann. Rech. For. Maroc, T (27) : 321-335.
- TOTH J., 2005.** Le cèdre de France - Etude approfondie de l'espèce. Ed. L'harmattan. Paris 207p.
- REQUARDT A., POKER J., KOHL M., 2007.** Etude de faisabilité sur les moyens de lutte contre le dépérissement forestier. Rapport technique. Décembre 2007.
- VANNINI A. 1990.** Susceptibility of *Quercus cerris* to *Hypoxylon mediterraneum* at different levels of water stress. In Proceedings. In International Symposium Oak Decline in Europe. Kórnik, Poland, pp. 165-172.
- VARELA M., 2007.** Si le dépérissement des peuplements de chêne-liège est en rapport avec le changement climatique. Journées d'études « Changement climatiques et forêt méditerranéenne ». Forêt Méditerranéenne.
- YVES M., 2005.** La forêt face au changement de climat. Exposé lors de la réunion d'information sur « La sylviculture et les changements climatiques ». CRPF. Florac.



Annexe I

Tableau I : Moyenne mensuelle des précipitations moyennes (en mm)

Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Tot
1951	13,5	30	33,5	6	55,5	1	8	7,5	25	37,5	17	89	323,5
1952	32	10	25	23	68	0	15,5	11,5	52	12	5	4,5	258,5
1953	36	21,5	78	9,5	15,5	33,5	0	20	28	38	29	13	322
1954	35	41	58,5	79	19,5	0	9	0	15	16	13	23	309
1955	21	34	17,5	103	35	0	1	11,3	32	49	12	41,5	357,3
1956	13,5	63,5	27,5	39,5	44	0	0	7,5	7,5	21,8	38	8,5	271,3
1957	33	0	40,5	57,5	104	39,5	26	15	39	133	104	52	643,5
1958	56	16	10	29,5	1	20	0	65	55,5	46,1	102,7	42,8	444,6
1959	2	45	20	61	45	41	13	8	35	35	45	41,5	391,5
1960	55	21,5	35,5	100,5	55	70,5	15,5	5	3	5	10,5	65,5	442,5
1961	51,5	5,5	11	15,5	4	41,5	30,5	39	5	2,5	39	15	260
1962	9	61,5	32,2	55	42,5	32,5	2	18	9,5	25,5	61,5	31,5	380,7
1963	21,5	95,5	65,5	61,5	43	85,5	21,5	5	91,5	6	0	85,5	582
1964	132,5	36,5	50	85,3	15,8	22,5	9	78	5,5	45,5	31,5	41,5	553,6
1965	60,5	15	41,5	18,5	20	25,5	6,5	21,5	81,5	35,5	21,5	90,5	438
1966	7	18,5	15,5	41,5	70	15,5	3,5	5,5	9,5	29	41,5	5,2	262,2
1967	9	20,5	14,5	15,5	35,5	5,5	4,5	21,5	62,5	6,5	155,5	61,5	412,5
1968	48,5	25,5	35	34	17,5	65,5	6,5	8,5	1,5	0	25,5	70	338
1969	50	35,5	38,5	27,8	38,5	5,5	6	12,5	66,1	84,6	13,3	91,9	470,2
1970	36,5	0	18,5	115,5	46,4	0	22	0	2	4	0	35,5	280,4
1971	3,8	31,5	17,4	7,5	42,2	0	5,4	0	35,9	6,1	47,1	39,6	236,5
1972	51,8	38,8	43	85,2	50,1	0,1	0	27	21,5	47,3	24,4	27,3	416,5
1973	56,3	59,9	94,1	0	5,1	21,5	0	16,8	33,4	6,2	20,7	91,7	405,7
1974	0	43,6	101,7	65,9	1,3	21,3	0	2,4	6	13,8	81,3	10,6	347,9
1975	33,2	119,6	69,5	62,8	54,8	0	0	3,8	40,4	1,2	71,1	11,3	467,7
1976	29	81,4	66,9	36,8	56,8	42,2	20,4	12,1	48,6	42,2	75,6	41,6	553,6
1977	79	1,3	8,2	26,2	72,9	8,1	0	26,4	0	0	78,9	10,6	311,6
1978	19,1	31,9	15,6	48	27	0	0	34,3	3,9	70,9	4	9,1	263,8
1979	29,8	40,3	19,6	48,1	6,1	26,1	0,8	6,2	30,3	16,8	16,8	1,4	242,3
1980	11,9	36,4	37,3	63,5	51,1	0	0,1	1,6	19,1	0,9	37,6	32,8	292,2
1981	8,4	31,1	31	51,3	1,6	26,2	0	11,7	44,2	15,5	5,7	18,1	244,8
1982	43,5	30	28,2	37,9	24,8	42	3	5,4	42,4	37,8	94	18,1	407,1
1983	1,5	15,2	7,1	14,3	2,8	5,3	5	4,3	6,5	3,6	8,9	10,1	83,1
1984	16,3	98	6,8	58,4	0,7	13,8	0	28,2	3,5	78,1	11,4	22,8	296
1985	93,6	26,6	81,5	3,6	70,2	0,1	0	0	57,7	36,9	73,9	40,8	484,8
1986	22	44,6	86,9	5,1	16,5	19,7	3	4,8	38,4	54,8	43,4	37,1	351,8
1987	20,5	43,5	19	29,9	24,6	7,8	56,3	0,1	4	20	33,7	47,5	250,5
1988	3,5	6,8	15,5	21,7	5,3	11	1,8	9,6	9	0,3	20,5	60	153,6
1989	19	21	26,5	15,2	20	40	16,4	74,5	33,2	7,5	18,5	15,7	307,5
1990	89	0	30	19,5	117	7,9	9	7	27,4	8,0	53	42,5	394,4
1991	9,4	31	108,4	19	16	28,0	0	0	8	79	7	28	305,8
1992	52,1	24,1	48,3	92	68	2,0	6,4	1,2	34	3,5	69,7	40	439,3
1993	12,5	43,3	5,8	33,5	40	11,2	0,9	0,8	7	5,6	20	62	224,1
1994	28,5	39,6	23	49,5	9	00,00	1,8	1,9	90	50,5	1,5	11,8	303,4
1995	45,5	0,5	36	8,8	20,3	24,5	5,8	4,7	47,5	22	0,5	21	197,5
1996	108	143	38	17,5	40,5	42	10	13	16,5	8,5	3	16,5	456,5
1997	30,5	6	15	19	6,5	19,5	4,5	2,5	23,5	8,5	14,7	5	155,2
1998	0,8	4	0,4	92	15,6	9	0	0	12	8,5	51,5	27,5	221,3

1999	53	29	11	51,5	4	11,7	6,2	25	38,5	79,5	75,5	77,8	456,5
2000	6	3	4,6	3,7	49	28,5	2,9	23,5	35,5	7	9,5	40	205,7
2001	95,5	15,5	1,5	4	51,5	0	4	12	53	12	17,5	7	273,5
2002	16,5	4,5	13,5	36,5	16,5	17	4	16,3	31,00	18,5	71,4	29,6	244,3
2003	95	23	17,5	115	31	26,8	2,7	15,5	28	68,3	93	90,5	606,3
2004	30,3	15,5	78	60	82,5	63,5	5,5	44,5	11,5	27	135,5	132	680,3
2005	21,5	70,5	26	55	4	27	16,6	4,5	22,5	11,5	69	44	355,5
2006	51,4	36,3	16	127,5	46,3	34,8	36,9	4,7	24,9	1,7	17,5	29,8	426,1
2007	15	39	56,3	44	12	0	0	10	56,7	22,6	4,9	43,1	303,6
2008	10,2	3,5	42	9	72,5	29,2	18	5,5	47,1	16,9	28	72,5	354,4
2009	66,55	13,45	33,27	75,18	51,56	0,25	6,36	14,22	45,22	22,61	3,05	5,33	331,72

Tableau II : Moyenne mensuelle des températures moyennes (en °C)

Année	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
1951	5,6	6,2	9,4	12,4	14,5	21,95	25,05	24,45	20,25	11,95	9,85	5,25	13,9
1952	3,85	5,95	9,15	11,45	14,6	22,25	24,95	24,45	15,35	16,35	9,65	6,65	13,7
1953	5,05	4,85	6,65	11,85	15,5	20,65	25,25	22,35	20,95	14,85	8,05	7,55	13,6
1954	3,1	3,75	8,75	9,8	14,2	20,85	21,5	22,2	20,4	12,3	9,75	6,6	12,8
1955	10,35	8	8,1	10,2	16,4	20,1	26,25	22,6	17,85	13,25	10,45	7,9	14,3
1956	6,7	3,85	6,9	10,55	14,1	19,8	24,4	24,35	20,15	13,45	9,3	2,8	13
1957	4,55	4,55	8,95	10,35	12,6	17,5	22,55	23,2	19,15	12,9	8,2	4,75	12,4
1958	4,45	7,4	9,3	9,65	17,15	21,7	24,65	25,6	20,6	13,8	11,05	10,7	14,7
1959	6	4,95	9,4	10,85	15,25	20,95	24,51	27,2	21,25	14,1	12,1	9,4	14,7
1960	5,2	9,25	8,75	9,35	16	20,8	24,2	26,6	19,25	15,5	11,35	4,6	14,2
1961	3,7	7,4	7,8	13,45	17,2	20,65	24,3	23,15	21	14,25	12,2	7,1	14,3
1970	6,7	4,3	10,95	11,95	16,1	20,3	25,55	24,6	19,55	14,2	10,8	6,1	14,2
1971	5,6	5,45	11,2	12	15,15	21,05	24	25,5	18,4	12,9	6,55	5,05	13,5
1972	4,45	6,6	8,65	8,95	12,15	20,75	23,05	22,85	18,2	12,85	9,95	5,05	12,8
1973	6,9	5,6	7,1	16,3	22	27,5	30	26	25	12,2	9,1	1	15,7
1974	7,5	4	9,1	7,6	18,6	24,9	24,1	26	21,2	13,4	13,2	5,3	14,6
1975	6,3	7,3	6	16,2	16,3	24,7	28,1	25,5	23,5	15,1	8,6	6,5	15,3
1976	5	5,9	6,6	12	16,8	20,9	25,5	27	20,9	14,5	8,1	7,6	14,2
1977	7,3	10,8	14,1	15,3	18	24,1	29,8	23,8	20,9	17,4	11,8	8,9	16,8
1978	5,1	8,3	10,8	12,9	16,7	22,9	27,5	23,5	20,9	13,4	8,3	10,3	15
1979	7,8	4,4	10	10,3	18	23,9	27,9	28,3	19,1	18,5	8,8	8,8	15,5
1980	6,8	8,9	8,3	11,5	14,9	24,4	27,4	28,3	20,9	13,5	9,8	4,1	14,9
1981	3,6	5,3	12,3	13,9	18,4	23,2	24	24	20,5	16,9	9,4	8,2	14,9
1982	6,6	6,6	8,2	10,7	16	23,9	27,8	25,6	20,9	14,9	9,5	4,9	14,6
1983	4,7	5,2	8,5	13,9	17,6	22,4	27	26	21,1	14,9	11,4	6,3	14,9
1984	5,9	4,6	7,4	13	15,6	22,4	26,1	24,3	20,1	13,8	10	5,1	14
1985	3,3	9,2	6,7	12,9	15,2	24,4	27,3	25,1	19,9	14,2	11	6,4	14,6
1986	4,6	6	7,7	10,9	19	21,9	24,6	26,5	20,5	14,8	8,7	5,1	14,2
1987	4,7	6,1	8,5	14,2	16,1	23,1	26,2	26,9	22,9	17,9	9	8,2	15,3
1988	7,6	6,4	8,8	13,7	19,8	22,1	28	26,4	20,4	18	6,5	5,8	15,3
1989	4,6	7,4	12,1	11,7	17,9	20,3	26,3	26,7	19,8	16,1	13,1	11,2	15,6
1990	5,8	11,6	11,1	10,5	16,7	24,3	25,1	23,1	24	17,6	11	3,8	15,4
1991	4	5,9	11,3	11,9	13	23,5	25,5	26,4	22	15,5	9,7	4,6	14,4
1992	3,9	5,9	8,4	11,2	15,9	20,1	23	24,6	22,1	16,9	10,5	6,5	14
1993	2,8	4,8	8,3	10,7	16,3	21,5	25,1	24,5	20,1	15,7	9,8	6,4	13,8
1994	6,7	8,8	10,4	10,3	21,8	23,8	26,6	28,2	16	16	11	6,2	15,5

Annexe II



Figure A1 : a. b. *Thaumetopoeae pityocampa*

c. d. e. semis du *cedrus Atlantica* au long des pistes

f. Régénération naturelle du *cedrus Atlantica*



a



b



c

Figure A2 : Vue ensemble des deux stations (a.b. Tuggurt et c. Boumerzoug)

FICHE DESCRIPTIVE

Station :

I. Identification du relevé

■ Caractères et situation topographique

Versant
Altitude
Pente
Exposition

■ Caractères géologiques et pédologiques

Type du substrat :

Type du sol :

■ Caractéristiques de la surface

Recouvrement total de la végétation :

Type de végétation existante :

Résumé :

La cédraie du Belezma a subit une forte régression ces dernières années a cause du phénomène de dépérissement et l'absence de la régénération. L'objectif de ce travail est à la fois de connaître la dynamique du dépérissement sur la base de l'analyse des images satellitaires, et de faire le point sur l'impact de quelques facteurs écologiques (climat, sol, exposition et altitude) agissant sur ce phénomène.

Pour y parvenir, deux stations Dj. Boumerzoug (exposition nord et sud) et Dj. Tuggurt (exposition nord et sud) sont étudiées.

L'analyse des images satellitaire à partir du NDVI nous a permis de localiser les modifications de l'espace forestier et d'en estimer l'ampleur.

Le climat des dix dernières années n'a pas été très favorable au développement du cèdre de l'Atlas.

L'étude a montré que la cédraie du Belezma dépérit progressivement en relation avec le climat qui tant à se réchauffer. L'exposition sud a une grande influence sur la cédraie.

Mots clés: *Cedrus Atlantica*, Parc National de Belezma, dépérissement, climat, télédétection, SIG

Abstract:

The cedar of Belezma undergoes a sharp decline in recent years because of dieback and lack of regeneration. The objective of this work is both to know the dynamics of the decline on the basis of satellite images and to review the impact of some ecological factors (climate, soil, exposure and altitude) affect this phenomenon.

To achieve this, two stations: Boumerzoug (facing north and south) and Tuggurt (facing north and south) are studied.

Analysis of satellite images from the NDVI has allowed us to locate the changes in forest area and to estimate its magnitude.

The climate of the last ten years has not been very conducive to the development of the Atlas cedar.

The study showed, that, the cedar forests in Belezma decays gradually in relation to climate warmed. Southern exposure has a great influence on the cedar.

Keywords: *Cedrus Atlantica*, Park National Belezma, dieback, Remote sensing, GIS.

ملخص :

غابات بلزمة للأرز ، في السنوات الأخيرة، خضعت لانخفاض حاد بسبب السقم وعدم التجدد. الهدف من هذا العمل على حد سواء معرفة ديناميكية الانخفاض (عن طريقة تحليل صور الأقمار الصناعية)، و تقييم بعض العوامل البيئية (المناخ و التربة و التعرض و الارتفاع) المؤثرة على هذه الظاهرة.

لتحقيق ذلك ، درسنا منطقتين: جبل بومرزوق و جبل توقر، للواجهتين الشمالية و الجنوبية لكلا الجبلين.

سمح تحليل صور الأقمار الصناعية (عن طريق مؤشر الغطاء النباتي NDVI) بتحديد التغيرات في مساحة الغابات وتقدير حجمها.

المناخ، في السنوات العشر الماضية، لم تكن مواتية جدا لنمو الأرز الأطلسي. أظهرت الدراسة أن غابات الأرز في بلزما تذبذب تدريجيا بالتوازي مع المناخ، وأن التعرض الجنوبي له تأثير كبير على الأرز.

كلمات البحث : الأرز الأطلسي ، الحظيرة الوطنية لبلزمة ، الذبول ، الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافي.