

N° d'ordre : 07/2012-M / S.B

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
«HOUARI BOUMEDIENE»
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER

EN : SCIENCES DE LA NATURE

Spécialité : Ecologie et Environnement

Par : BETROUCHE Fatima

Sujet :

Evolution spatio-temporelle du dépérissement du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* Manétti dans le massif de Belezma wilaya de Batna : apport de la geomatique.

Soutenu publiquement, le 23 /09/2012, devant le jury composé de :

Mme ABROUS O.	Professeur à l'USTHB.....Présidente.
Mme MOALI N.	Professeur à l'université de Bejaia...Directrice de mémoire.
Mme YAHY N.	Maître de Conférences /A à l'USTHB.....Examinatrice.
Mr MOALI A.	Professeur à l'université de BejaiaExamineur.

Remerciements

Avant tous je voudrai transmettre mon immense gratitude et mon profond respect à ma promotrice Madame MOALI-GRINE Nadia professeur à l'université de Bejaia.

J'exprime ma respectueuse gratitude à Madame ABROUS, professeur à l'USTHB, pour avoir accepté de présider ce jury.

Je prie Madame Yahi maitre de conférences à l'USTHB et Monsieur MOALI professeur à l'université de Bejaia de retrouver ici l'expression de ma haute reconnaissance pour avoir accepté de juger ce travail.

Il m'est très agréable de remercier Madame NEDJRAOUI, Madame KADIK, Madame DAHMANI et Madame KADI-HANIFI professeurs à l'USTHB.

Je tiens également a exprimer toutes mes reconnaissances et gratitudes envers tous les responsables du Laboratoire d'écologie et Environnement de l'U.S.T.H.B.

Je remercie en particulier Monsieur ABDERRAHMANI directeur du parc national de Bellezma d'avoir mis en ma disposition tous les moyens matériels pour la réalisation de cette étude.

A Mr DEHIMI Mohammed Amine chef du secteur de Oued L'ma de m'avoir accompagné sur le terrain.

Mes remerciements les plus profonds vont à Monsieur BELABBESS Bala pour son aide et d'avoir mis à ma disposition les données cartographiques sig et télédétection.

J'adresse mes plus vifs remerciements à mes parents, mes frères, ma cousine Nabila et mon mari.

Résumé :

La cédraie du Belezma a subi une forte régression ces dernières années à 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.

Et d'autre part calculer le taux de dépérissement de la cédraie de Belezma dans différentes stations de notre zone d'étude par la méthode de Tremblay.

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 tend à se réchauffer. L'exposition sud a une grande influence sur la cédraie.

Mots clés : *Cédrus atlantica manétti*, dépérissement, Belezma, changement climatiques, télédétection et SIG.

Liste des tableaux

Tableau I : Estimation de la superficie (ha) du cèdre de l'Atlas en Algérie.....	16
Tableau II : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (période :1950-1975) ...	20
Tableau III : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (Période : 1985-2010)....	20
Tableau IV : Répartition des températures moyennes mensuelles minimales et maximales (Période : 1950-1975).....	21
Tableau V : Répartition des températures moyennes mensuelles minimales et maximales (Période : 1985-2010).....	21
Tableau VI :Données pluviométriques extrapolées en fonction de l'altitude Versant nord...	29
Tableau VII :Données pluviométriques extrapolées en fonction de l'altitude Versant nord...	29
Tableau VIII : Données pluviométriques extrapolées en fonction de l'altitude Versant sud...	29
Tableau IX : Fréquence de la pluviométrie.....	30
Tableau X : Températures moyennes mensuelles corrigées en fonction de l'altitude.....	31
Tableau XI : Analyses physico-chimique du sol.....	32
Tableau XII : Échelle de désignation de type de sol en fonction du Ph.....	33
Tableau XIII : échelle de désignation de la salinité du sol en fonction de la conductivité électrique	33
Tableau XIV : Les variables (symptômes) mesurées sur chaque arbre.....	34
Tableau XV : Le nombre des symptômes observés pour chaque paramètre étudié	34
Tableau XVI : Les classes de dépérissement accordées aux classes de défoliation de la couronne observées(%).....	38
Tableau XVII : Résultats des analyses des changements des surfaces de la cédraie.....	48

Liste des figures

Figure 1 : Aspect classique des arbres isolés de trois espèces de cèdre.....	4
Figure 2 : Rameau de <i>Cedrus atlantica</i> avec le cône et des aiguilles en bouquets.....	5
Figure 3 : Inflorescence mâle et femelle du cèdre de l'Atlas.....	5
Figure 4 : graines ailées du cèdre de l'Atlas.....	6
Figure 5 :Répartition du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord (M'HIRIT, 1994).....	7
Figure 6 : Localisation des îlots de <i>Cedrus atlantica</i> en Algérie.....	8
Figure 7 : Les facteurs prédisposants, d'incitation et aggravants contribuant à la mort des arbres forestiers.....	11
Figure 8 : Le modèle de dépérissement des arbres forestiers	14
Figure 9 : Situation de la zone d'étude.....	18
Figure 10 : Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN (Période : 1950-1975).....	22
Figure 11 : Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN (Période : 1985-2010).....	22
Figure 12 : Climagramme d'Emberger.....	23
Figure 13 : Classification américaine des textures pédologiques.....	26
Figure 14 : Méthodologie de l'étude géomatique.....	28
Figure 15 : Variation des précipitations moyennes annuelle (1950-1975) et (1985-2010)....	30
Figure 17 : Courbure de la couronne	35
Figure 18 : Défoliation de la couronne.....	35
Figure 19 : Décoloration des aiguilles	36
Figure 20 : Détachement de l'écorce	36
Figure 21 : Ecoulement de la résine	37
Figure 22 : Apparition des agents pathogènes.....	37
Figure 23 : Les classes de dépérissement versant nord.....	39
Figure 24 : Les classes de dépérissement versant sud.....	39
Figure 25 : Image satellitaire sous ENVI 4.0.....	43
Figure 26 : La composition colorée de l'image Landsat.....	44

Figure 27 : le dépérissement du cèdre dans le Tuggurt.....	45
Figure 28 : Carte représentant le changement NDVI entre (1991-2000).....	47
Figure 29 : Carte représentant le changement NDVI entre (1991-2010).....	47

Sommaire

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

Chapitre 1 : état des connaissances sur le cèdre

1-Caractéristiques générales du cèdre	3
1-1 Ambiguïté taxonomique et variation inter et intraspécifique du cèdre.....	3
2- <i>Cedrus atlantica</i> Manetti.....	4
2-1 Description de l'espèce.....	4
2-2 Situation géographique actuelle.....	6
2-2-1 Aire naturelle.....	7
2-2-2 Aire d'introduction.....	8

Chapitre 2 : synthèse bibliographique sur le dépérissement forestier

1. Notion de dépérissement : concept et causes.....	10
1.1. Définition du dépérissement.....	10
1.2. Les facteurs de dépérissement.....	10
1.2.1. Les facteurs prédisposants.....	10
1.2.3. Les facteurs déclenchants.....	11
1.2.4. Les facteurs aggravants	11
2. La nature des facteurs de dépérissement.....	12
2.1. Les facteurs abiotiques.....	12
2.2. Les facteurs biotiques.....	12
3. Les causes du dépérissement	13
3.1. Les changements climatiques.....	13
3.2. Le stress hydrique.....	13
3.3 .Les manifestations des ravageurs et des agents pathogènes.....	15
3.4. Les manifestations anthropiques.....	15
3.4.1. Les incendies de forêts	15
3.4.2. Le surpâturage.....	15
4. Les principales causes de dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie et au Belézma.....	16

Chapitre 3 : Cadre abiotique et biotique

1. Situation géographique et administrative.....	18
2. Relief.....	18
3. Géologie.....	19
4. Pédologie	20
5. Cadre climatique.....	21
5.1. Les précipitations	13
5.2. Les températures.....	13
6. Expression synthétique du climat.....	14
6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	14
6.2. Quotient pluviothermique d'EMBERGER Q2.....	15
6.3. Climagramme d'Emberger	17
b. cadre biotique.....	17
1. La flore.....	18
1.2. Les groupements végétaux à cèdre.....	18
1.2.1. La cédraie pure	18
1.2.2. Groupement de cèdre – chêne vert.....	18
1.2.3. Groupement de cèdre – houx.....	19
1.3. Autres groupements.....	19
2. La faune.....	19
3. Milieu sylvo - agro – pastoral.....	20
3.1. L'agriculture.....	20
3.2. L'élevage.....	20

Chapitre 4 : Méthodologie

1 Analyses des différents facteurs de la station.....	26
1-1 Extrapolation des taux de la pluviométrie en fonction de l'altitude et de l'exposition.....	26
1-2 Extrapolation des taux des températures en fonction de l'altitude et de l'exposition.....	26
1-3 Analyses physicochimique du sol.....	26
2 calcul du taux du dépérissement.....	27

3 études géomatique	28
---------------------------	----

Chapitre 5 : résultats et discussions

1 Analyse des différents facteurs de la station.....	29
1.1 Extrapolation de La pluviométrie en fonction de l'altitude.....	29
1.2 Fréquence de la pluviométrie	30
1.3 Discussion.....	30
1.4 La température.....	31
1.5 Analyses physico-chimique du sol.....	32
1.6 Interprétation.....	32
2. Etude symptomatique et calcul du taux de dépérissement	34
2.1 Interprétation des résultats.....	35
2.2 Courbure de la couronne.....	35
2.3 Défoliation de la couronne.....	35
2.4 Décoloration des aiguilles.....	35
2.5 Chute des aiguilles.....	35
2.6 Décoloration des rameaux.....	36
2.7 Dénudement des rameaux.....	36
2.8 Chute des branches.....	36
2.9 Décoloration des branches.....	37
2.10 Détachement de l'écorce.....	37
2.11 Cicatrices.....	37
2.12 Ecoulement de la résine.....	37
2.13 L'apparition des ravageurs.....	38
2.14 Le taux de survie.....	39
Conclusion.....	40
3 Etude géomatique.....	42
3-1 Les indices de végétation.....	42
3-1-1 Le NDVI.....	42
3-2 Logiciel (ENVI).....	42
3-3 Les différentes phases d'analyse d'image	

Landsat.....	44
a- La composition colorée.....	44
b- Correction géométrique	44
c- Classification de l'image.....	45
3-4 Résultats et interprétation.....	47
Conclusion générale.....	50

Introduction

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 (LANDMAN, 1994). Le cèdre de l'Atlas est sans doute l'essence forestière la plus touchée par ce phénomène.

En Algérie, la majeure partie des cédraies se localisent dans l'Aurès et le Belezma où l'on constate une forte pression anthropique. Comme l'a signalé BOUDY (1950), cité par ABDESSEMED(1981) les sécheresses exceptionnelles de 1875 à 1888 auraient occasionné d'importants dégâts.

Dans les Aurès, le dépérissement est apparu vers les années 1982, le diagnostic reste lié probablement au déficit hydrique, principale raison comme on peut retenir l'hypothèse des champignons mais plusieurs autres facteurs ont été cités comme étant les causes du dépérissement du cèdre tels que : les incendies, le surpâturage, la sénescence, les maladies, les coupes illicites, 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 étude est d'une part connaître la dynamique du dépérissement, et d'autre part faire le point sur quelques facteurs écologiques (climat, sol, exposition et altitude) agissant sur ce phénomène.

Cette étude a eu lieu au niveau de la station du mont de Tuggurt, dont l'espèce dominante est le cèdre de l'Atlas. Trois approches ont été suivies en parallèle :

- La première approche : s'est intéressée à l'analyse des divers facteurs du milieu, pouvant avoir une action sur le dépérissement ; précipitations, températures et sol.
- La deuxième approche : s'est intéressée à une étude symptomatique faite directement sur le terrain qui a abouti à une évaluation numérique du taux de dépérissement sur les différents versants.
- la troisième approche est l'étude géomatique afin de déterminer la dynamique spatiale et temporelle du dépérissement du cèdre de l'Atlas à l'aide des images satellitaires multi-dates

pour cela on a fait recours à la cartographie de l'évolution de la végétation, par le calcul de la radiométrie de l'indice de végétation (NDVI) du mont de Tuggurt pour les périodes(1991-2000)et (1991-2010). L'étude réalisée repose sur les chapitres suivants :

- Chapitre 1 : Etat des connaissances sur le cèdre.
- Chapitre 2 : Synthèse bibliographique qui traite le problème de dépérissement.
- Chapitre 3 : Présentation de la zone d'étude.
- Chapitre 4 : Qui porte sur le Matériel et les méthodes utilisées
- Chapitre 5 : Présentation des résultats et discussions.

Et enfin, une conclusion générale et des propositions afin de contrecarrer ce fléau.

Chapitre 1 : état des connaissances sur le cèdre

1- Caractéristiques générales du cèdre

Le cèdre est une essence circumméditerranéenne (DUCREY, 1994). Il est présent principalement dans l'étage montagnard méditerranéen. Il se situe globalement sous des bioclimats humides ou subhumides à hivers froids. Globalement, le cèdre se trouve dans les zones recevant des précipitations annuelles allant de 600 à 2000 mm avec ou sans sécheresse estivale prononcée avec des températures moyennes annuelles de 7.5°C à 15°C et extrêmes de -25°C et +40°C (DUCREY 1994).

1-1 Ambiguïté taxonomique et variation inter et intraspécifique du cèdre

- Embranchement : Spermatophyte
- Sous-embranchement : Gymnosperme
- Classe : *Coniferopsida*
- Ordre : *Pinales*
- Famille : *Pinaceae*
- Sous famille : *Abietoideae*
- Tribue : *Lariceae*
- Genre : *Cedrus*

Le genre cèdus est classé en quatre espèces distinctes qui sont :

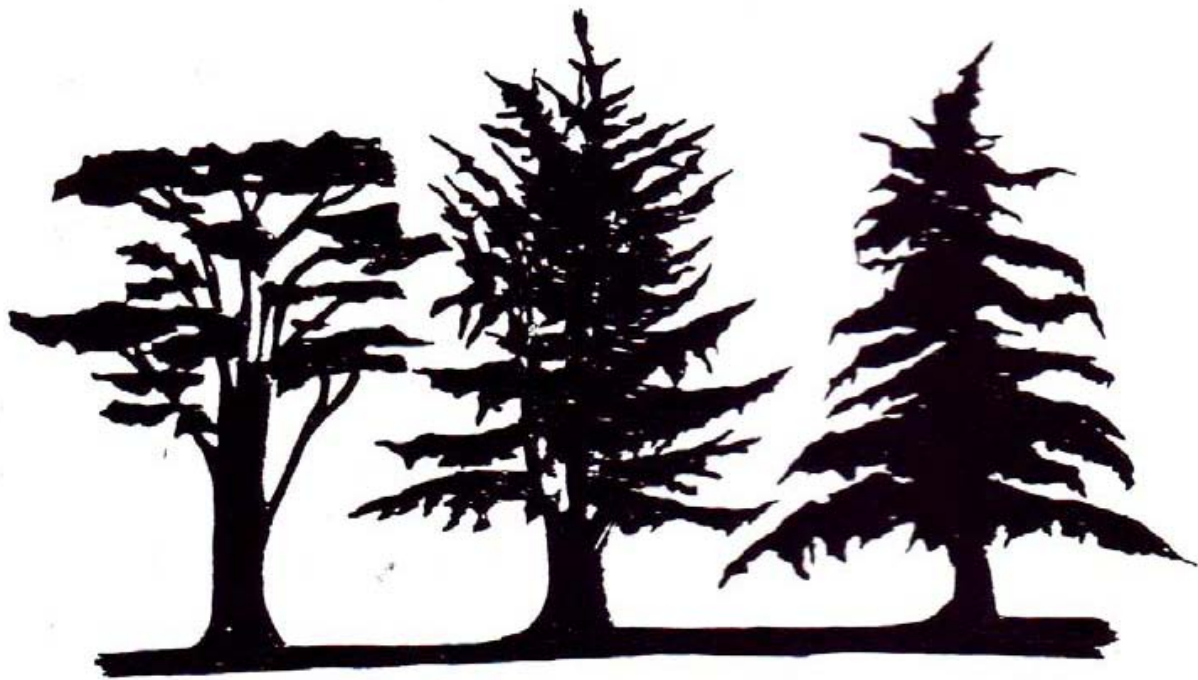
Le cèdre de l'Atlas ou *Cedrus atlantica* (Manetti) : endémique des montagnes nord africaines.

Le cèdre du Liban ou *Cedrus libani* (Barrel) : présent au Liban, Syrie et en Turquie. Il occupe plus de 500 000 Ha répartis essentiellement sur les montagnes de Taurus et de L'Amanus en Turquie (QUEZEL, 1980). Au Liban, il en reste quelques îlots des montagnes du Nord et du Centre du pays. Il subsiste encore sur les chaînes Alaouites en Syrie.

Le cèdre de Chypre ou *Cedrus brevifolia* (Henry) : il ne couvre que quelques dizaines d'hectares dans l'île de Chypre, dont il occupe les crêtes occidentales du mont Troods (QUEZEL, 1980).

Le cèdre de l'Himalaya ou *Cedrus deodara* (Loudon) : le plus répandu, il peuple une partie de l'Inde, de l'Afghanistan et du Népal (TOTH, 2005). Cette espèce couvre le versant sud de l'Himalaya occidental principalement dans le grand massif de l'Hiridikusk, dans le Cachemire et dans les vallées de Behri et de Subgad au Népal (NEDJAH, 1988).

La figure 1 montre l'allure classique des arbres isolés du cèdre du Liban, cèdre de l'Atlas et cèdre de l'Himalaya.



Cedrus libani.

Cedrus atlantica

Cedrus deodora

Figure 1 : Aspect classique des arbres isolés de trois espèces de cèdre (d'après TOTH, 1970)

2- *Cedrus atlantica* Manetti

2-1 Description de l'espèce

L'Arbre adulte est de grande taille allant jusqu'à 40 m de hauteur (DEBAZAC, 1964). Son port est pyramidal dans sa jeunesse (les ramifications du premier ordre sont souvent dressées). A un âge avancé, le cèdre diminue sa dominance apicale sur la flèche, la partie supérieure de la cime se trouvant ainsi sur un plan presque horizontal, on dit que le cèdre « fait la table » (TOTH, 1990).

La longévité du cèdre de l'Atlas est remarquable (7 à 8 siècles) (BOUDY, 1952). TOTH (1980) in KHANFOUCI (2005) rapporte qu'il n'est pas rare de rencontrer au Maroc des cèdres de plus de 300 ans avec une hauteur de 50 m et une circonférence de 5 à 6 m. Les rameaux jeunes sont densément pubescents, ceux du premier ordre sont redressés (QUEZEL, 1998, DEBAZAC, 1964). Les aiguilles sont persistantes, réunies en bouquets de 20 à 30 sur

des rameaux très courts, Leur apex est longuement cor né. Leur longueur varie de 1 à 2 cm (BOUDY, 1952).

Les cônes mûrs sont ovoïdes cylindriques, dressés, déprimés au sommet, de couleur brunâtre, longs de 5-8 cm (RIOU-NIVERT, 2007) et composés d'écaillés ligneuses et étroitement imbriquées



Figure 2: Rameau de *Cedrus atlantica* avec le cône et des aiguilles en bouquets.

Le cèdre de l'Atlas est une espèce monoïque, avec les deux inflorescences, mâle et femelle séparées sur le même pied. Cependant, TOTH (1983) a remarqué que certains arbres ne portent jamais de cônes, mais uniquement des chatons mâles, alors que d'autres ne portent que des cônes et jamais de chatons mâles.

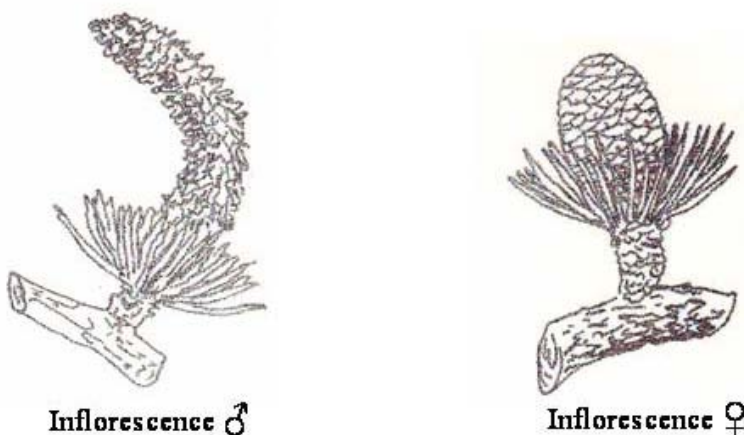


Figure 3: Inflorescence mâle et femelle du cèdre de l'Atlas

Le même auteur a remarqué aussi une séparation nette au niveau des branches d'un même arbre qui ne portent que rarement les organes mâles et femelles en même temps. L'auteur a

suggéré la notion de « dioïcité apparente ». Les chatons mâles ayant 2 cm de long, coniques, vert pâle, apparaissent les premiers. Les chatons femelles de 1 cm de long, vert bleuâtre, apparaissent après, environ 3 mois

Le cycle de reproduction est bien connu (TOTH, 1970 et 1983; KHANFOUCI, 2005). Il s'étale sur environ 3 années (32 mois selon KHANFOUCI, 2005), de la floraison à la dissémination des graines.

Les graines du cèdre de l'Atlas sont huileuses, subtriangulaires, cunéiformes à la base de 10 - 14 mm, tendres, très résineuses et à aile large. En raison de leur poids, leur dissémination par le vent est difficile. Le poids de 1000 graines varie 60-100gr (DEBAZAC, 1964) DEMARTEAU (2006), indique que les graines se libèrent du cône dans les 2 semaines qui suivent la désarticulation et tombent dans leur majorité aux abords immédiats de l'arbre. Toutefois, certaines graines peuvent être projetées à 50 et même à 100 m. TOTH (1973) a aussi établi que la majeure partie des graines tombent dans un rayon de 10 m, mais, beaucoup peuvent se trouver à 20 m. Au delà de cette distance, leur nombre diminue



Figure4: graines ailées du cèdre de l'Atlas

2-2 Situation géographique actuelle

2-2-1 Aire naturelle

Le cèdre de l'Atlas est une essence plastique pouvant se trouver dans plusieurs régions appartenant aux divers étages bioclimatiques au Maroc et en Algérie. Sa localisation est nettement disjointe et liée essentiellement à l'orographie du Maghreb (QUEZEL, 1998). Le cèdre de l'Atlas se localise dans les zones de montagne entre 1500 et 2000 m où il occupe près de 200.000 ha en Afrique du Nord dont les 3/4 au Maroc et le reste en Algérie. Il a été introduit en tant qu'espèce de reboisement en France, Italie, Bulgarie, Russie (LASRAM, 1994).

Au Maroc

C'est au Maroc que se trouve actuellement l'essentiel des peuplements de cèdre de l'Atlas. Il couvre près de 132.000 à 160.000 ha (M'HIRIT, 1994a ; MESSAT, 1994) répartis dans les chaînes de montagnes du Moyen Atlas oriental et central, du Haut Atlas oriental et du Rif (Figure 5). Les cédraies sont en général composées de peuplements de structure irrégulière à jardinée et sont à 70 % aménagées (MESSAT, 1994). BENABID (1994) et M'HIRIT (1994b), rapportent les superficies suivantes relatives aux quatre blocs

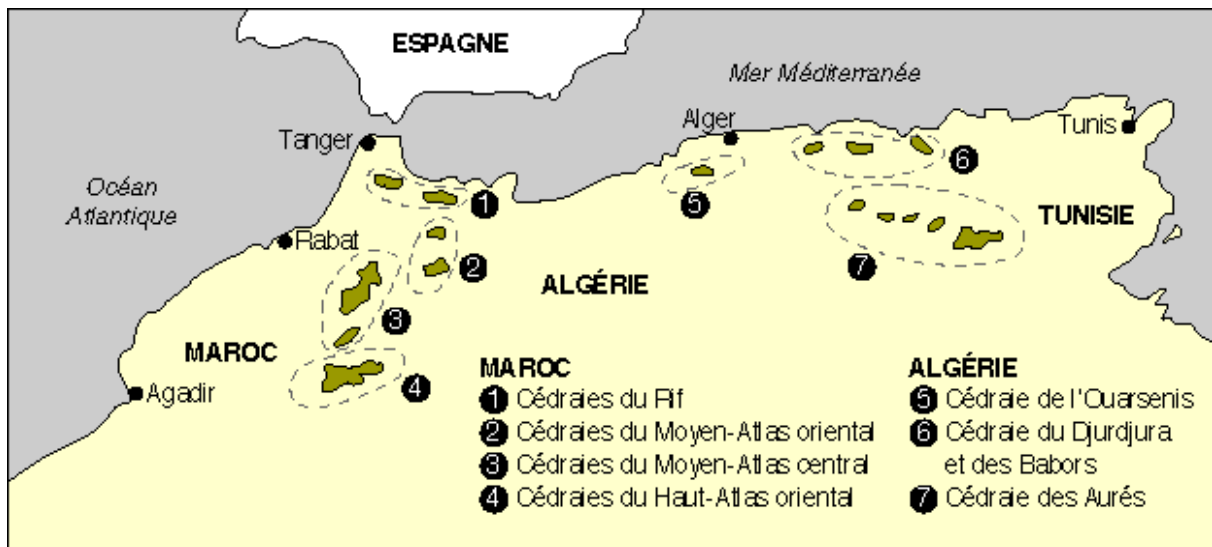


Figure 5 :Répartition du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord (M'HIRIT, 1994) :

1-Le Rif : 15 000 ha à partir de 1.500 m d'altitude.

2-Le Moyen Atlas oriental : 20.000-23.000ha.

3- Le Moyen Atlas central : 80 000-120.000ha.

4- Le haut Atlas oriental : 25 000-26.000ha.

En Algérie

Comme au Maroc, *Cedrus atlantica* est aussi endémique de certaines montagnes de l'Algérie. Il se rencontre au Nord-centre et à l'Est, sous forme de cédraies morcelées en plusieurs îlots discontinus de surface inégale. M'HIRIT (1994) distingue 3 blocs de cédraies en Algérie : Cédraies de l'Ouarsenis au centre, de Djurdjura et des Babors et cédraies des Aurès (Figure 5).Récemment, ROCHE (2006) in DEMARTEAU (2006) a établi une carte de répartition plus détaillée dans laquelle il définit 7 îlots de cédraies (Figure 6).

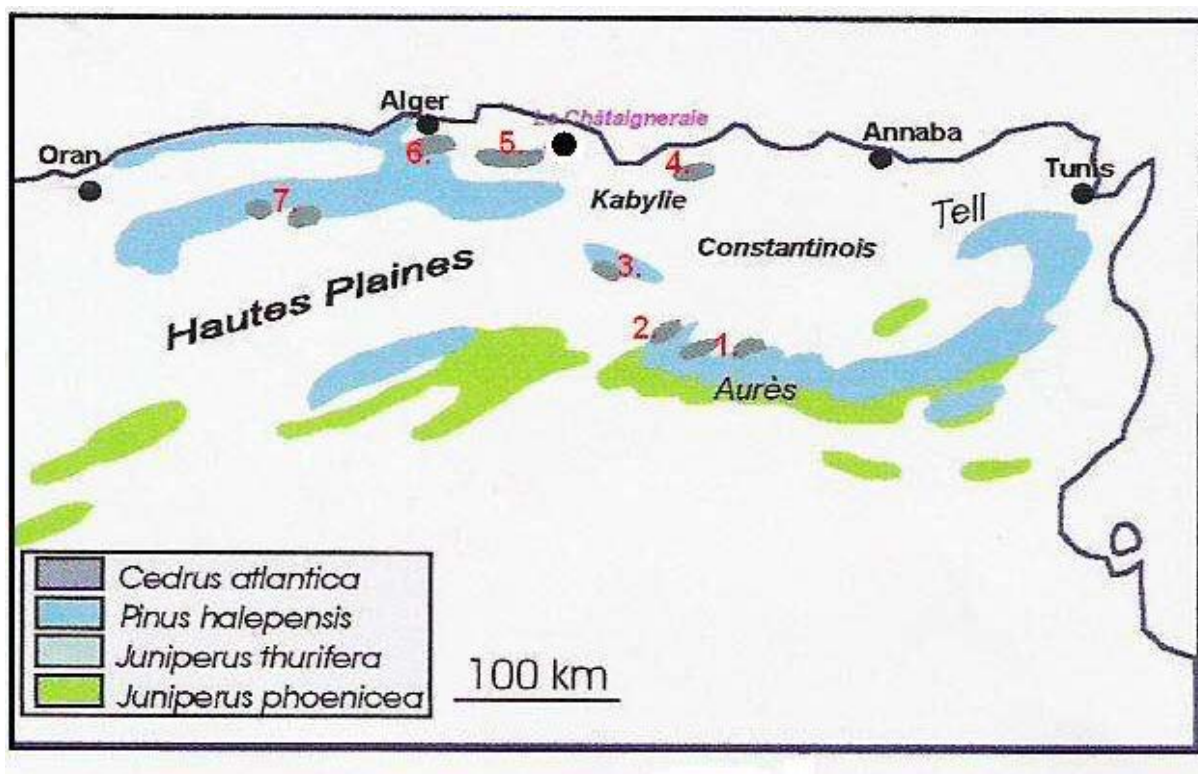


Figure 6: Localisation des îlots de *Cedrus atlantica* en Algérie (ROCHE, 2006 modifié par DEMARTEAU, 2006)

1. le Massif de l'Aurès, 2. Monts de Belezma, 3. Monts du Hodna, 4. Djbel Babor, 5. Massif du Djurdjura, 6. Monts de Blida, 7. Massif de l'Ouarsenis.

2-2-2 Aire d'introduction

Le cèdre, notamment de l'Atlas a été introduit par l'homme dans divers pays, méditerranéens et autres au cours des derniers siècles ; d'abord comme arbre ornemental des parcs et jardins, puis comme espèce de reboisement. Les raisons de son introduction sont multiples : Espèce de reboisement rustique vis-à-vis du climat et du sol, plastique, résistante aux incendies, capacité de régénération naturelle suffisante, de bonne canopée d'accueil de l'avifaune, non acidifiante (DU MERLE et al, 1978, in BARITEAU et al, 1994). Le cèdre est donc capable de reconstruire les forêts fortement endommagées par le feu, les grands froids ou chaleurs intenses, de repeupler les milieux difficiles comme les sols dénudés suite aux déboisements abusifs (TOTH, 2005, GUIBAL, 1984 et 1985), mais aussi de produire en quantité appréciable du bois de qualité recherchée pour divers usages. La productivité du cèdre de l'Atlas dans le Mont-Ventoux en France rivalise même avec celle du sapin, essence autochtone (TOTH, 1994).

En France

TOTH (1990a) indique qu'on trouve le cèdre dans la plupart des reboisements des collines et des montagnes basses de la région méditerranéenne. Il signale aussi sa présence partout en France, dans les jardins, parcs et souvent auprès des bâtiments historiques. La France se place donc en tête des pays européens avec une superficie de l'ordre de 120.000 ha, et elle est en constante progression à un rythme de 1.000 ha /an (TOTH, 1990 et 1994). En 2006, 300.000 cèdres ont été vendus (NAUDET, 2006). Son aire potentielle serait de 200.000 ha (FABRE, 1994). Les plus grandes cédraies sont celles du Mont- Ventoux et Lubéron dans le Vaucluse et de Rialsesse et Marcilly dans l'Aude.(TOTH, 1990)

En Hongrie

Comme dans les autres pays, le cèdre de l'Atlas a été introduit en Hongrie au départ pour son aspect décoratif. En 1955 de nombreux essais de comportement ont été entrepris. Les données recueillies sur des arbres de 20-36 ans par CSABA (1994) ont montré que cette espèce a des avantages liés entre autres à sa croissance vigoureuse et à son excellente tolérance à la sécheresse. Le cèdre de l'Atlas pourrait gagner plus d'importance en Hongrie.

En Tunisie

Selon DAHMAN et KHOUJA (1994), les essais d'acclimatation de différentes provenances sont en cours au niveau de 2 arboretums. Les premiers résultats établis sur des sujets de 29 ans ont montré une adaptation satisfaisante malgré la sévérité relative du climat caractérisé par des pluies irrégulières et des sécheresses fréquentes et excessives. Le cèdre de l'Atlas de provenance algérienne et marocaine pourrait constituer une alternative au chêne zèen et au chêne liège dégradés. Son implantation sur des superficies d'essais de 1000 à 2000 ha servirait à mieux cerner son acclimatation.

En Italie

Le cèdre l'Atlas à été introduit au 19ème siècle (1864 selon M'HIRIT, 1994). Il couvre près de 1.000 ha au Sud et au centre du pays (DEMARTEAU, 2006). ANDREA et ROBERTO (1994) pensent qu'il est possible de le développer sous réserve d'un bon choix des emplacements et de la technique de culture.

Autres pays

L'implantation du cèdre de l'Atlas est rapportée également en Russie dans le Caucase (LASRAM, 1994, M'HIRIT, 1994a), dans quelques états d'Amérique, en Pennsylvanie, New York, et côte pacifique (M'HIRIT, 1994a), au Portugal en 1935, en Yougoslavie, en Belgique et en Allemagne (TOTH, 1980, in KHANFOUCI, 2005).

Chapitre 2 : synthèse bibliographique sur le dépérissement forestier

1- Notion de dépérissement : concept et causes

1.1. Définition du dépérissement

Le « dépérissement » ou « déclin » des forêts est une expression qui a marqué ces dernières années et donné l'alerte au monde forestier. Ce phénomène se traduit avant tout par une mortalité anormale des feuilles, bourgeons, brindilles et branches, et qui a pour conséquence la réduction de la vitalité et de la vigueur des arbres (DELATOUR, 1990 in LE MEIGNEN et MICAS, 2008). Une fois persistant, il induit la mort « isolée » des arbres puis prend de l'ampleur par « tâches » et enfin « massive ou généralisée » des peuplements. Il en résulte une réduction progressive de la productivité ligneuse des forêts et de leur santé (AUCLAIR et *al.*, 1997).

1.2. Les Facteurs de dépérissement

Selon l'ordre chronologique, les facteurs du dépérissement peuvent être catégorisés en trois grandes classes interchangeables (SINCLAIR 1964 et MANION 1981 in AUCLAIR et *al.*, 1997).

1.2.1. Les facteurs prédisposants : ce sont des facteurs qui exercent leur action de façon permanente durant une bonne partie de la vie de l'arbre provoquant généralement des stress de faible intensité (ROY et GAGNON, 1991 in MOORE, 1999). Durant cette période, la sensibilité de l'arbre envers l'action d'autres facteurs s'accroît (MAUGARD, 1992). Parmi les principaux facteurs qui prédisposent les arbres au processus d'altération sanitaire, nous citons les facteurs édaphiques, climatiques et sylvicoles mais aussi, les mauvais aménagements (MANION, 1981 in MOORE, 1999), l'exploitation acéricole (ROY et GAGNON, 1991 in MOORE, 1999), la pollution atmosphérique (RICE et LEWIS, 1988) et même l'acidification des sols (DESSUREAULT, 1986 in MOORE, 1999).

1.2.2. Les facteurs déclenchants : (ou incitants) ce sont des facteurs défavorables qui agissent en peu de temps sur la physiologie des arbres. Ils représentent donc pour l'arbre un stress de forte intensité mais de courte durée (MOORE, 1999). Ce qui déclenche habituellement le dépérissement de l'arbre (DESSUREAULT, 1986 in MOORE, 1999). L'auteur note que l'influence des facteurs déclenchants, combinée à celle des facteurs prédisposants, provoquent une détérioration de la cime et du système racinaire. Ils sont essentiellement de nature abiotique comme la sécheresse et biotique comme les attaques d'insectes défoliateurs en particulier (AUCLAIR et *al.*, 1997). Il convient de signaler ici que les défoliateurs forestiers sont beaucoup moins dangereux sur les essences feuillues que sur les conifères (BOVEY, 1971). D'après cet auteur, il est rare qu'une défoliation consécutive ait

une conséquence néfaste sur la vitalité des arbres. Au contraire, chez les résineux, la destruction des aiguilles perturbent la physiologie des arbres et les exposent à un affaiblissement plus avancé.

1.2.3. Les facteurs aggravants : (ou contributeurs) sont des facteurs qui interviennent en phase terminale du déclin ; c'est à dire sur les arbres profondément stressés. Ils accélèrent donc leur dépérissement en entraînant le plus souvent leur mort (DESSUREAULT, 1986 in MOORE, 1999). Ils sont essentiellement d'origine biotique, représentés par les xylophages secondaires et les champignons.

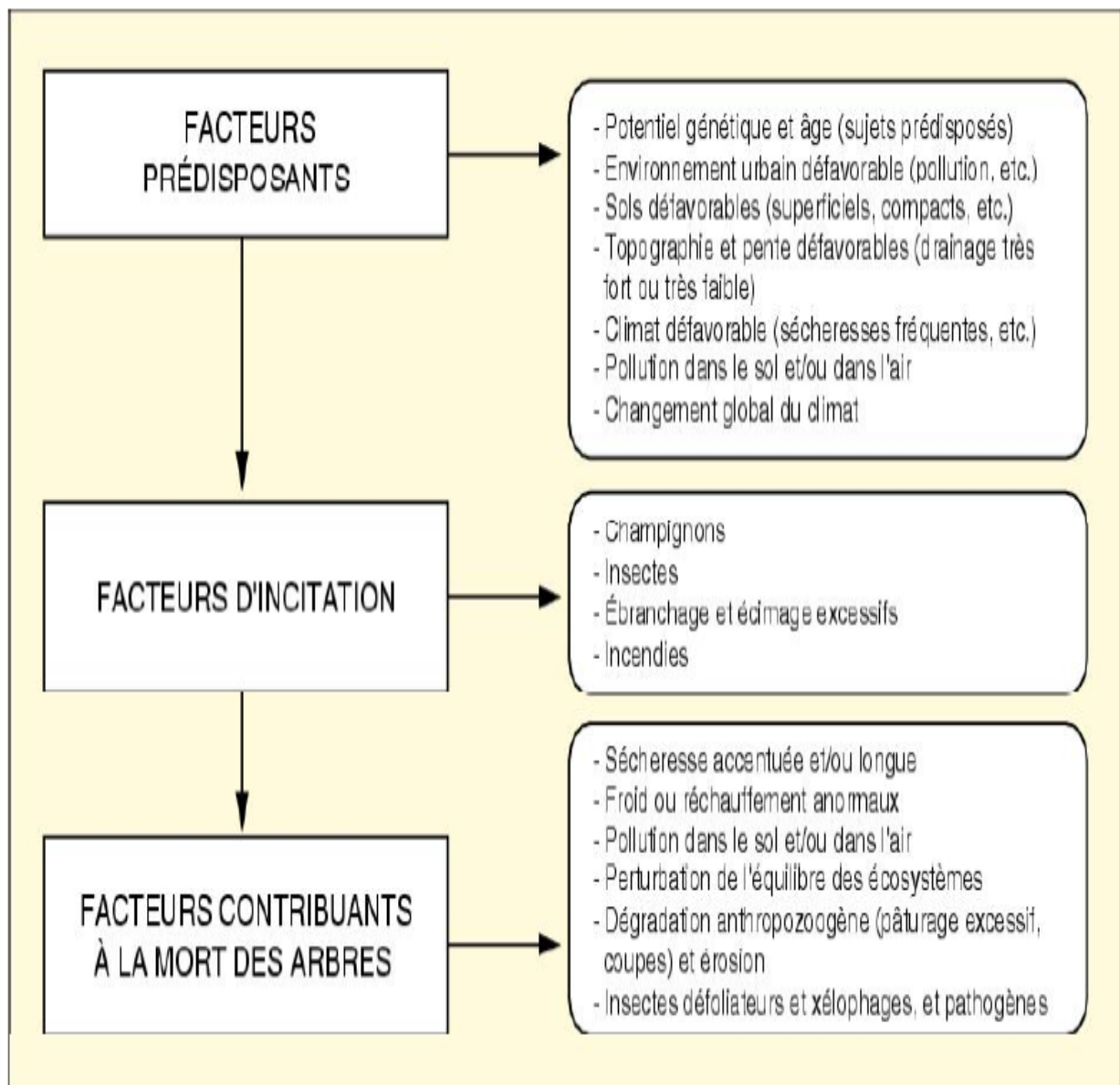


Figure 7 : Les facteurs prédisposants, d'incitation et aggravants contribuant à la mort des arbres forestiers (d'après ZINE EL-ABIDINE, 2003).

2. La nature des facteurs de dépérissement

Un simple facteur peut s'expliquer par l'interaction de plusieurs facteurs de stress, de nature biotique et abiotique agissant de façon indépendante, additive, synergique ou antagoniste.

2.1. Les facteurs abiotiques

-le stress climatique est le facteur écologique, le plus souvent impliqué à travers le monde dans la déstabilisation des écosystèmes forestiers et le déclenchement des phénomènes de dégradation de leur état sanitaire. Il intervient par la sécheresse qui peut sévir longtemps (GARREC et *al.*, 1989 ; LEBOURGEOIS et BECKER, 1996 ; VARELA, 2008, GARRIGUE et *al.*, 2008 ; LE MEIGNEN et MICAS., 2008).

-Le stress chimique se traduit par l'acidification des sols (CASPARY, 1991), le dépôt acide sec et humide, l'ozone et les micropolluants organiques (RICE et LEWIS, 1988 ; GARREC et *al.*, 1989 ; WALTERS et MC CARTHY, 1997), est d'autant un facteur contribuant à l'affaiblissement des arbres. À ces facteurs s'ajoute, mais rarement, le facteur « altitude » qui semble affecter parfois indirectement le fonctionnement physiologique de l'arbre (THOMAS et *al.*, 2002). D'après RICE et LEWIS (1988), les arbres des hautes altitudes (> 550m) sont plus exposés au dépérissement que ceux de basses altitudes (< 500m). Généralement en altitude, les sols sont superficiels et bénéficient de quantités d'eau moins importantes, alors que ceux situés en basses altitudes profitent d'une réserve hydrique très importante (THOMAS et *al.*, 2002).

2.2. Les facteurs biotiques

Représentés par les ravageurs aux régimes alimentaires variés, (défoliateurs, xylophages, séminiphages, etc.) et les maladies cryptogamiques (fongiques, bactériennes ou virales) sont parmi les agents qui interviennent dans l'altération physiologique des arbres forestiers (HANSON et *al.*, 1976 in WALTERS et MC CARTHY, 1997).

3. Les causes du dépérissement : Les causes possibles d'un dépérissement peuvent être nombreuses, dont leur mise en un mode de classification demeure difficile, tandis que certaines facteurs de prédisposition peuvent devenir des facteurs déclenchants ou des facteurs aggravants, la rapidité de l'évolution du dépérissement est liée à l'intensité des effets des facteurs, qualités des habitats, les changements de la nature et de l'environnement, en plus de l'intensité des manifestations des organismes secondaires.

3.1. Les changements climatiques :

La tendance à la baisse des précipitations et à l'augmentation de la température, à partir de 1961 jusqu'à nos jours, accompagnés d'autres facteurs comme la croissance démographique rendent très vulnérables les formations forestières au changement climatique (TAORE et *al.*, 2006). Cette situation pourrait se traduire par un stress hydrique, une évapotranspiration élevée et une pression très forte sur les ressources, ainsi la pérennité de la forêt.

les zones forestières et les espèces végétales pourraient subir un déplacement significatif vers d'autres aires plus favorables comme une conséquence du réchauffement climatique et une baisse de la pluviométrie sur une période prolongée par rapport à la moyenne des apports observée sur cette période (ALLEN, 2009).

Les conséquences des changements climatiques pourraient se traduire par une augmentation de la mortalité des espèces forestières due au stress hydrique (TAORE et *al.*, 2006, ALLEN, 2009), la diminution des taux de germination, avec l'augmentation du stress hydrique (DIRIK, 2000, HALITIM, 2006), et facilitant ainsi, les attaques d'insectes et l'apparition des maladies (ANONYME, 1994, BENTOUATI et BARITEAU, 2006), la modification des taux de croissance des arbres (ABDENDI, 2003), avec des changements au niveau des stations provoquant un déséquilibre accompagné d'un passage de la forêt dense à la forêt claire et de celle-ci à des formations arbustives (ANONYME, 1994, SEGUIN, 2006, ABDENDI, 2003, ALLEN, 2009)

3.2. Le stress hydrique

En région méditerranéenne, l'eau est le principal facteur limitant de la végétation forestière (AUSSENAC et VALETTE, 1982), et lorsque son contenu dans les tissus des plantes s'écarte suffisamment de l'optimum de façon à nuire à la croissance et aux processus physiologiques, la plante est sujette à un stress hydrique (LEVITT, 1980 in ZINE EL ABIDINE, 2003). D'après plusieurs auteurs (GARREC et *al.*, 1989 ; ZINE EL ABIDINE, 2003 ; LEBOURGEOIS et BECKER, 1996 ; BENTOUATI et BARITEAU, 2006), le déficit hydrique apparaît comme un facteur prédisposant et/ou d'incitation le plus associé au dépérissement des forêts. Au début du développement du stress, ce sont les processus les plus sensibles qui sont affectés ; mais s'il continue, les réponses s'intensifient et les processus physiologiques sont de plus en plus altérés (ZINE EL ABIDINE, 2003 ; ROUAULT et *al.*, 2006).

Le stress hydrique affecte en premier lieu la croissance (AUSSENAC et FINKELSTEIN, 1983 ; DUCREY, 1994), perturbe ensuite les échanges gazeux et modifie enfin le métabolisme biochimique et les propriétés spectrales des feuilles (ZINE EL ABIDINE, 2003). Il peut même induire des phénomènes de cavitation et d'embolisme dus à la rupture des colonnes d'eaux dans les vaisseaux (ZINE EL ABIDINE, 2003). Ceci peut entraîner le dessèchement partiel ou total des arbres et arbustes, observé souvent au niveau des branches supérieures.

Un arbre stressé ou affaibli est exposé souvent aux attaques parasitaires (pathogènes et insectes) (CHARARAS, 1982 ; ZINE EL ABIDINE, 2003 ; ROUAULT et al., 2006).

Au Maroc, les attaques de *Thaumetopoea* sp. sur les pins et le Cèdre de l'Atlas ont été dévastatrices pendant les années coïncidant avec une séquence de sécheresse (EL HASSANI et al., 1994 in ZINE EL ABIDINE, 2003).

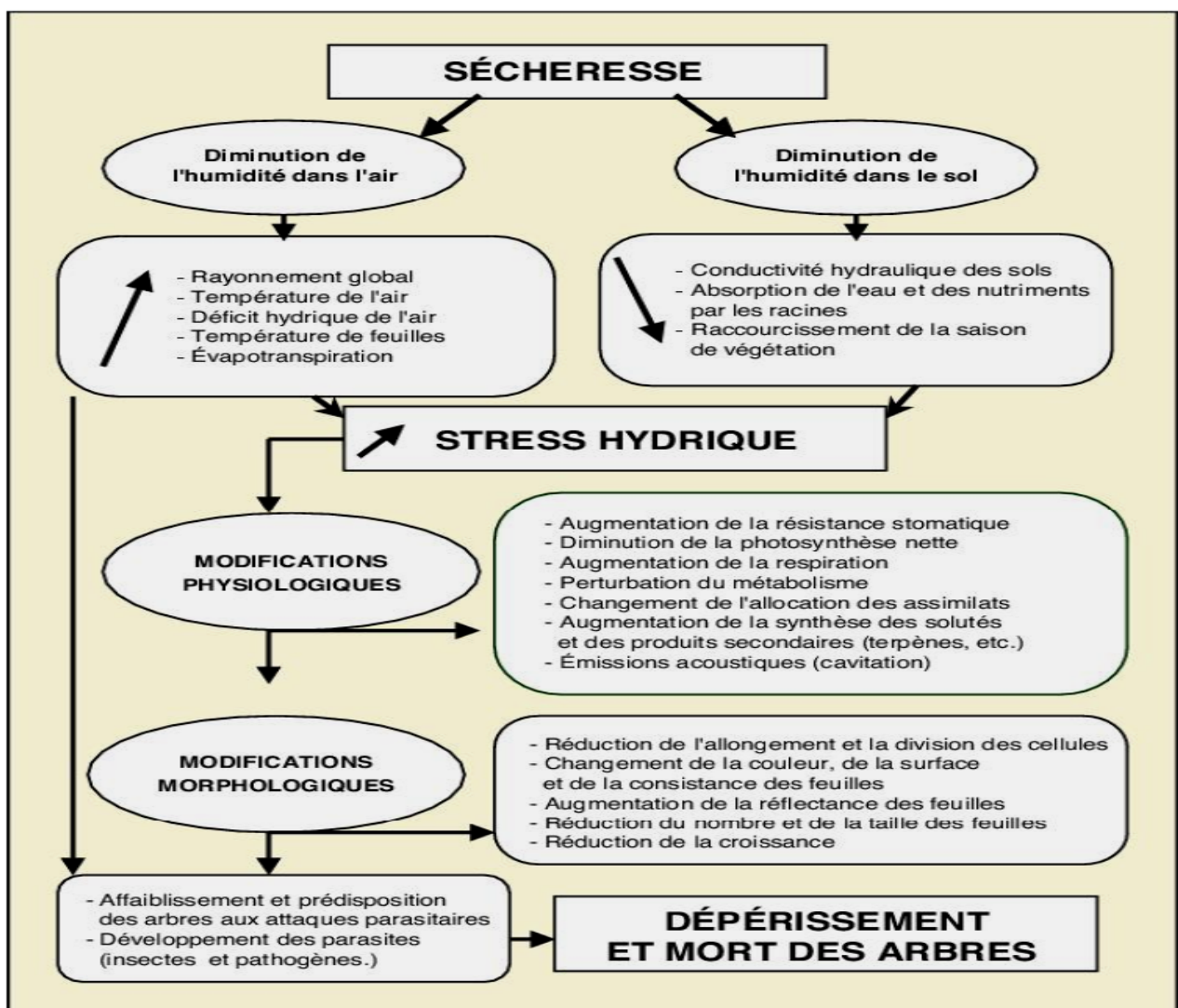


Figure 8 : Le modèle de dépérissement des arbres forestiers (ZINE EL ABIDINE, 2003).

3.3. Les manifestations des ravageurs et des agents pathogènes

Plusieurs insectes ravageurs qu'ils soient phyllophages ou xylophages peuvent accentuer le phénomène du dépérissement, le problème des xylophages est d'une grande importance et se pose de façon accrue pour le cèdre par le fait qu'ils constituent souvent l'étape qui suit l'affaiblissement de l'arbre, ainsi que, les causes de cet affaiblissement peuvent être diverses, de la sécheresse durant ces dernières années à l'attaque des phyllophages (MOUNA, 1994), ces derniers tels que la processionnaire du cèdre (*Thaumetopoea Bonjeani*), vit exclusivement sur le cèdre et la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocompa*) qui a la capacité de vivre sur le cèdre, conduisent à un effeuillage totale des sujets atteints ce qui accentue le phénomène du dépérissement (GACHI, 1944).

L'apparition des agents pathogènes, est liée directement ou indirectement à la déforestation, le surpâturage et l'érosion, (l'Armillaire, le Coriolus, le Strereum, le Sparassis, le Trametes), se sont des champignons parasites appartenant tous au groupe des parasites de faiblesse, provoquant des altérations aux bois, et accentuant le problème du dépérissement (LANIER, 1994).

3.4. Les manifestations anthropiques

Les riverains coupent les branches d'arbres pour leurs besoins quotidiens en bois (bois de chauffage, construction des habitats, nourriture du bétail), et surtout les jeunes arbres qui semblent être préférés, ce qui provoque souvent des mortalités brusques des peuplements (FAUREL et LAFITTE, 1949, ABDENDI, 2003, ANONYME, 1994).

3.4.1. Les incendies de forêts

Les incendies de forêts endommagent énormément la couverture végétale, du point de vue quantitatif et qualitatif (CHEVRON, 2005).

Les incendies sont provoqués dans le but de la création de nouveaux espaces de pâturage et de terrains de culture (FAUREL et LAFITTE, 1949).

Le feu exerce une action traumatisante sur la végétation, ainsi qu'il bloque son système physiologique, surtout lorsqu'il est répété chaque fois et à la même saison (CHEVRON, 2005).

3.4.2. Le surpâturage

Le pâturage est peut être pratiqué librement, et d'une manière continue, ce qui provoque un gaspillage important d'herbe et des petits repousses de régénération (ANONYME, 2007). Plusieurs études et diverses observations à travers le monde, ont montré que le surpâturage

était une cause majeure de la dégradation des forêts immanent à la désertification (FAUREL et LAFITTE, 1949, ABDESSEMED, 1981).

Le surpâturage est considéré comme l'une des causes principale du dépérissement de la végétation forestière (BENTOUATI et BARITEAU, 2006).

4. Les principales causes de dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie et au Bellézma :

L'Algérie a connue pendant le début des années 1980, des dépérissements du cèdre au Belezma et à Theniet el Had (l'Ouarsenic). Ils se traduisent par le dessèchement des arbres.

Le dépérissement du cèdre de l'Atlas a affecté la majorité des cédraies algériennes mais avec des degrés variables. Depuis les années 1980 des phénomènes très graves de dépérissement ont été observés dans divers forêts naturelles de cèdre en Algérie, en particulier les forêts des Aurès, à savoir les forêts de Chélia et surtout celles du Bellezma.

D'après BOUDY (1950), 1 500 ha de vieille futaie était déjà en régression sur le versant sud du Djurdjura et 500 ha sur le versant nord, était en très mauvais état également. Tandis que la cédraie de Theniet-El-Had, aux arbres de tous âges, en mélange avec le chêne-vert et le chêne-zeen, était en bon état. Mais, actuellement, le déclin a pris une grande ampleur en touchant pratiquement tout le peuplement dans les Aurès et plus précisément dans la zone de Bélezma (BENTOUATI, 2008).

Ces dépérissements inquiétants restent inexplicables malgré les recherches qui ont été menées et qui avaient pour but l'identification des facteurs inducteurs causant ce phénomène (GACHI, 1989).

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

Année	1952(Boudy)	1995(INRF)	2006(DGF)
Superficie en ha	29.000 ha	23.000 ha	16.000 ha

Dans les Aurès, les symptômes de dépérissement ont commencé à apparaître vers les années 1982 (BENTOUATI, 2008). Il s'est avéré qu'il est dû soit à des défoliations répétées causées par un lépidoptère défoliateur, la processionnaire du cèdre (*Thaumetopoea bonjeani*) (BENTOUATI et BARITEAU, 2006 ; BENTOUATI, 2008) soit à un couple de parasites, dont l'un est un champignon lignivore du genre *Armillaria* et l'autre un insecte xylophage non identifié de la famille des Buprestidae (GUEZLANE, 1982). BENTOUATI et BARITEAU (2006) ont signalé que les peuplements les plus affectés sont ceux soumis aux influences

sahariennes telle la cédraie de Bélezma, mais aussi ceux les plus méridionaux situés en limite sud des Aurès comme Taghda et Djebel Lazreg. BENTOUATI (2008), rapporte que plus du tiers de la surface boisée au Bélezma, qui est de l'ordre de 5 000 ha est maintenant touchée par le dépérissement. Ce même auteur rajoute, que ce phénomène touche les sujets de toutes classes d'âges et est très important dans les peuplements en mélange avec le chêne vert.

BOUDY (1950) rapporte qu'une sécheresse exceptionnelle aurait sévi entre 1875 et 1881 et aurait occasionné d'importants dégâts sur les peuplements de cèdre de la région. De même, des écrits rapportés par ABDESSEMED (1981) indiquent que la sécheresse de 1977 et 1978 pour lesquelles le déficit pluviométrique a atteint la moitié de la moyenne, a entraîné dans la région de Bélezma un dessèchement du chêne vert essence réputée des plus rustiques. Cet auteur rajoute que suite à cette sécheresse, le dépérissement du cèdre s'est manifesté par pied puis s'est généralisé 2 ans plus tard dans tout le massif.

Ces signes du dépérissement n'ont été signalés que deux années plus tard, soit en juillet 2004 par les forestiers au moyen d'un avion de prévention et de lutte contre les feux de forêts (ANONYME, 2004 ; PNB, 2007). Lors de cette mission de prospection, les zones touchées par le dépérissement sont les forêts domaniales d'Ouled Ali (canton Dj. Guetiane), de Bélezma (canton de Boumerzoug, de col Talmet et de Dj. Tuggurt) et de Chélia (canton Oued Tidder).

En décrivant la situation du dépérissement dans les Aurès, BENTOUATI (2008), note que ce fléau ne touche pas que les arbres végétant dans des stations à mauvaises conditions d'alimentation en eau (forte pente, sol superficiel, arbres déchaussés), mais aussi ceux poussant dans des stations humides (bas-fonds, le long des cours d'eau, etc.).

Plusieurs auteurs, BOUDY (1950) ; ABDESSEMED (1981) ; BENTOUATI et BARITEAU, (2006), BENTOUATI (2008) considèrent donc (depuis longtemps) que la sécheresse est un facteur déclenchant la dégradation physiologique de la cédraie du Bélezma déjà prédisposée aux multiples facteurs tels que l'action humaine traduite par l'absence d'une gestion sylvicole rationnelle, le surpâturage, l'exploitation non contrôlée et les coupes illicites. Au point de vue géologique, la nature de certains substrats comme les marnes paraissent très nettement défavorables à la reprise des arbres par sa faible rétention en eau .

Chapitre 3 : Cadre abiotique et biotique

1) Situation géographique et administrative de la zone d'étude

Le massif de Belezma se situe dans la wilaya de Batna, limitée par la plaine de Mérouana et de Aïn Djasser au Nord, la plaine d'El-Madher à l'Est, et à l'Ouest par l'Oued de Barika. Le parc national de Belezma occupe une aire estimée à 26250 ha de la forêt domaniale de ce massif (KHANFOUCI, 2005). L'équilibre écologique de cette région est en effet menacé par sa position biogéographique proche du désert, par son relief montagneux et une orogénèse récente et par la pression anthropique (ANNONYME, 2005).

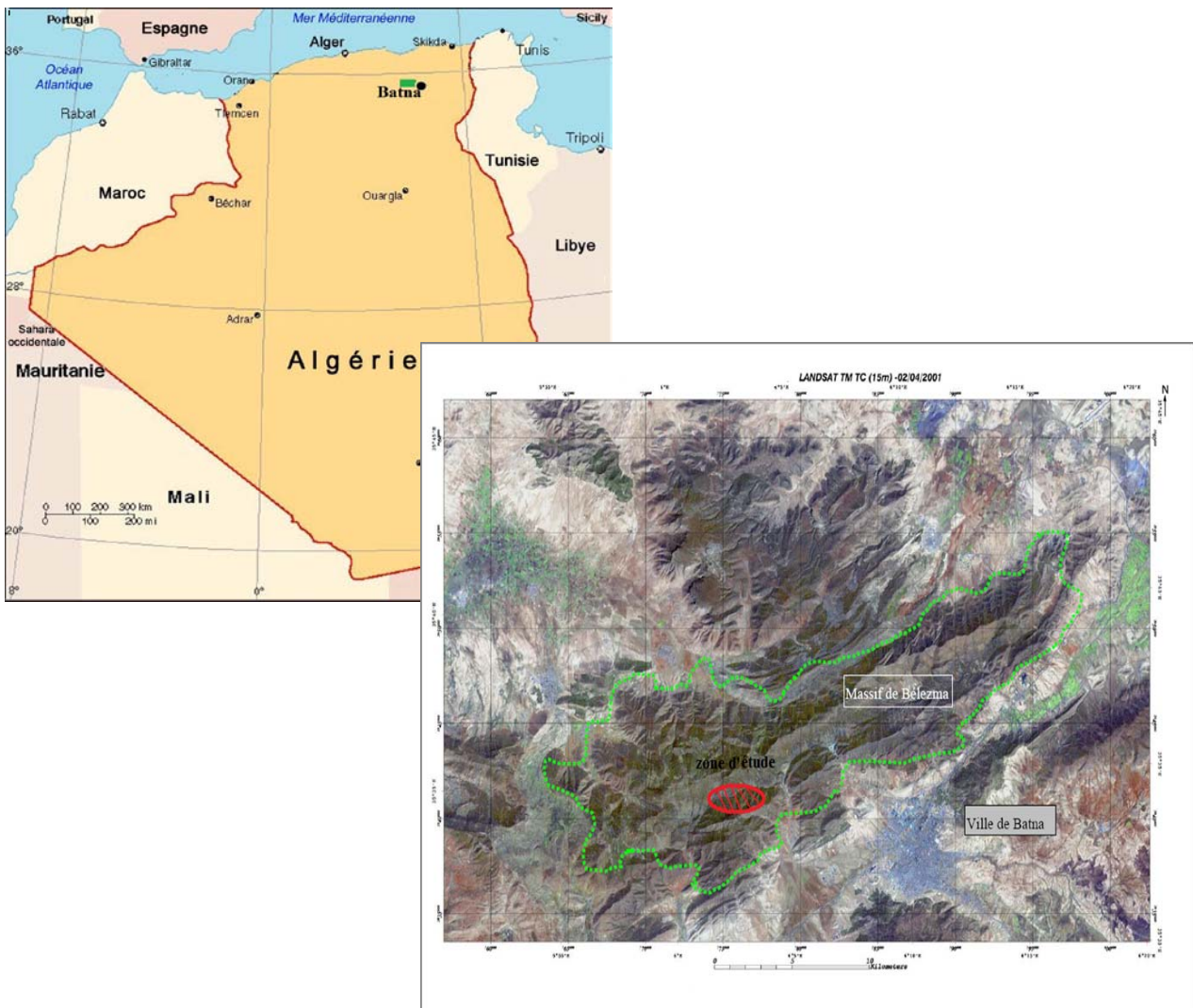


Figure 9: Situation de la zone d'étude

2) Le relief

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

3) Géologie

Les terrains du massif de Belezma sont de formation géologique secondaire appartenant au Triasique, Jurassique et Crétacé (LAFITTE, 1939, YAHIAOUI, 1990 in BENTOUATI, 1993), dominées principalement par des marnes en basse altitude, cas de Tuggurt et Boumerzoug, avec intercalation de calcaire, calcaire dolomitique et grès sur les parties centrales et supérieures en moyennes et hautes altitude (Djebel Chelaala, Col de Talmet, Theneit El-Gontos ainsi que la partie supérieure du djebel Tuggurt) (BENTOUATI, 1993).

4) Pédologie

D'après SCHOENBERGER, (1970) et ABDESSEMED (1981) les sols typiques du massif de Belezma sont ainsi :

***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, Chelaala 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 sur substrat calcaire (BENTOUATI, 1993).

5) Cadre climatique

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.

5-1) Les précipitations

La disponibilité en eau est le premier des facteurs du milieu qui contrôlent la croissance des arbres (LOUSTAU et al.. 2005). Le territoire du massif de Belezma, de par son relief vigoureux, aux altitudes élevées (de l'ordre de 1200 m à plus de 2000 m) présente une ambiance climatique beaucoup plus humide et froide dans les hautes altitudes, qu'aux altitudes plus basses. L'influence orographique (altitude, exposition) conditionne dans une large mesure les paramètres climatiques et par conséquent la répartition du couvert végétal. En général, l'augmentation de l'altitude engendre une augmentation de la pluviométrie, et selon l'exposition, SELTZER (1946), préconise un accroissement de 40 mm pour 100m de dénivelée sur le versant nord. LE HOUEROU (1975) cité par ABDESSEMED (1981) donne une valeur de 20 mm pour 100 m de dénivelée sur le versant sud. Il est à rappeler que le versant sud des monts de Belezma subit un régime climatique caractérisé notamment par une mauvaise répartition des précipitations annuelles, aboutissant à une longue période de sécheresse d'été par contre le versant nord subit une répartition pluviométrique annuelle utile aux peuplements existants (cèdre, Chêne vert).

Tableau II: Répartition des précipitations moyennes mensuelles (période : 1950-1975).

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	total
P(mm)	52.45	47.86	46.09	49.98	41.7	21.84	8.8	17.05	42.1	34.61	57.95	58.95	479.31

Station de Batna 850m

Tableau III: Répartition des précipitations moyennes mensuelles (Période : 1985-2010).

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

Station de Batna 850m

La comparaison entre les deux périodes (1950-1975) et (1985-2010), montre une notable différence qui se traduit par une nette tendance vers un cycle de sécheresse. Caractérisant la soumission du massif de Belezma à un étage bioclimatique semi-aride.

5-2) Les températures

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle conditionne la répartition de la totalité des espèces (RAMADE, 2003).

Selon (M'HIRIT, 1982), toutes les espèces végétales sont plus sensibles aux températures maximales de la saison chaude et aux températures minimales de la saison froide.

6) Expression synthétique du climat

ESTIENNE et GODARD (1970) recommandent une durée de 10 ans pour les relevés de températures et une période de 20 ans pour les pluies permettant de connaître les traits moyens du climat.

6-1) Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Ces deux auteurs (in ABDESSEMED, 1981) ont réalisé des diagrammes ombrothermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année. BAGNOULS et GAUSSEN, (1953) considèrent qu'un mois est sec lorsque le total des précipitations exprimé en millimètre est égal ou inférieur au double de la température moyenne exprimée en degré Celsius. La période de sécheresse et son intensité sont estimées à l'aide d'un diagramme combinant sur le même graphe les températures et les précipitations ; illustrant ainsi la durée et l'intensité de la période sèche. Les graphiques ainsi obtenus permettent de déterminer l'importance de la sécheresse. Nous avons établi les diagrammes ombrothermiques pour la région de Batna pour la période 1950-1975 (figure 10) et pour la période 1985-2010 (figure 11).

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

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
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
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	4.94	5.71	8.50	10.70	15.06	20.96	24.41	23.86	19.47	13.83	9.74	6.35

(Station de Batna 850 m)

Tableau V : Répartition des températures moyennes mensuelles minimales et maximales (Période : 1985-2010).

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
m	0.30	0.80	3.00	5.50	10.00	14.50	17.10	17.20	13.90	9.67	4.76	1.66
M	10.9	12.9	16.2	19.00	24.80	30.80	34.60	33.80	28.20	22.70	16.14	11.92
M+m/2	5.60	6.85	9.60	12.25	17.40	22.65	25.85	25.5	21.05	16.18	10.45	12.75

(Station de Batna 850 m)

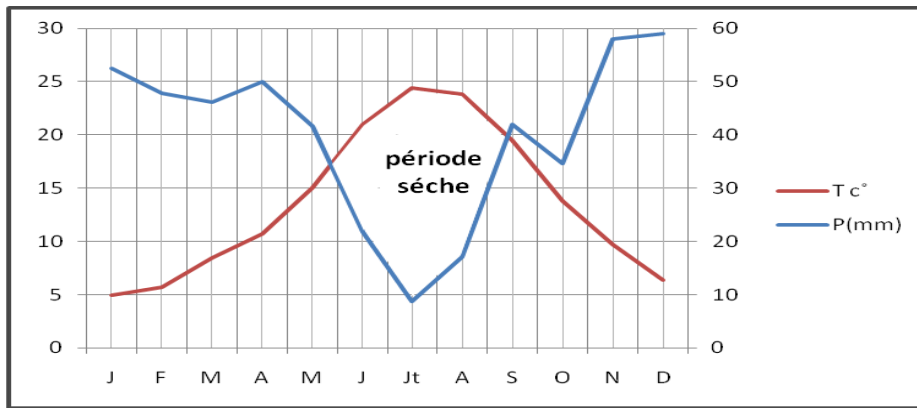


Figure 10 : Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN (Période : 1950-1975).

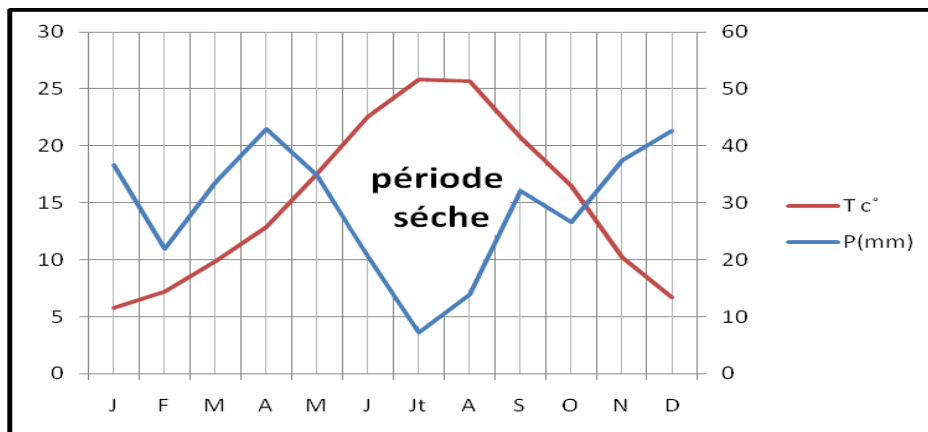


Figure 11: Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN (Période : 1985-2010).

L'examen des deux diagrammes ombrothermiques indique que le climat de la région d'étude se caractérise par une période de sécheresse qui dure 5 mois pour la période 1985-2010 alors que la saison sèche pour la période 1950-1975 dure 3 mois.

La comparaison des deux diagrammes montre une accentuation très importante de la saison sèche.

6-2) Quotient pluviométrique d'EMBERGER Q2

Indice climatique visant à traduire le caractère xérophyte d'un biotope et sa classification bioclimatique, Il permet de caractériser le climat méditerranéen, il est déterminé par la combinaison des 2 principaux facteurs du climat, température et précipitations, En 1939, Emberger proposa la formule suivante :

$$Q2 = 1000 P / (M + m/2 (M - m)) \text{ où}$$

P = Précipitation annuelle en mm

M = Température maximale du mois le plus chaud.

m = Température minimale du mois le plus froid.

$M - m$ = Amplitude thermique extrême moyenne.

Donc,

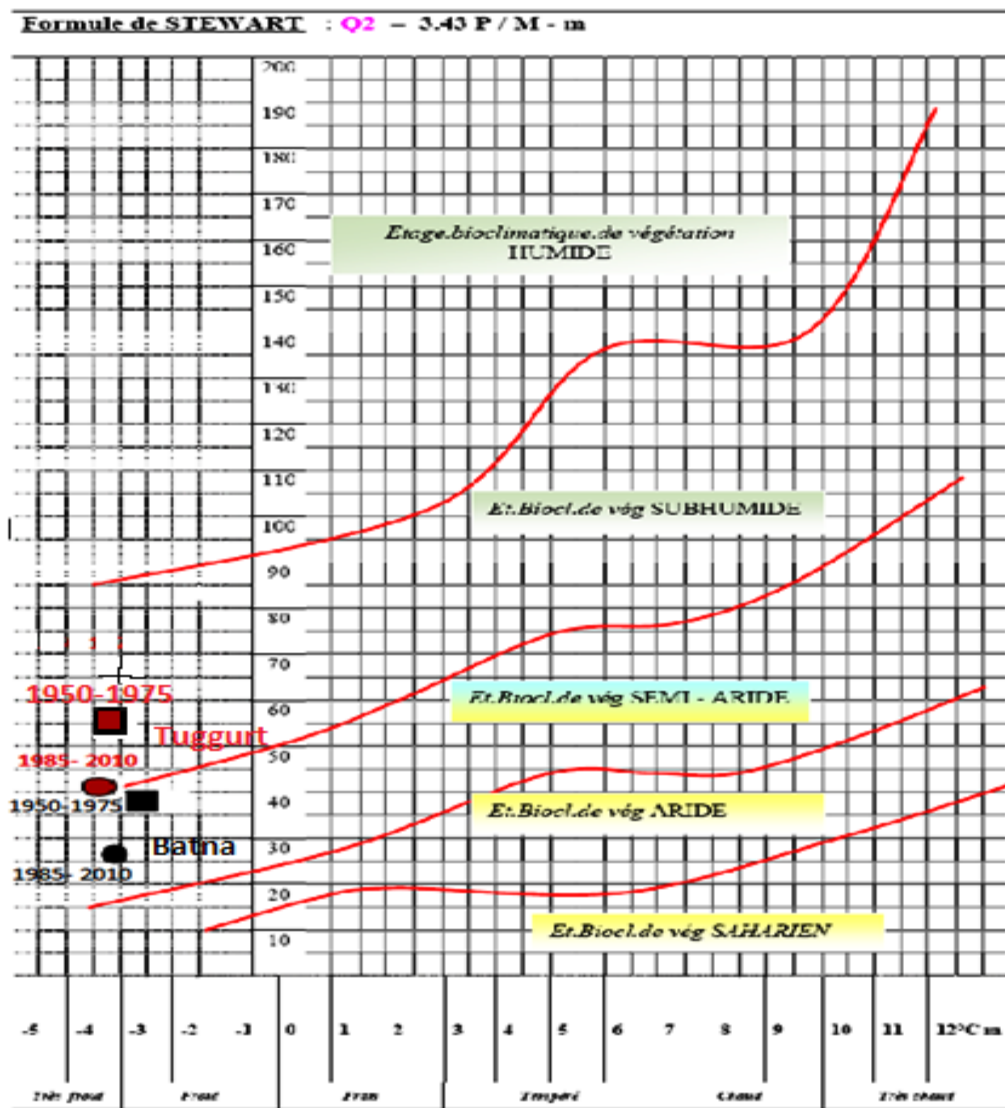
pour la période (1985-2010) :

- la station de Batna : $Q2 = 27,5$
- la station de Tuggurt : $Q2 = 42,23$

pour la période (1950-1975) :

- la station de Batna : $Q2 = 39,5$
- la station de Tuggurt : $Q2 = 57,8$

Figure 12: Climagramme d'Emberger



■ ● :Tuggurt(1550m) ● ■ :(Batna 850m)

b) cadre biotique

1)La flore

Les principales essences forestières du Belezma sont :

- Le cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica*
- Le chêne vert *Quercus ilex*
- Le pin d'Alep *Pinus halepensis*
- Le genévrier commun *Juniperus communis*
- Le genévrier rouge *Juniperus phoenicea*
- Le frêne dimorphe. *Fraxinus xanthoxyloides*

1-2) Les groupements végétaux à cèdre

Selon le bureau des études forestières (1986), il existe trois groupements végétaux :

- Groupement du cèdre pur.
- Groupement du cèdre mélangé
- Groupement du cèdre à houx

La cédraie pure

Elle se localise sur les expositions nord et nord ouest des monts de Chelaala, Islane Bordjem, Ticchaou, Tuggurt, Boumerzoug dont les substrats géologiques sont calcaires à marno-calcaires.

Ce groupement est caractérisé par :

- *Ranunculus spicatus*
- *Fastula cleserti*
- *Rumex tuberosus*
- *Erysimum bocconeii*

Groupement de cèdre – chêne vert

Il est localisé sur l'ensemble des monts de Belezma par les différents types de substrats, à savoir, le calcaire dolomitique et gréseux.

Du point de vue altitudinale, nous notons une différence selon l'exposition.

- L'exposition Nord : 1350 – 1400 m
- L'exposition Sud : 1600 – 1650 m.

Ce groupement est caractérisé par :

- *Quercus rotundifolia*
- *Oryzopsis paradoxa*
- *Bromus medritensis*
- *Fraxinus xanthoxyloides*

Groupement de cèdre – houx

Il est très peu étendu de point de vue superficie ; son aire occupe à peine 2 ha. Il est situé dans le ravin frais et humide de Theniet El Gontos, et se caractérise par :

Lonicera etrusca

Rubus ulmifolius

Lonicera arborea

Acer monpessulanum

Rosa montana

Cotoneaster racemiflora

Autres groupements

- Chêne vert pur sur toutes les expositions
- Chêne vert et frêne épineux
- Chêne vert et genévrier rouge.
 - Chêne vert et pin d'Alep.
 - Pelouses
 - Rupicoles

2) La faune : Les différentes expositions, les conditions édaphiques, la végétation offrent des possibilités énormes pour le développement d'un nombre très important d'espèces faunistiques (BNEF, 1986), et le tableau VI illustre parfaitement la richesse en espèces, et démontre l'importance inestimable du capital faunistique se trouvant dans le territoire du parc national de Belezma.

3) Milieu sylvo - agro - pastoral.

L'agriculture : Les populations pratiquent une agriculture traditionnelle de subsistance qui se réduit au système de culture extensive basée essentiellement sur la céréaliculture associée à l'élevage, de type familiale considérée généralement plus comme activité d'appoint qu'une activité principale. Pour l'améliorer Il faut donc l'orienter vers une agriculture de montagne avec des méthodes et pratiques modernes, en développant le potentiel hydrique qui constitue une condition préalable pour l'augmentation des terres irriguées.

Le cheptel demeure important surtout par sa composante ovine qui représente 74% des cheptels existants. Les troupeaux exercent une grande pression du pâturage ce qui engendre de grands préjudices sur les ressources naturelles notamment la destruction de la forêt.

Chapitre 4 : Méthodologie

Méthodologie :

1. Analyses des différents facteurs de la station :

1.1. La pluviométrie

1.2. Les températures

1.3. Analyse physico-chimique du sol

1.3.1. Caractérisation pédologique

Les principaux caractères d'un sol sont sa texture, sa structure, son pH et sa teneur en éléments minéraux (DUCHAUFOR, 2004). Ces caractéristiques ont été étudiées au niveau du laboratoire pédologique au siège du département d'Agronomie.

1.1.1. Méthodes de prélèvement du sol

La méthode d'échantillonnage adoptée est celle de transect vue le gradient altitudinal imposé. La méthode de transect consiste à analyser la végétation le long d'un axe dont l'emplacement est fonction d'un certain nombre de facteurs d'homogénéité floristique, pédologique et géomorphologique. Nous avons prélevé quatre échantillons chaque échantillon représente la moyenne de trois prises ; 6 prises sur le versant nord et 6 autres au versant sud.

1.1.2. Méthodes d'analyse pédologique

1.1.2.1. Granulométrie

La texture d'un sol est révélée par son analyse granulométrique. Son principe est basé sur la vitesse de sédimentation des particules séparées et dispersées par destruction de leur ciment (calcaire et matière organique).le fractionnement de ces particules se fait par l'intermédiaire de la pipette de Robinson qui permet la détermination des fractions argileuses et limoneuses fines. Ensuite, les sables fins et grossiers sont mesurés par tamisage.

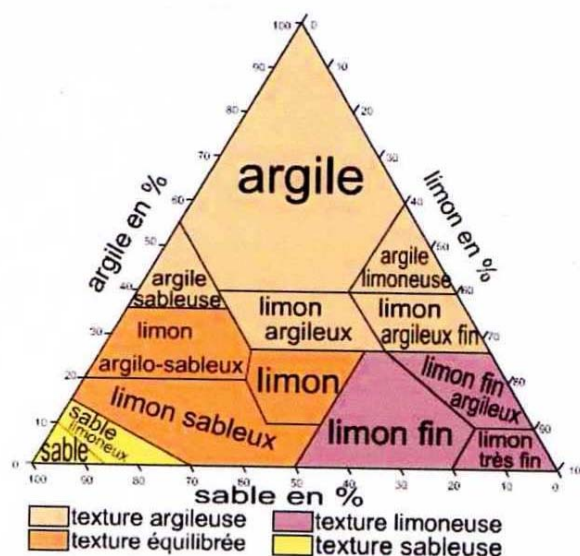


Figure 13 : Classification américaine des textures pédologiques

1.1.2.2. Calcul du pH

La mesure du pH s'accomplit par la lecture directe sur pH-mètre, d'une suspension formée de 10g de sol dissous à l'aide d'un agitateur pendant 30mn dans 25ml d'eau distillée. (Le rapport sol/eau=1/2,5), après l'agitation et avant la lecture du résultat, il faut laisser la solution au repos durant 5mn (BLACK & EVAN, 1965).

1.1.2.3. Détermination de la conductivité électrique et de la salinité

On procède par la mise de 10g de terre fine dans un bécher de 100ml, on rajoute 50ml d'eau distillée (le rapport sol/eau =1/5) et on met le bécher sous agitation pendant une demi-heure. Après repos de 5mn, on mesure la conductivité électrique à l'aide d'un conductimètre.

1.1.2.4. calcul du taux de carbone et de la matière organique

WALKLEY (1934. In BAIZE 2001) a adopté une méthode pour le dosage du carbone et de la matière organique dont le principe repose sur les étapes suivantes :

- _ Mettre dans un Becher de 400ml : 0,5g de sol, 10ml d'une solution de ditromate de potassium et 20ml d'acide sulfurique concentré
- _ Laisser le mélange pendant une demi-heure
- _ Additionner 200ml d'eau distillée, 10ml d'acide ortho phosphorique (H₃PO₄) et 4 gouttes d'une solution de diphénylamine (C₁₂H₁₁N).
- _ Titration avec le sulfate de fer (FeSO₄), avec enregistrement du volume.

1.1.2.5. calcul du taux du calcaire total CaCO₃

Le principe de dosage du calcaire total est basé sur la mesure du CO₂ dégagé du calcaire (CaCO₃) se trouvant dans 0,5g de terre fine neutralisée par 5ml d'acide chlorhydrique (HCl). Le dispositif réactionnel est appelé calcimètre de Bernard ou procédé gazométrique.

2. Calcul du taux de dépérissement

Échantillonnage : Les sites choisis, devaient être homogènes en fonction de ces critères : l'exposition, l'altitude et la pente. Nous avons adapté pour l'échantillonnage :

Des placettes situées à 30m de la lisière, afin d'éviter un éventuel effet de bordure.

Pour ce faire, un point de départ a été choisi aléatoirement, duquel partait une ligne de 50m, orientée parallèlement à la pente, du bas vers le haut. Une seconde ligne, était tirée parallèlement à la première de façon, à créer un corridor de 10m de large .à l'intérieur de ce

corridor, tous les arbres adultes de cèdre, ont été échantillonnés. Pour chaque arbre, il faut noter l'absence (-) ou la présence(+) des variables mesurées.

3. Étude géomatique

Logiciels et produits utilisés :

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

Images satellitaire : de type Landsat TM et ETM+

ENVI: 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).

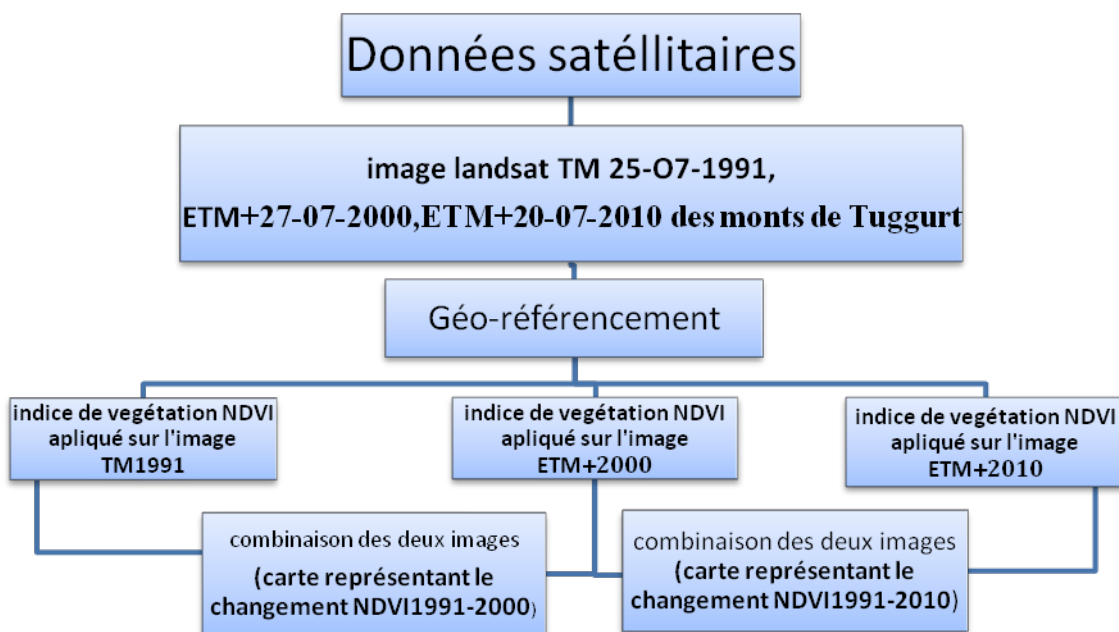


Figure 14: méthodologie de l'étude géomatique

Chapitre 5 : Résultats et discussion

1. Analyses des différents facteurs de la station

1.1. La pluviométrie

1.1.1. Extrapolation en fonction d'altitude

selon l'exposition, SELTZER (1946) , préconise un accroissement de 40 mm pour 100m de dénivelée sur le versant nord. LE HOUEROU (1975) cité par ABDESSEMED (1981) donne une valeur de 20 mm pour 100 m de dénivelée sur le versant sud

- La relation utilisée pour l'extrapolation pour le versant nord est la suivante :

C (coefficient de correction) = $A + 411,06/411,06$

Où A (accroissement pluviométrique. en mm) = $d \times 40/100$

Et d = différence d'altitude entre la station de référence et la nouvelle station.

- La relation utilisée pour l'extrapolation pour le versant sud est la suivante

C (coefficient de correction) = $A + 411,06/411,06$

Où A (accroissement pluviométrique. en mm) = $d \times 20/100$

Et d = différence d'altitude entre la station de référence et la nouvelle station.

Les tableaux VII et VIII présentent les données pluviométriques moyennes extrapolées en fonction de l'altitude et le versant pour la période (1985-2010).

Tableau VII: Données pluviométriques extrapolées en fonction de l'altitude Versant nord

	c	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
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	1,09	46,93	27,94	32,16	57,77	43,18	26,62	14,3	20,89	40,73	31,07	52,63	56,89	451,07
1600	1,08	50,26	31,27	35,49	61,1	46,51	29,95	17,63	24,22	44,06	34,4	55,96	60,22	491,06
1700	1,08	53,59	34,6	38,82	64,43	49,84	33,28	20,96	27,55	47,39	37,73	59,29	63,55	531,06
2000	1,22	63,58	44,59	48,81	74,42	59,83	43,27	30,95	37,54	57,38	47,7	69,28	73,54	651,06

Tableau VIII: Données pluviométriques extrapolées en fonction de l'altitude Versant sud

	c	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
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	1,04	44,85	25,97	30,19	55,8	41,15	25	12,33	18,92	38,76	29,1	50,66	54,92	427,45
1600	1,04	46,51	27,63	31,85	57,46	42,81	26,65	14	20,58	40,41	30,76	52,32	56,58	447,48
1700	1,04	48,17	29,3	33,5	59,12	44,47	28,3	15,65	22,24	42,07	32,42	53,98	58,24	467,46
2000	1,12	53,15	34,28	38,47	64,1	52,02	32,8	20,63	27,22	47,05	37,4	58,96	63,22	527,46

1.1.2. Fréquence de la pluviométrie

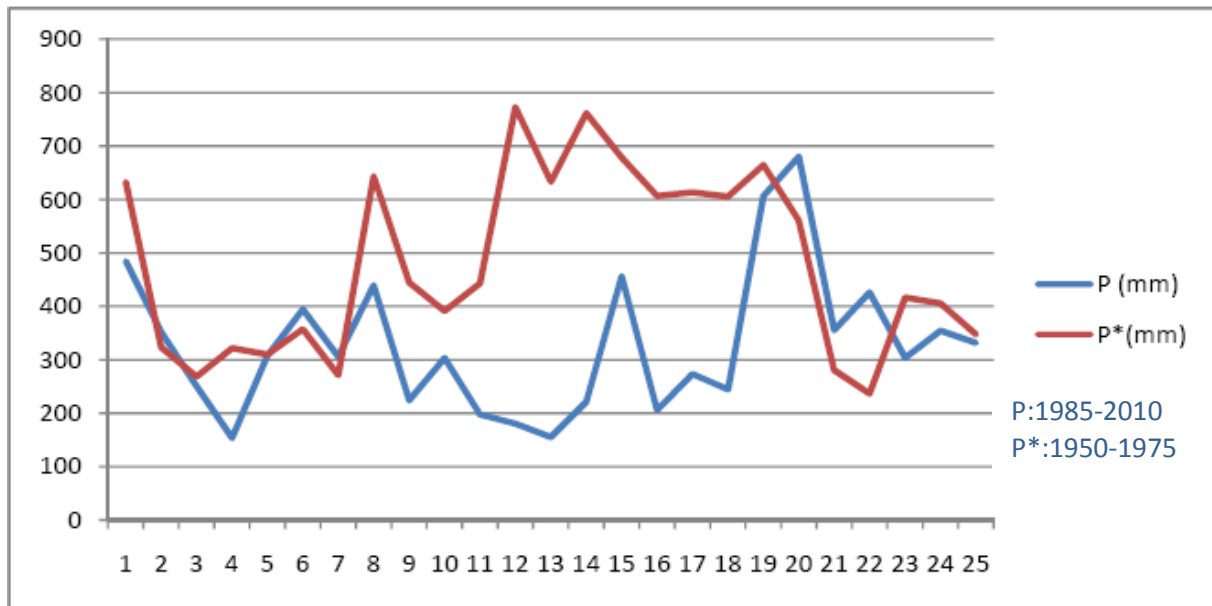


Figure 15 : Variation des précipitations moyennes annuelle (1950-1975) et (1985-2010)

Tableau IX : Fréquence de la pluviométrie

Pluviométrie annuelle	1950-1975	1985-2010
> 450 mm	12	4
300-450mm	8	10
200-300mm	4	7
100-200mm	0	4

1.1.3. Discussion

La pluviométrie joue un rôle prépondérant sur la croissance du cèdre TOTH, (1985), selon SCHOENENBERGER, (1970) le cèdre de l'Atlas se développe entre 450 à 1700mm/an. Selon MEDIOUNI et YAHY (1994) le cèdre se développe entre 440 et 1400 mm.

Malgré l'influence du versant nord qui est normalement le plus arrosé, l'analyse quantitative des apports pluviométriques annuels relevés, montre que la pluviométrie ne dépasse les 450 mm qu'à partir de 1500 m d'altitude Concernant le versant sud, la pluviométrie ne dépasse les 450mm qu'à partie de 1700m d'altitude ce qui fait que le phénomène de dépérissement touche même les arbres de haute altitude, jeunes ou adultes.

D'après les résultats obtenus on remarque nettement l'irrégularité et la régression de la hauteur moyenne des pluies dans la région par rapport aux années précédentes à travers la comparaison des taux enregistrés entre les deux périodes (1950-1975) et (1985-2010) cela 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. D'ailleurs, il s'agit de l'une des caractéristiques du climat algérien qui tend vers l'aridité HALIMI, (1980).

1.2. La température

Il est admis que la température baisse avec l'altitude, Seltzer, (1946) (*in* Benissad, 1992), donne les valeurs suivantes pour les températures moyennes maximales du mois le plus chaud (M) et les températures moyennes minimales du mois le plus froid (m).

M = - 0.70 °C pour 100 m de dénivelée.

m = - 0.45 °C pour 100 m de dénivelée

Tableau X : 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	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 X représente les températures moyennes mensuelles corrigées en fonction de l'altitude, pour une période de 25 ans (1985-2010). Les températures semblent ne pas être une limite, avec ces moyennes le cèdre est dans son milieu favorable car son optimum est étendu.

1.3. Le sol

Tableau XI : Analyses physico-chimique du sol

Stations	Alt	Exp	Pente	Analyses physico-chimiques					
St1	1480	nord	21	Argile	37,3	Mo%	3,9	PH	7,93
				Limons F	24,5	C%	2,45	CE	0,13
				Limons G	21	N%	0,18	Ca ⁺⁺	26,3
				Sables F	8,53	C/N	14,16	Na ⁺⁺	0,17
				Sables G	10,28				
St2	1400	nord	25	Argile	39,4	Mo%	5,04	PH	8,27
				Limons F	22,2	C%	3,38	CE	0,16
				Limons G	12,5	N%	0,25	Ca ⁺⁺	25,4
				Sables F	10,84	C/N	13,28	Na ⁺⁺	0,6
				Sables G	13,1				
St3	1520	sud	45	Argile	37,2	Mo%	4,12	PH :	8,43
				Limons F	24,19	C%	2,65	CE	0,22
				Limons G	17,2	N%	0,19	Ca ⁺⁺	23,13
				Sables F	11,7	C/N	17,9	Na ⁺⁺	0,29
				Sables G	10,25				
St4	1420	sud	18	Argile	38	Mo%	3,39	PH :	7,84
				Limons F	15	C%	3,13	CE	0,24
				Limons G	23,22	N%	0,2	Ca ⁺⁺	21,99
				Sables F	3,69	C/N	16,7	Na ⁺⁺	0,4
				Sables G	12,09				

1.3.1 Interprétation

L'analyse granulométrique : met en évidence le pourcentage fractionnel du sol, et donc sa texture ; On peut constater que le sol de notre zone d'étude est limono-argileux.

Le pH : Les valeurs obtenues du pH varient entre 7,84 à 8,43, l'échelle de désignation du type de sol en fonction du pH est présentée dans le tableau 5.

Tableau XII: Échelle de désignation de type de sol en fonction du Ph (BAIZE, 1988).

pH	Type de sol
7,5 à 8,7	Basique
>8,7	Très basique
6,5	acides

D'après cette classification, le sol de la zone d'étude est à pH alcalin Ceci est dû aux teneurs faibles en calcaire

La conductivité électrique : les valeurs obtenues pour le paramètre de la conductivité électrique sont de l'ordre de 0,09 à 0,13 milliMhos/cm, et en se référant à l'échelle internationale de mesure de la salinité pédologique (Tableau 6), on peut dire que le sol de la zone d'étude est non salé.

Tableau XIII: échelle de désignation de la salinité du sol en fonction de la conductivité électrique (BAIZE, 1988).

Classe	Désignation	C.E.(milliMhos/cm)
0	Sol non salin	< 2 ,5
1	Faiblement salé	2 ,5-5
2	Salé	>5

Les taux du calcaire total : Les sols étudiés ont des teneurs homogènes et faibles en calcaire, le taux varie de 2,45 à 3,38%.

La matière organique : 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. D'après Duchaufour (1977), les sols sont considérés riches en matière organique lorsque le pourcentage de présence de cette dernière est supérieur à 2%. A cet effet, le sol étudié est considéré comme un sol riche en matière organique, les sols étudiés ont des teneurs moyennes en matière organique de 3,39 à 5,04%. Selon ces teneurs en matière organique, ces échantillons constituent une zone pâturée.

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) (DUCHAUFOR, 1988). Les faibles teneurs en C/N signifient que la décomposition de la matière organique tend vers la minéralisation.

2. Etude symptomatique et calcul du taux de dépérissement

Tableau XIV : Les variables (symptômes) mesurées sur chaque arbre échantillonné.

Les différentes parties de l'arbre	Les symptômes mesurés
Couronne	<ul style="list-style-type: none"> • A1 Défoliation de la couronne • A2 Courbure de la couronne
Feuillage	<ul style="list-style-type: none"> • B1 Décoloration des aiguilles • B2 Chute des aiguilles
Rameaux	<ul style="list-style-type: none"> • C1 Enroulement • C2 Décoloration • C3 Dénudement
Branches	<ul style="list-style-type: none"> • D1 Chute de branches • D2 Décoloration
Tronc	<ul style="list-style-type: none"> • E1 Dessèchement de l'écorce • E2 Cicatrices • E3 Ecoulement de la résine • E4 L'apparition des ravageurs

Tableau XV : Le nombre des symptômes observés pour chaque paramètre étudié sur les 60 arbres échantillonnés dans le Tuggurt.

symptômes	A1	A2	B1	B2	C1	C2	C3	D1	D2	E1	E2	E3	E4
St1 Versant: nord	55	52	50	28	40	38	41	52	48	37	49	25	49
St2 Versant : sud	58	56	56	34	49	48	49	55	57	53	55	22	59

2.1. Interprétation des résultats :

2.1.1. La Courbure de la couronne : le phénomène le plus remarquable sur tous les arbres échantillonnés, il est considéré parmi les premiers symptômes apparus.

2.1.2. La défoliation de la couronne : est un phénomène qui touche une grande partie des arbres échantillonnés il est très accentué sur le versant sud avec 56 arbres sur 60 contre 52 au versant nord du mont Tuggurt ,du essentiellement à la cassure et la chute des pousses puis chute des branches, donnant un aspect de flétrissement à cause du brunissement, et, avec un avortement total des bourgeons latéraux, après plusieurs remarques qu'on a effectuées sur le terrain, on a attribué que le dépérissement commence par la défoliation de la couronne d'arbre, ce phénomène a pour cause probable un lépidoptère défoliateur (*Thaumetopoea bonjeani Powell*).



Figure 17 : Courbure de la couronne



Figure 18 : Défoliation de la couronne

2.1.3. La décoloration des aiguilles : Les aiguilles passeront d'un jaune-verdâtre au rouge avant de tomber, Quand on dépouille les parties affectées, à l'aide d'un couteau, on constate que le bois a pris une coloration jaune verdâtre courbure des aiguilles

. On remarque aussi la brûlure des pousses la présence de divers dépôts sur les aiguilles tombées, avec les fructifications de chancres ou d'insectes à divers stades évolutifs, on remarque aussi un nanisme des aiguilles.

C'est un symptôme très remarquable au niveau des deux stations, on observe la mortalité des aiguilles qui se détachent facilement. Au versant sud le nombre d'arbres représentant ce symptôme, est supérieur au nombre d'arbre du versant nord 50 contre 56 sur les 60 arbres échantillonnés.

2.1.4. Enroulement des rameaux : on observe un raccourcissement des branches et les feuilles commencent à changer morphologiquement, le nombre d'arbres présentant ce

symptôme au versant nord est inférieur au nombre d'arbres présentant ce symptôme au versant sud.



Figure 19 : Décoloration des aiguilles

2.1.5. Décoloration des rameaux : est le résultat du dessèchement, ce qui induit la perte de vigueur, on peut le voir facilement sur un arbre dénudé de ses aiguilles totalement.

2.1.6. Dénudement des rameaux : on observe ce phénomène sur les arbres de différents états de dépérissement ce qui provoque des nécroses avec une apparence plus prononcée dans le versant sud.



Figure 20: Détachement de l'écorce

2.1.7. Chute des branches : ce phénomène indique la perte de la vigueur d'un arbre, et surtout un dessèchement qui facilite la cassure de ceux-ci provoquant des blessures qui peuvent devenir de nouvelles portes d'entrée pour les champignons avec toujours une différence entre le nombre d'arbres représentant ce symptôme dans les deux versants.

2.1.8. Décolorations des branches : on peut l'estimer seulement sur un arbre dépéris, ce qui indique les résultats obtenus au dessus.

2.1.9. Détachement de l'écorce : ce phénomène débute généralement à la base du tronc et peut s'étendre jusqu'à la cime ainsi que sur les branches principales de la cime.

Avec le temps, l'écorce se décolle graduellement de l'arbre et prend l'apparence d'une gaine qui recouvre le tronc pour ensuite se fendiller, se détacher et tomber au sol en formant de grandes plaques. Notant que dans certains cas l'écorce est presque absente, surtout sur des individus de petit diamètre

Le détachement de l'écorce du tronc obstrue les vaisseaux conducteurs de la sève et entraîne le dépérissement de la cime. Finalement, ces blessures facilitent l'introduction d'organismes secondaires qui contribuent à accélérer le dépérissement et la mort de l'arbre. Notant toujours la valeur élevée de ceux-ci au versant sud.

2.1.10. Cicatrices : elles sont le résultat des chutes de branches et certains plis sur l'écorce, facilitant ainsi l'apparition des ravageurs, Un bon moyen de réduire les risques d'infection est de limiter l'attrait que peut représenter un arbre pour les insectes vecteurs. Les scolytes qui viennent y pondre, se reproduire et se nourrir au niveau de l'écorce des arbres elles sont plus remarquables dans le versant sud à cause de leur taux très élevé de dépérissement.

2.1.11. Ecoulement de la résine : phénomène anormal c'est l'un des facteurs démontrant que l'arbre est affecté dans son système physiologique, il est moins détecté par rapport aux autres symptômes, Des renflements et des tumeurs chancreuses apparaissent ce phénomène s'observe sur un arbre au cours du dépérissement.



Figure 21 : Ecoulement de la résine



Figure 22: Apparition des agents pathogènes

2.1.12. La présence des ravageurs : l'estimation de ces derniers est un peu difficile, on les a seulement estimés à travers les traces qu'ils laissent sur le tronc (soit des petits trous dans l'écorce, ou les schémas de leurs galeries).

2.2 Evaluation du taux de dépérissement

D'après la méthode inspirée de celle de TREMBLAY (1999). Cette méthode est basée sur le pourcentage de défoliation, et elle comprend sept (07) classes de dépérissement ordonnées selon le taux de défoliation remarqué :

Donnant la valeur de un (1) à un arbre sain.

Et la valeur sept (7) à un arbre mort (complètement défolié). (Tableau XII).

Tableau XVI : Les classes de dépérissement accordées aux classes de défoliation de la couronne observées (%). (TREMBLAY, 1999)

Classe de dépérissement	Défoliation de la couronne (%)
1	0
2	1-19
3	20-39
4	40-59
5	60-79
6	80-99
7	100

Chaque arbre a été évalué qualitativement quant à son degré de dépérissement, Pour chacune des deux stations nous avons exprimé les paramètres suivant :

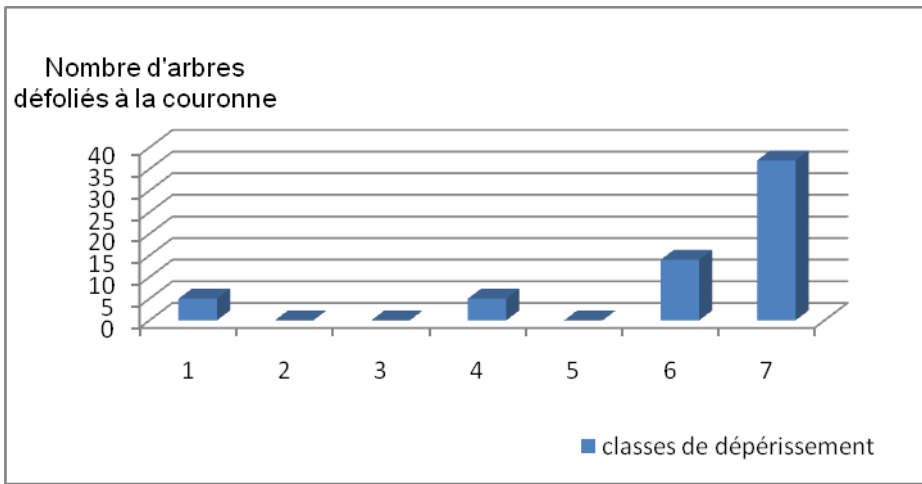


Figure 23: les classes de dépérissement versant nord

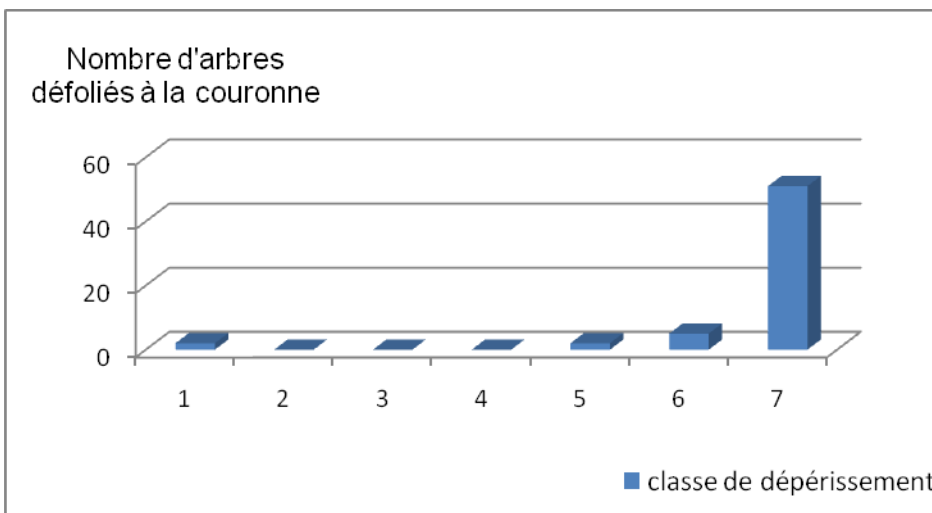


Figure 24 : les classes de dépérissement versant sud

2.2.1 Le taux de survie (%) :

Un individu est considéré comme ayant survécu, à la parcelle, lorsque son degré de dépérissement correspond aux classes 1 à 6.

Le taux de survie correspond au nombre d'arbres ayant survécu à la parcelle sur le nombre d'arbres échantillonnés par site.

$$\text{Le taux de survie} = \frac{\text{Nombre d'arbres survivus à la parcelle}}{\text{Nombre d'arbres échantillonnés}} \cdot 100$$

Pour le versant nord du mont Tuggurt

Le taux de survie :

Le nombre d'arbres survécus au site = 23 arbres

Le nombre totale d'arbres échantillonnés au site = 60 arbres

$$\text{Le taux de survie} = \frac{23}{60} \times 100$$

Le taux de survies est égal à : 38,33%

Donc, le taux du dépérissement = 100% - 38,33%

Le taux de dépérissement sur le versant nord du mont Tuggurt est égal à : 61,66%

Pour le versant sud du mont Tuggurt

Le taux de survie :

Le nombre d'arbres survécus au site = 9 arbres

Le nombre d'arbres échantillonnés = 60 arbres

$$\text{Le taux de survie} = \frac{9}{60} \times 100$$

Le taux de survie est égal à : 15%

Donc, le taux de dépérissement = 100% - 15%

Le taux de dépérissement sur le versant sud du mont Tuggurt est de : 85%

2.3 Conclusion

Le taux de dépérissement est massif sur tous le territoire de notre zone d'étude Une forte corrélation entre l'apparition des symptômes et ce taux du dépérissement, les premiers symptômes apparus sur un arbre est, la courbure de la couronne (courbe en cross), un jaunissement ou un roussissement des aiguilles, l'attaques des ravageurs, qui devient massifs ; ces attaques, se rencontre presque chez tous les arbres dépéris ou au cours du dépérissement ; ces résultats suggèrent que l'attaque des ravageurs est constitué un élément déclencheur dans l'apparition des symptômes. De plus, certaines observations sur le terrain, même si elles n'ont pas été mesurées, indiquent que l'apparition de ces ravageurs préfère les individus de petit diamètre. Avec des écoulements anormaux de la résine, et ensuite un dessèchement de l'écorce, se qui indique la mort total de l'arbre

Les facteurs stationnelles, jouent un rôle important sur l'augmentation du phénomène du dépérissement, plus la pente est forte, plus les conditions sont défavorables, et plus le taux du

dépérissement est élevée on constate une accentuation bien apparente sur le versant sud qui est exposé directement aux influences sahariennes, dont la plus perceptible est le sirocco, allant de la sécheresse, aux attaques d'insectes nuisible et aux maladies. Dans le cas présent, il apparait que ce phénomène est provoqué au départ par le stress hydrique qui s'est développé au sein des arbres ayant été sujet a un dysfonctionnement hydrique du au déséquilibre entre la transpiration et l'absorption de l'eau. les vieux arbres vieux peuvent être plus exposé de fait de leur grande taille (biomasse vivante) et leur physiologie affaiblit par l'âge et le stress.

3. Etude géomatique

3.1 Les indices de végétation

Les indices de végétation permettent de suivre l'état et la dynamique de la végétation. La plupart sont basés sur la combinaison des réflectances mesurées dans le domaine du rouge et proche infrarouge car il existe un lien direct entre la réponse dans le proche infrarouge et la quantité de biomasse verte (ou chlorophyllienne) ainsi qu'une relation inverse entre la réponse dans le visible (particulièrement dans le rouge) et la biomasse verte (BANNARI et al., 1995). Parmi eux le NDVI qui est facile à calculer et donc très utilisé, cependant il faut noter qu'il est sensible aux conditions atmosphériques et aux sols. Il risque aussi de saturer pour des couverts de végétation très dense.

3.1.1 Le NDVI

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) : est un indice de végétation qui repose sur une combinaison des réflectances mesurées dans le rouge (RED) ou les surfaces minérales ont de fortes réflectances et le proche infrarouge (PIR) ou la couverture végétale à de fortes réflectances (ROUSE et al. 1974). Permettant de résumer en une seule variable la quantité et la vigueur de la végétation, le NDVI est calculé selon la formule ci-après (TUCKER, 1979).

$$\text{NDVI} = (\text{PIR}-\text{R}) / (\text{PIR}+\text{R})$$

Où

PIR : correspond : à la bande du proche infrarouge

R : celle du rouge

3.2. Logiciel utilisé ENVI :

Le logiciel ENVI offre une très bonne visualisation des données et l'analyse des images ayant des tailles et des formats différents et peut tourner sur les plates formes suivantes :

- Les plates formes UNIX (SUN, DEC, IBN, SGI et HP), LINUX.
- Microsoft Windows 95, 98 et Windows NT sur 80386 processeurs.

Les développeurs du logiciel ENVI sont des scientifiques qui participent actuellement aux recherches concernant la télédétection ; ce qui fait de lui un produit en développement

perpétuel et qu'il soit ainsi enrichi par des fonctions multiples relatives à des problèmes et des thématiques variés.

La force du logiciel ENVI réside dans son approche de traitement d'image qui combine les techniques du (file-based) et (band-based) avec des fonctions interactives. Lorsqu'un fichier d'image est ouvert chaque bande est stockée dans une liste puis elle peut être manipulée par toutes les fonctions du système. Si plusieurs fichiers sont ouverts en même temps, on peut sélectionner les bandes qui vont être traitées.

ENVI affiche ces bandes en 8 ou 24 bit. Son groupe de fenêtres d'affichage consiste en 3 niveaux d'agrandissement (Normal image Windows, zoom Windows, et scroll Windows). Il permet de multiples superpositions facilitant ainsi la composition des images dans les différentes fenêtres d'affichage.

L'extraction et le lien (Link) spatial /spectral des données multi-bandes et hyper spectrales donnent à l'utilisateur une nouvelle façon de voir les données à haute résolution. ENVI offre aussi des outils interactifs pour visualiser et analyser des données vecteurs et des données attributives des SIG.

ENVI inclut toutes les fonctions de base pour le traitement d'image. Comme les outils de l'analyse spectrale, la transformation des données, le filtre, la classification, et la correction géométrique. ENVI ne limite pas le nombre de bandes spectrales à traiter c'est pourquoi ses outils sont utilisés pour les données multi-spectrales et hyper spectrales. Il inclut, également plusieurs fonctions permettant l'analyse des données radar.

En général, le logiciel dispose essentiellement de tous les outils nécessaires au traitement d'images dans différentes disciplines, et permet pour chacun de faire sa propre stratégie d'analyse.

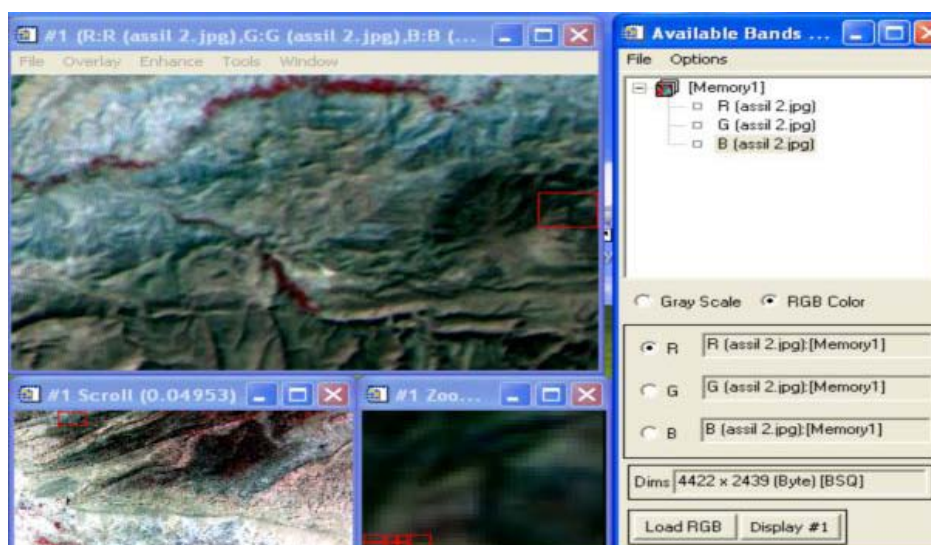


Figure25 : Image satellitaire sous ENVI 4.0

La figure16 représente la copie d'écran de l'image Landsat lue à l'aide du logiciel ENVI. Le logiciel ENVI a l'avantage de présenter l'image avec trois agrandissements.

3.3. Les différentes phases d'analyse d'image Landsat:

Le traitement d'image commence par l'extraction du secteur d'intérêt et la correction géométrique de l'image Landsat dans le système de référence UTM/WGS 91, fuseau 30.

Les techniques d'amélioration de contraste permettent ensuite d'augmenter la qualité visuelle de l'image. Avec les données restaurées, la classification automatique présente les données images en un certain nombre de domaines homogènes. Les compositions colorées, réalisées à partir de canaux bruts et la classification automatique servent de guide, lors de la campagne de reconnaissance du terrain.

a- La composition colorée : La composition colorée a été obtenue à partir d'une superposition de trois canaux (B1, B2 et B3) de la scène (figure17).

La composition colorée Landsat a été utilisée comme une image de départ afin de guider les traitements d'images, l'échantillonnage au sol et l'extraction des points d'appui pour une éventuelle correction géométrique.

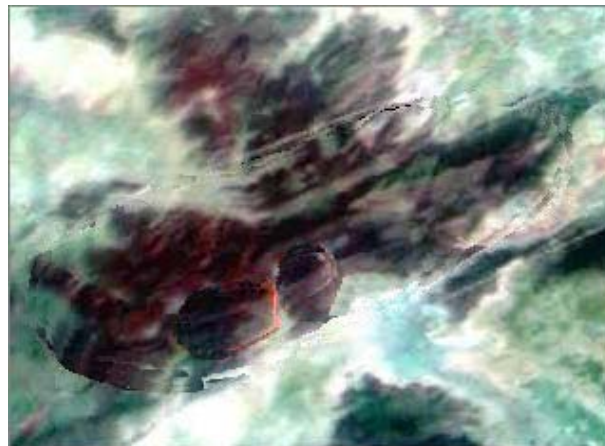


Figure 26 : La composition colorée de l'image Landsat

b- Correction géométrique :

Les corrections géométriques permettent de compenser en totalité ou une partie ces déformations de distorsion. Pour rendre le résultat superposable à un système de représentation cartographique, il est nécessaire d'appliquer une correction géométrique. Dans

cette étude, la rectification est effectuée par l'acquisition des points amers figurant à la fois sur la composition colorée et sur les cartes topographiques (projection UTM fuseau 30).

C- Classification de l'image : Les méthodes de classification ont pour objectif commun la découverte d'un estimateur assurant l'affectation d'une classe parmi c classes disponibles à un individu inconnu sur la base de la connaissance d'un ensemble de m caractères le décrivant (appelés attributs descripteurs) (BROSTAU, 2005). La classification appliquée est de type dirigé, c'est-à-dire basée sur la connaissance de la zone d'entraînement, ou parcelles-test, à travers des données de terrain. La signature d'une classe d'objets n'étant pas unique, dans la réalité, mais composée d'un certain nombre de signatures plus ou moins fréquentes.



Photo 27 : photos représentant le dépérissement du cèdre dans le Tuggurt

Pour la validation de la classification, nous avons estimé le pourcentage des pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test. La comparaison faite entre les synthèses numériques du NDVI du mois de juillet de chaque année (1991, 2000, 2010). 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. 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 trois dates sont croisées 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 les deux périodes (1991-2000) et (1991-2010).

La détection et l'identification des mutations dans la cédraie des monts de Tuggurt entre deux périodes différentes s'appuie sur l'exploitation des trois images (TM 1991 de Landsat-5 et ETM+ 2000 et ETM+2010 de Landsat-7, 30m). La détection des changements est précédée par des prétraitements d'amélioration géométrique et atmosphérique des images. La comparaison de l'indice de végétation normalisé (NDVI) généré pour les deux périodes (1991-2000) et (1991-2010) à permis d'établir les différents changements dans cette forêt. Hormis les espaces restés inchangés, les évolutions constatées sont classées selon les types suivants:

- Changements régressifs (diminution dans la radiométrie de l'image)
- Changements progressifs (augmentation de la radiométrie).

Le vert foncé traduit une augmentation de l'activité chlorophyllienne, le vert citron indique que la dynamique de la végétation est restée constante. En revanche, le rouge est synonyme de régression du couvert végétal.

3.4. Résultats et interprétation

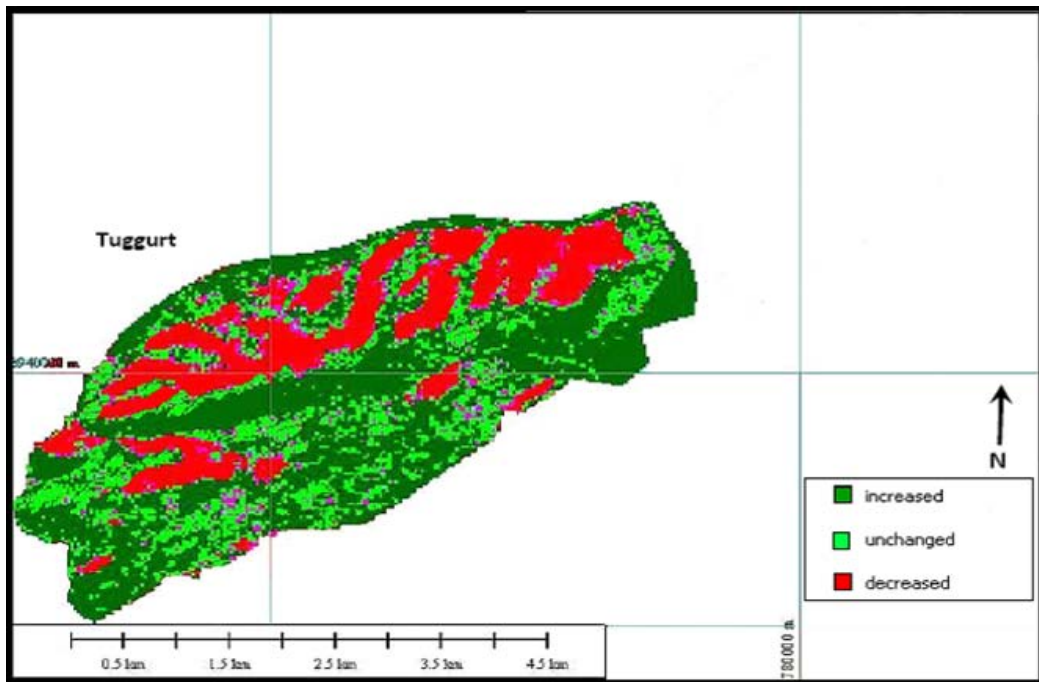


Figure 28 : Carte représentant le changement NDVI entre (1991-2000)

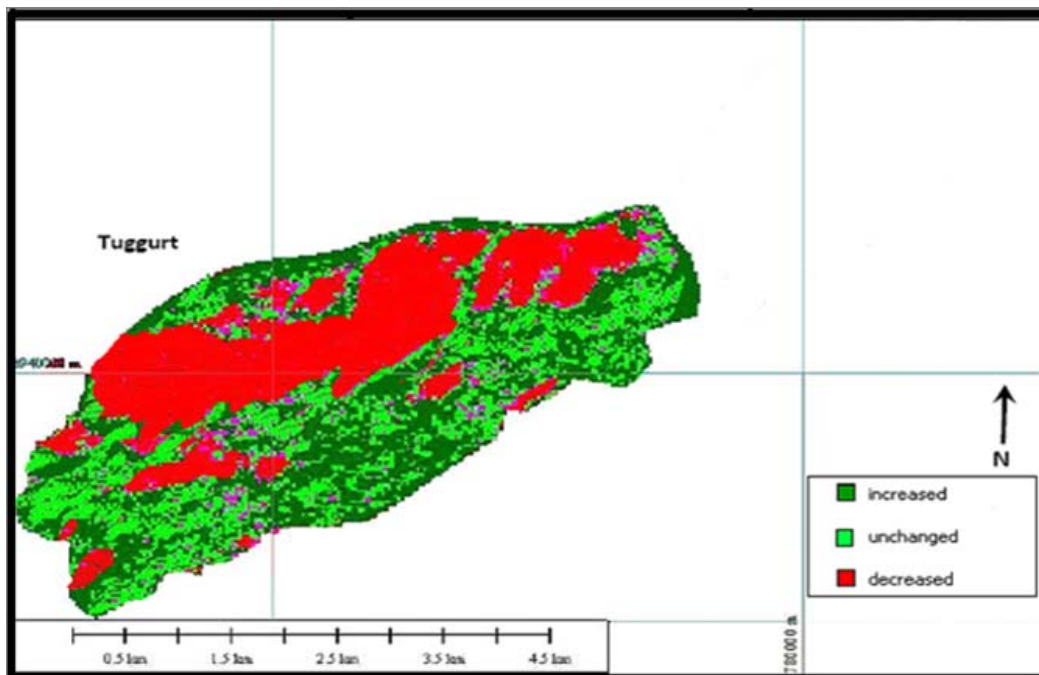


Figure 29: Carte représentant le changement NDVI entre (1991-2010)

Tableau XVII: résultats des analyses des changements des surfaces de la cédraie

Radiométrie	1991-2000			1991-2010		
	ha	pixels	%	ha	pixels	%
Progression	1011 ,8	868001	35,49	256,58	220114	9
Régression	623 ,49	53888	21,87	1358, 49	1165403	47,65
inchangé	1215 ,63	1042862	42 ,64	1233,04	1057783	43,25
somme	2850,92	2445742	100	2850,96	2445742	100

3.5. Interprétation des résultats

L'augmentation de la radiométrie désigne une activité chlorophyllienne plus importante et un gain de surface foliaire témoignant une bonne santé de la végétation tandis qu' une diminution de la radiométrie désigne une diminution de la quantité de chlorophylle qui peut être causée par le changement de la couleur des feuilles due au dépérissement causé par les attaques parasitaires et les insectes ravageurs qui impliquent une diminution de la surface foliaire totale des peuplements .

3.5.1 Pour la période (1991-2000)

La valeur du NDVI a augmenté sur une surface de 1011,8 ha soit 35,49 % de la surface totale qui est de 2850,92 ha et a diminué sur 623 ,49 ha, soit21,87 %tandis que le NDVI non changé sur une surface de1215 ,63 ha soit 42 ,64%.

3.5.2 Pour la période (1991-2010)

la valeur du NDVI a régressé sur une surface de1358, 49 ha soit47,65 % de la surface totale et on a enregistré une augmentation du NDVI de256,58 ha, soit 9%.tandis que le NDVI est resté stable sur une surface de1233,04 ha soit 43,25%.

D'après ces résultats on peut déduire qu'il y'a une grande perte de la surface de la cédraie du mont de Tuggurt durant les deux périodes et une intensification de la dégradation qui touche

surtout le nord du mont de Tuggurt où le cèdre est l'espèce dominante et se trouve en forte concentration, la dégradation est de plus en plus intense à partir des années 2000. D'après les résultats obtenus par BENTOUATI et BARITEAU, (2006) après les observations faites sur les carottes de cèdre laisse déduire que la sécheresse exceptionnelle de 2002 marque le début de l'accélération de ce dépérissement, entraînant le peuplement dans un nouvel épisode de déclin marqué par un rétrécissement contrasté des cernes de croissances. Durant cette année, il est enregistré une pluviométrie de l'ordre de 287 mm au niveau de la station de Batna, avec des précipitations hivernales très déficitaires.

Les zones où 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 avec une radiométrie plus au moins stable au sud caractérisant la présence du chêne vert.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, que nous avons mené, au sein du massif de Belezma, dans le but d'étudier l'évolution ou bien la dynamique de dépérissement du cèdre de l'Atlas, 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 périodes. 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 cette zone. 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 un état de dégradation avancé des sols, 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 massif de 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 écophysologique, 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.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDENDI, Z.E., 2003**-Le dépérissement des forêts au Maroc : analyse des causes et stratégie de lutte, *Sécheresse*, Vol.14, n° 4, pp. 209-218.
- ABDESSEMED, K., 1981**- Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif des Aurès et de Bélezma : étude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement. Université St Jérôme, Marseille, thèse de doctorat, 199 p.
- 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, pp.281-293.
- ANONYME., 2004** - Rapport de mission n°516/DPFF/DGF/04, 9 p.
- ANNONYME., 2005**- Lettre de Belezma n°9, 6 p.
- AUCLAIR, A.N.D., EGLINTON, P.D. et MINNEMEYER, S.L., 1997** - Principal forest dieback episodes in Northern Hardwoods: Development of numeric indices of areal extent and severity. *Water, Air and Soil Pollution*, n° 93, pp. 175-198.
- AUSSENAC, G. et FINKELSTEIN D., 1983** - Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. *Annales des Sciences Forestières*, Vol. 40, n° 1, pp. 67-77.
- AUSSENAC, G. et VALETTE J.C., 1982** - Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens*. *Annales des Sciences Forestières*, Vol. 39, n° 1, pp 41-62.
- BAGNOULS, F. & GAUSSEN, H., 1953** - Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat.*, Toulouse , pp : 193 - 239.
- BAIZE , D.,1988** - Guide des analyses courantes en pédologie. Edt. INRA. Paris. 172p.
- BAIZE , D., 2001** - Petit lexique de pédologie. Ed. Dunod. Paris. 331 p.

- BARITEAU, M., 1994**-L'amélioration génétique des cèdres en France. *Ann. Rec. For. Mar.* Numéro spécial (27), pp 463-473.
- BENABID, A., 1994**-Biogéographie phytosociologique et phytodynamique des cédraies de l'Atlas (*Cedrus atlantica* manetti). *Ann. Rech. For. Maroc* T(27), 61-76.
- BENHALIMA, S., 2006**- Les insectes Xylophages et leur rôle dans le dépérissement du cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* (ENDL) carrières dans le haut et moyen atlas (Maroc) travaux de L'institut scientifique, série zoologique n° 46, 63p.
- 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 Magist. In. Agr. Batna. 63 p
- BENTOUATI, A. et BARITEAU M., 2006** - Réflexion sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, Vol. XXVII, pp. 317-322.
- BENTOUATI, A., 2008** - La situation du Cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, Vol. XXIX, pp. 203-208.
- BLACK, C., et EVAN D., 1965**- Methods of soil analysis. Ed. *American Society of Agronomy*. Part 2, pp. 917-918.
- BOMPEIX, G., (1975)** - Effet des microorganismes sur la germination des semences et le Développement des plantules.
- BOUDY, P., 1950** - Economie forestière Nord Africaine : Monographie et traitements des essences forestières. Édition Larose, Paris, 878 p.
- BOUDY, P., 1952**-Guide du forestier en Afrique du Nord. Edition La Maison Rustique. 505 p.
- BOVEY, P., 1971**- L'impact de l'insecte déprédateur sur la forêt : la lutte biologique en forêt. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, HS .Vol. 3, 212p.
- CANDAU, J.N., 2008** - Impacts du changement climatique sur les insectes ravageurs des forêts méditerranéennes. *Forêt méditerranéenne*, Tome. XXIX, n° 2, pp. 145-154.
- CASPARY, H.J., 1991**- Forest decline and soil acidification as biospheric aspects of the hydrological cycle. *IAHS Publ.*, n° 204, pp. 485-494.

- CHARARAS, C., 1982** – Les insectes parasites des forêts. *La Recherche*. Vol.132 , n° 13 .pp 440-451.
- CSABA ,M.,1994-** Results of introduction trials with *Cedrus atlantica* in Hungary. *Ann. Rech.For. Maroc n° 27*, pp. 220-222.
- DAHMAN ,M., et KHOUJA, M. L., 1994-**Résultats des essais d'acclimatation du cèdre en Tunisie. *Ann. Rech.For. Maroc T(27) (spécial)*, pp129-137.
- DEBAZAC, E.F., 1964-** *Manuel des conifères*. Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy,pp.79-82.
- DELATOUR, C., 1983** – Les dépérissements de chênes en Europe. *Rev.For.Fr.*Vol. 35 n° 4, pp.255- 281.
- DEMARTEAU, M. ,2006 -**Réponse de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. Licence en sciences biologiques, université de Liège., 60 p.
- DUCREY, M.,1994** – Adaptation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au climat méditerranéen : Aspects écophysologiques de sa résistance à la sécheresse. *Annales de la recherche forestière au Maroc – 27 (Spécial)* Vol. 1. pp. 140-153.
- DUCHAUFFOUR, P., 2004-** Introduction à la science du sol, végétation, environnement.Edition Dunod. 83p.
- DUCHAUFFOUR, P., 1997-** Pédologie et classification des sols. Edition Masson, Paris. 477p.
- EMBERGER, L., 1955** - Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Lab. Bot. Geo. Zool ; Fac. Sci. Univ. Montpellier*, Fasc. 7, pp. 1 – 43.
- ESTIENNE, P. & GODARD, A., 1970** – Climatologie. Edition Armand Colin ; 365 p.
- FABRE, J.P., 1989-** Distribution spatiale de *Megastigmus suspectus* var. *pinsapinis Hoffm.* (Hym. Torymidae) sur *Cedrus atlantica manetti* dans un peuplement du sud-est de la France. Publié par *Forestry Canada, Pacific Forestry Center, Victoria, B.C.*, pp. 101-116
- FINKELSTEIN D., 1981** - Influence des conditions d'alimentation hydrique sur le débournement et la croissance de jeunes plants de Cèdres (*Cedrus atlantica* Manetti) cultivés en serre. *Ann. Sci. For.*,Vol. 38 n° 4pp. 513-530.

- GACHI, M., 1989-** Eco-biologie de la processionnaire du cèdre *Thaumetopoea bonjeani* Powel. (*Lepidoptera, Thaumetopoeidae*) en Algérie. Séminaire International de Biologie, Constantine. 13p.
- GARREC, J.P., KERFOURN, C., et LAITA, E., 1989** - Étude des surfaces foliaires des arbres dépérissants. *Ann. Sci. For.*, n° 46 : 547-552
- GARRIGUE, J., MAGDALOU, J. A. et HURSON, C., 2008** - Les effets de la canicule et de la sécheresse sur la forêt de la Massane (Pyrénées Orientales). *Forêt Méditerranéenne*, Tome. XXIX, n° 2. pp. 183-188.
- GRIEU, P.H. ., AUSSENAC, G. ., et LARHER, F., 1988** - Sécheresse édaphique et concentrations en quelques solutés organiques des tissus foliaire et racinaire de trois espèces de conifères : *Cedrus atlantica* Manetti, *Pseudotsuga macrocarpa* (Torr) Mayr, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Ann. Sci. For.*, Vol. 45, n° 4, pp. 311-322.
- GUEZLANE, A. ., 1982** - Observation sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas dans les Aurès. Rapport de mission, Batna, 4 p.
- GUIBAL, F. ,1984-**Contribution dendroclimatologique à la connaissance de la croissance du cèdre de l'Atlas dans les reboisements du sud-est de la France. Thèse Doct. 3ème cycle. Université d'Aix-Marseille III, 123 p + références.
- GUIBAL, F. ,(1985)-** Dendroclimatologie du cèdre de l'Atlas (*cedrus atlantica* Manetti) dans le sud-est de la France. *Ecologia Méditerranéenne*, T XI .VOL 4, pp.87-103.
- HALITIM, S., 2006-** Contribution à l'étude de la réserve utile en eau des sols de cédraies dans les Aurès : Influence des facteurs édaphiques, thèse magistère, option pédologie, université de Batna, 104p.
- HIROYUKI, Y., 2005-**Observation of riparian vegetation in western namibia by using ndvi and ndwi derived from spot-vegetation. *African Study Monographs* ; (Suppl.30), pp. 153-163.
- KACI, A., 2001-**Etude mycorhizienne des jeunes plantes de *cedrus atlantica* (End) Manetti, ex carrière élevé à la pépinière de Tagma (Kabylie). Ing Agronomie. Université TO. 102p.
- KHANFOUCI,M.S., 2005-** Contribution a l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le massif du Belezma. Thèse Magistère . Université de Batna. 249p.

- LAABED, A ; 2002** -la gestion intégrée des aires protégées l'exemple du parc national de Belezma . 110p.
- LANDMAN ,G., 1994** -Concepts, définitions et caractéristiques générales des Dépérissements forestiers. *Rev. For. Fr. Vol. XLVI , n° 5*, pp : 405-415.
- LANDMANN,G., BREDA, N., HOULLER, F., DREYER, E. et FLOT, J.L.,2003-** sécheresse et canicule de l'été 2003 : Quelles conséquences pour les forêts françaises ?- *Revue Forostière française. Vol.LV, n° 3*, pp. 299-306.
- LASRAM ,M., 1994** - Discours d'ouverture du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas, Ifrane (Maroc) du 7-11 juin 1993. *Ann. Rech. For. Maroc, 27 (special)*, XXXV-XXXVI.
- LE HOUEROU, H.N., 1985-** Aspects météorologiques de la croissance et du développement végétal dans le déserts et les zones menacées de désertification .Organisation météorologiques mondiale, pp.1-68.
- LE MEIGNEN, P. et MICAS,L., 2008** - Bilan des dépérissements forestiers dans les Alpes-de Haute-Provence. *Forêt méditerranéenne. Tome. XXIX, n° 2*, pp . 177-182.
- LEBOURGEOIS,F.et BECKER,M., 1996** -Dendroécologie du pin laricio de Corse dans l'ouest de la France. Évolution du potentiel de croissance au cours des dernières décennies. *Ann. Sci. For. n° 53*, pp. 931-946.
- MAUGARD, F., 1992** - L'action des pathogènes d'équilibres sur les jeunes peuplements en état de faiblesse. *La Santé des Forêts.*, pp. 43-44.
- MEDIOUNI, K. et YAHY, N., 1994-** Phytodynamique et autoécologie du *Cedrus atlantica* dans le Djurdjura. *Ann. Rech. For. Maroc. Tome27 (Spécial).*, pp. 77-104.
- MESSAT ,S.,1994-** Modèle matriciel pour la croissance des futaies jardinées ou irrégulières de *cedrus atlantica* (manetti): cas de la foret du Seheb au moyen atlas du Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc, T (27)*, pp.313-319.
- M'HIRIT, O. ,1994** - Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Mediterranea « Le Cedre ». *Ann. Rech.For.Maroc T(27) (spécial)*, pp.3-21.

- M'HIRIT, O. ,1994** - Croissance et productivité du cèdre: Approche multidimensionnelle de l'étude des liaisons stations productions. *Ann. Rech.For.Maroc* T(27) (spécial), pp.295-312.
- MOORE, J.D., 1999** - Effets du chaulage sur la nutrition, la vigueur et la croissance de l'éraable à sucre à la station forestière de Duchesnay. Mémoire es Science (M.Sc.), Univ., Laval, Canada, 60 p.
- MOUNA, M., 1994-** Etat des connaissances sur l'entomofaune du cèdre de l'atlas (*cedrus atlantica* Manetti) au Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc*, (1994), Tome 27, pp. 513-526.
- NAUDET ,V. ,2007-**La production de plants de cèdre en France. *Forêt-entreprise*, n°174, p 39.
- Nedjahi, A., 1988** -La cédraie de Chréa. (Atlas Blideen) : Phénologie, productivité,régénération. Thè. Doc. Univ. De Nancy. 184p.
- PNB ., 2007** - Dépérissement du Cèdre de l'Atlas au Parc National de Bélezma (historique, évaluation et perspectives). Parc National de Bélezma et Direction Générale des forêts, Batna,6p.
- QUEZEL ,P. , 1980** - Le peuplement végétal des hautes montagnes d'Afrique du nord. Ed.Le chevalier. pp: 205-256.
- QUEZEL ,P. ,1998-** Cèdres et cédraies du pourtour méditerranéen : significationbioclimatique et phytogéographique. *Forêt méditerranéenne*, T.XIX, n°3, pp.243-255.
- RAMADE, F., 1984-**Eléments d'écologie- écologie fondamentale. Edition Mc Graw-Hill, Paris, 397 p.
- RICE, R.M. and LEWIS, J., 1988** - Potential Streamflow Changes from Forest Decline Due to Air Pollution. *Tagungspublikation*, n° 1, pp 51-65.
- RIOU-NIVERT, P.,2007-** Fiche extraite de la Flore forestière française T III région méditerranéenne. *Forêt- entreprise*, n°174, pp.14-16.
- Roche,E., 2006** : Palynologie de la région méditerranéenne. Université de Liège. Notes de cours, inédit
- ROUAULT, G., CANDAU, J.N., LIEUTIER, F., NAGELEISEN, L.M ., MARTIN, J.C. and WARZÉE, N., 2006** - Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Ann. For. Sci.* n° 63 .pp.613–624.

- SCHOENENBERGER, A ., 1970-** Etude du couvert forestier de l'Aurès, Catalogue des espèces vasculaires et inventaires des espèces pastorales. « Projet Algérie15 ». 30 p.
- SEGUIN, B., 2008-** Impact du changement climatique sur les écosystèmes naturels, *Remote Sensing Reviews*, n° 13, pp. 95 -120
- SELTZER, P., 1946-***Climat de l'Algérie*. Institut national de météorologie et physique du globe université d'Alger ,219 p.
- THOMAS, A.L., GÉGOUT, J-C., LANDMANN, G., DAMBRINE, E. and KING, D., 2002 –** Relation between ecological conditions and fir decline in a sandstone region of the Vosges mountains (northeastern France). *Ann. For. Sci.* n° 59, pp.265–273.
- TOTH, J., 1970-** Plus que centenaire et plein d'avenir : Le cèdre en France. *R.F.F* . Vol. XXII, n°3, pp.355-364.
- TOTH, J., 1973-** Contribution à l'étude de la dissémination des graines de cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) sur la face sud du Mont-Ventoux (Vaucluse). Document interne n°6 , 31 p.
- TOTH, J., 1978-** Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas dans le Sud de la France. Thèse doctorat, Fac des sciences et technique de Marseille 136 p.
- TOTH ,J., 1983 -**La prévision et l'estimation des récoltes de cônes de cèdre de l'Atlas. Document interne n°1 -1983, 12 p.
- TOTH, J., 2005-**Le cèdre de France. Etude approfondie de l'espèce. Edit. L'Harmattan, Paris, 207 p.
- TREMBLAY, V ., 1999-** Dendroécologie du dépérissement du bouleau blanc *betula paryrifera* marsh après coupe forestière dans la réserve faunique des laurentides. Thèse magistère ,université Laval Canada 124p.
- TUCKER, C.J., 1979-** Red and photographic infrared linear combinations for monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment* n° 8, pp.127-50.
- VARELA, M. C., 2008 -** Dépérissement des peuplements de chêne-liège et changement climatique. *Forêt méditerranéenne*. t. XXIX, n° 2, pp. 209-212.

WALTERS G. M. and MC CARTHY B.C., 1997 - Forest Decline and Tree Mortality in a Southeastern Ohio Oak-Hickory Forest. *Ohio J. Sci.* Vol. 97 n° 1, pp.5-9.

ZIANI DJEBBAR, S., (2007)-Etude bibliographique sur le cèdre de l'Atlas, DES en biologie Université Mouloud MAMMARI, TO.134 p.

ZINE EL ABIDINE, A., 2003 – Le dépérissement des forêts au Maroc : analyse des causes et Stratégie de lutte. *Sécheresse* (Paris), Vol.14, n° 4, pp. 209-218.

ANNEXES

Annexe I

Tableau I : Moyenne mensuelle des précipitations (en mm)

Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Tot
1950	52,1	24,1	48,3	92	68	2	6,4	1,2	34	3,5	69,7	40	439,3
1951	13,5	30	33,5	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	10,3	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	91,65	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	1	15,5	46,4	0	22	0	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	53	42,5	394,4
1991	9,4	31	108,4	19	16	28	0	0	8	79	7	28	305,8
1992	52,1	24,1	48,3	92	68	2	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	0	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
1998	30,5	6	15	19	6,5	19,5	4,5	2,5	23,5	8,5	14,7	5	155,2
1999	0,8	4	0,4	92	15,6	9	0	0	12	8,5	51,5	27,5	221,3
2000	53	29	11	51,5	4	11,7	6,2	25	38,5	79,5	75,5	77,8	456,5
2001	6	3	4,6	3,7	49	28,5	2,9	23,5	35,5	7	9,5	40	205,7
2002	95,5	15,5	15	4	51,5	0	4	12	53	12	17,5	7	273,5
2003	16,5	4,5	13,5	36,5	16,5	17	4	16,3	31,00	18,5	71,4	29,6	244,3
2004	95	23	17,5	115	31	26,8	2,7	15,5	28	68,3	93	90,5	606,3
2005	30,3	15,5	78	60	82,5	63,5	5,5	44,5	11,5	27	135,5	132	680,3
2006	21,5	70,5	26	55	4	27	16,6	4,5	22,5	11,5	69	44	355,5
2007	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
2008	15	39	56,3	44	12	0	0	10	56,7	22,6	4,9	43,1	303,6
2009	10,2	3,5	42	9	72,5	29,2	18	5,5	47,1	16,9	28	72,5	354,4
2010	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	Moy
1972	4,5	6,6	8,65	8,95	12,15	20,75	23,05	22,9	18,2	12,85	9,95	5,2	12,82
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	10,3	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	10,9	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	5,08	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
1995	5,3	9	8,2	10,9	18,2	22,5	26,1	24,2	20,6	15,7	10,7	9,2	15
1996	8,6	6,2	9,6	11,8	16,5	19,8	24,8	26,4	19,2	13,9	11,5	9,3	14,8
1997	7,6	8,2	8,4	12,1	19,6	25,8	26,6	25,4	20,6	16,1	11,3	7,7	15,8
1998	6,1	7,5	8,8	13,8	16,5	23,5	26,8	25,7	23	14,7	10	5,5	15,2
1999	6,7	5	9,5	13,6	21,6	25,7	26,1	29,2	23,6	19,2	9,9	6,8	16,4
2000	3,8	7,2	10,8	15	20,7	22,9	27,1	25,8	22,2	15,5	11,3	8,2	15,9
2001	7,3	6,7	14,7	12,8	18,8	24	27,7	26,6	22,5	20,3	10,6	5,8	16,5
2002	5,3	8	11,4	14,8	19	24,4	26,6	25,5	21,2	17,2	11,7	8,3	16,1
2003	6	6,1	10,1	13,9	18	24	28,3	26,6	21,4	18,6	11,5	6,2	15,9
2004	6,1	8,3	10,4	11,5	15	21,1	25,4	27,5	21,1	19	9,3	7,1	15,1
2005	3,4	4,2	10,8	13,4	19,9	23,9	28,1	25,5	21,2	16,8	10,7	6	15,3
2006	4,5	6,3	10,9	15,7	20,1	24,7	26,5	25,8	20,4	18,6	11,2	6,8	15,9
2007	6,6	8,4	8,8	13,5	17,8	25,4	27,1	26,9	21,1	16,6	9,4	9,4	15,9
2008	6,4	7,9	9,9	14,6	19,3	22,7	28,4	26,8	22,2	16,2	9,4	5,6	15,8
2009	6,2	6,1	9,5	11	17,6	23,6	29,2	26,7	20,4	15,3	10,8	9,4	16,3
2010	7,6	4,8	10,2	10,3	18,1	23,9	28	28,3	19,4	18,5	8,9	8,8	16,1

Annexe II

Fiche descriptive

Station :

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 :

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.

The 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.

We calculated the different symptomatic With Tremblay methods

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*, 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 والارتفاع المؤثرة على هذه الظاهرة.

مؤشر الغطاء النباتي NDVI سمح تحليل صور الأقمار الصناعية و تحديد التغيرات في مساحة الغابات وتقدير حجمها.

قمنا بحساب نسبة السقم توازيا مع الإرتفاع والتعرض والتربة لعدة مناطق في غابة بلزمة وأظهرت النتائج إختلاف هذه النسبة من منطقة إلى أخرى.

طريقة ترومبلي (trembley) لحساب نسبة السقم حسب أعراض شجرة الأرز الأطلسي بينت تدهور حالته .

المناخ، في السنوات العشر الماضية ، لم يكن مواتي جدا لنمو الأرز الأطلسي.أظهرت الدراسة أن غابات الأرز في بلزما تذبل تدريجيا بالتوازي مع تدهور المناخ، وأن التعرض الجنوبي له تأثير كبير على الأرز.

كلمات البحث : الأرز الأطلسي ،بلزمة ، الذبول ، الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافي