

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ibn Khaldoun –Tiaret–

Faculté Sciences de la Nature et de la Vie

Département Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Biodiversité et écologie végétale

Présenté par :

M^{me}. ARAB Amina

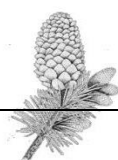
Thème

**Etude de la croissance et la vitalité des
peuplements du cèdre d'Atlas dans le Parc
National de Theniet El Had (wilaya de
Tissemsilt)**

Soutenu publiquement le 04/10/2020

Jury :	Grade
Président : ZEDEK M.	MAA
Encadrant : SARMOUM M.	MCA
Examinatrice : BOUAZZA KH.	MCB

Année universitaire 2019-2020



Remerciements

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

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

Ma haute gratitude à mon promoteur M^r SARMOUM M. pour avoir accepté de m'encadrer, Pour ses orientations, sa disponibilité, son aide et ses conseils qui m'en ont été très précieux.

Merci pour avoir su diriger et superviser ce travail, tout au long de sa progression.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à Monsieur le Professeur M^r ZEDDAK M. qui m'honore en acceptant de présider le jury

M^{me} BOUAZZA Kh. qui m'a beaucoup aidé en mettant à ma disposition une riche bibliographie sur le cèdre de l'Atlas et qui a bien voulu accepter d'examiner ce travail.

Mes vifs remerciements pour sa générosité, sa sympathie, et son esprit très humain.

Je tiens à remercier spécialement mon mari M^r. SAHNOUNE Ismail pour ses encouragements et son soutien moral.

Mes remerciements vont également à : M^r DAHMANI Walid, MEZIANE Roufaïda, KHADIR Meriem, BOULILA Imane, MENAD Marwa et mon oncle LARBI Mohamed pour leurs aides et encouragements.

Je tiens également à remercier en cette circonstance, tous les enseignants du département de science de la nature et de la vie de l'Université de Tiaret, pour leurs encouragements et leur soutien moral.

Sans oublier toute l'équipe du laboratoire écologie forestière.

Enfin, j'exprime toute ma sympathie à tout le personnel administratif du parc national de Theniet El Had.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, je dis merci.



Dédicaces

Avant tout je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donnée la santé, la volonté et la patience pour achever cet humble travail.

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents, pour leurs encouragements et prières dans les moments les plus difficiles, que Dieu les protège.

Mes très chers frères et sœurs qui n'ont jamais été absents dans les moments sublimes de ma vie.

Mon cher mari Ismail, qui prend en charge ma mauvaise humeur, mes problèmes et qui pourtant est toujours à mon côté.

Toute ma grande famille ARAB et spécialement ma tante Zohra pour son soutien.

Ma précieuse grand-mère et toute la famille BOUMAAZA.

Mes cousines, Fatima, Imane, Narimene et Sabrina.

Mes sœurs non biologiques, Roufaïda, Meriem, Marwa, Imane, Chaima et Aïcha.

Toutes mes amies et surtout à celle qui m'a donné la chance d'être parmi vous, mon amie d'enfance Samia Mecheri.

Tous mes collègues de la promotion Biodiversité et écologie végétale (2019/2020).

La mémoire de notre professeur BENAICHATA Lazreg qui nous a quitté cette année, qu'ALLAH l'accueille dans ses vastes paradis.

Amina.



SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION	1
Chapitre I : généralité sur le cèdre de l'Atlas	
1. Généralités	3
2. Le cèdre de l'Atlas (<i>Cedrus atlantica</i> Manetti)	4
2.1. Taxonomie du cèdre d'Atlas	4
2.2. Phytogéographie du cèdre en Algérie	4
2.3. Répartition géographique	5
2.3.1. Aire naturelle	5
2.3.2. Aire d'introduction	6
2.4. Caractéristiques biologiques et botaniques	6
2.5. Ecologie de l'espèce	8
2.5.1. Facteurs topographiques	8
2.5.2. Facteurs climatiques	8
2.5.3. Facteurs édaphiques	11
2.5.4. Facteurs biotiques	12
2.6. Caractéristiques écophysiological	12
2.7. Biodiversité du cèdre	12
2.7.1. Richesse floristique	12
2.7.2. Richesse faunistique	13
2.8. Ennemis et causes de dégradation	13
3. Le dépérissement	14
3.1. Historique	14
3.2. Définition	15
3.3. Les symptômes du dépérissement	15
3.4. Causes du dépérissement	15
4. Usages et intérêts	16
5. Statut du cèdre de l'atlas	16
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude	
1. Historique	18
2. Localisation de la zone d'étude	18
2.1. La cédraie du parc national de Theniet El Had	19
2.1.1. Phytogéographie	19
3. Géologie	19
4. Pédologie	20
5. Hydrologie	20
6. Climat	20
6.1. La température	20
6.2. Pluviométrie	20
6.3. Vent	20
6.4. L'enneigement	21
7. Topographie	21
7.1. Altitude	21



7.2. Pente	21
7.3. Exposition	21
8. Biodiversité	21
8.1. Diversité floristique	21
8.2. Diversité Faunistique	22
8.3. Diversité des habitats	22
Chapitre III : Matériels et méthodes	
1. Echantillonnage	23
1.1. Choix de stations écologiques	23
1.2. Le choix des arbres	24
2. Collecte de données sur terrain	24
2.1. Données mésologiques	24
2.2. Données dendrométriques et Prélèvement du matériel végétal	25
2.2.1. Les mesure dendrométrique	25
2.2.2. Le carottage	27
3. Traitement des échantillons	28
4. L'interdatation	30
5. Mesure de la largeur totale des cernes	30
6. Analyse des données	31
6.1. analyse qualitative et vérification des épaisseurs des cernes	31
6.1.1. Courbes élémentaires	32
6.1.2. Courbes individuelles	32
6.1.3. Courbes maîtresses	32
6.2. Analyse quantitative et statistiques des séries de cernes	32
6.2.1. La sensibilité moyenne	32
6.2.2. l'épaisseur moyenne des cernes	33
6.3. Standardisation des épaisseurs des cernes	33
6.3.1. Standardisation par Les moyennes mobiles	33
6.3.2. Calcul des indices de croissance	34
6.3.3. Recherche des années exceptionnelles de la croissance	34
7. Impact de la sécheresse sur la croissance et la vitalité du cèdre de l'Atlas	35
Chapitre IV : Résultats et discussions	
1. Analyse des données brutes	37
1.1. Analyse qualitative des épaisseurs des cernes	37
1.1.1. séries élémentaires	37
1.1.2. séries individuelles	37
1.1.3. séries de synthèse	38
1.2. Analyse quantitative des épaisseurs brutes de cernes	39
1.2.1. Epaisseur moyenne des cernes	39
1.2.2. La sensibilité moyenne	40
2. Analyse des données standardisées	40
2.1. Les années exceptionnelles de la croissance	41
3. Impact de la sécheresse sur la croissance et la vitalité	41
3.1. Les indices de résilience	42
3.1.1. Indice de résistance	42
3.1.2. Indice de récupération	43
3.1.3. Indice de résilience	43
3.1.4. Indice de résilience relative	44
CONCLUSION	45
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	



RESUME



Liste des figures

Fig.1- Répartition Actuelle du cèdre de l'Atlas dans l'Afrique du Nord.	6
Fig.2- Caractères dendrologiques du cèdre de l'Atlas.	8
Fig.3- Aire de répartition du Cèdre de l'Atlas en Algérie sur le climagramme d'EMBERGER.	9
Fig.4- Carte de situation du parc national de Theniet El Had Wilaya de Tissemsilt.	18
Fig.5- Carte de Localisation du Parc national de Theniet El Had.	19
Fig.6- Vue d'ensemble de la station écologique du canton Pépinière.	23
Fig.7- Matériel utilisé pour les mesures dendrométriques et le carottage des arbres.	25
Fig.8- Mesure de la hauteur totale par le dendromètre Blume-Leiss.	25
Fig.9- Mesure de la circonférence par un mètre ruban.	26
Fig.10- Arbre dépéri.	26
Fig.11- Carottage des arbres par tarière de Pressler.	28
Fig.12- Collage des carottes dans les réglettes.	28
Fig.13- Matériel utilisé pour l'interdatation.	29
Fig.14- Planage des carottes au laboratoire.	29
Fig.15- Ponçage des carottes.	29
Fig.16- L'interdatation des carottes par la loupe binoculaire.	30
Fig.17- Mesure de la largeur des cernes par une loupe graduée.	31
Fig.18- Comparaison des épaisseurs des cernes de deux séries élémentaires d'un même arbre.	37
Fig.19- Comparaison des séries individuelles d'une même station.	38
Fig.20- Variations des épaisseurs des cernes annuelles du cèdre de l'Atlas dans la chronologie de synthèse avec ajustement polynomial.	39
Fig.21- Variations des épaisseurs des cernes annuelles du cèdre de l'Atlas dans la chronologie de synthèse standardisée par moyennes mobiles.	41
Fig.22- Variations de la croissance avant, pendant et après les années de sécheresse.	42
Fig.23- Indice de résistance de la population du cèdre d'Atlas dans la zone d'étude.	42
Fig.24- Indice de récupération de la population du cèdre d'Atlas dans la zone d'étude.	43
Fig.25- Indice de résilience de la population du cèdre d'Atlas dans la zone d'étude.	44
Fig.26- Indice de résilience relative de la population du cèdre d'Atlas dans la zone d'étude.	44



Liste des tableaux

Tableau.1- caractères biologiques des quatre espèces de Cèdre.	3
Tableau.2- Caractéristiques ombrothermiques du cèdre de l'Atlas.	10
Tableau.3- Synthèse des principales données climatiques concernant les cédraies Algériennes.	10
Tableau.4- Caractéristiques générales de la station d'étude.	24
Tableau.5- Récapitulatif des données dendrométriques de la station d'étude.	27
Tableau.6- Paramètres statistiques calculés pour les individus de la population.	39



Liste des abréviations

T° : température

M : température maximale

m : température minimale

UICN : union international pour la conservation de la nature

PNTEH: Parc national de Theniet El Had

EMC : Epaisseur moyenne des cernes

SM : Sensibilité moyenne

DGF : direction générale des forêts

NNE : Nord-Nord Est

Ca : *Cedrus atlantica*

MMC : moyenne mobile centrée



INTRODUCTION



Introduction

Le cèdre de l'Atlas ou *Cedrus atlantica* est une espèce emblématique, symbolise la noblesse, la majesté, la force et la fierté régionale et nationale notamment pour les pays constituant son aire naturelle. Elle est endémique aux hautes montagnes de l'Algérie et du Maroc où elle occupe une aire de distribution très morcelée (Emberger, 1938 ; M'herit et Benzyane, 2006 ; Demarteau et *al.*, 2007).

L'espèce a été introduit par la suite dans quelques pays européens comme espèce de reboisement grâce aux ses facultés d'adaptation (M'herit, 1999 ; M'herit et Benzyane, 2006 ; Demarteau et *al.*, 2007).

La production de bois de qualité, la protection des sols, la diversité écobioologique, la majesté et la longévité du cèdre lui confèrent de nombreux atouts : écologique, éco-touristique, économique et forestier (M'herit, 1999 ; Demarteau et *al.*, 2007 ; Bentouati, 2008 ; Messaoudene et *al.*, 2013). C'est sans doute pour toutes ces raisons que l'Algérie considère le cèdre de l'Atlas, comme espèce végétale qui mérite d'être protégé avec soin pour les générations futures (Décret n° 05-12 du Janvier 2012 fixant la liste des espèces végétales non cultivées protégées).

A l'heure actuelle, la situation du cèdre de l'Atlas dans son aire d'origine est bien triste. Plusieurs cédraies marocaines et algériennes sont menacées de disparition. Cette situation résulte de l'interaction de plusieurs facteurs : conditions climatiques défavorables, actions anthropiques (incendies, défrichage, surexploitation), attaques des insectes ravageurs et les traitements sylvicoles inadéquats (Bentouati, 2008 ; Yahi et *al.*, 2008 ; Messoudene et *al.*, 2013).

Parmi les causes de dégradation, le phénomène de dépérissement qui est apparu depuis les années 1980 dans certaines cédraies dont les causes de ce fléau sont multiples et méconnues (Bentouati et Bariteau, 2006). Plusieurs hypothèses ont été proposées tel que : les attaques des parasites, les conditions mésologiques difficiles et le réchauffement climatique ressenti ces dernières décennies par la diminution des précipitations et l'augmentation de la température estivale, qui est particulièrement inquiétant pour la survie et le maintien naturel de nombreuses espèces forestières dont le cèdre de l'Atlas (Bentouati et Bariteau, 2006 ; Sarmoum, 2008 ; Messoudene et *al.*, 2013 ; Talbi et Bouhrawa, 2015). En vue de la dégradation des cédraies et des contraintes qu'elles subi, l'UICN figure l'espèce sur la liste rouge des espèces menacées en danger depuis le 07/02/2013 (UICN, 2013).

Il est devenu donc nécessaire d'approfondir les connaissances sur les causes de dégradation des cédraies algériennes et proposer des solutions en vue de leur conservation durable. Notre travail s'inscrit dans ce contexte. Il vise à étudier la croissance et la vitalité du cèdre de l'Atlas sur une chronologie longue afin de connaître les facteurs responsables sur le déclin de la croissance et comprendre la repense de l'espèce face à la sécheresse.



Notre travail est mené dans la cédraie de Theniet El Had. Au préalable, plusieurs stations écologiques ont été choisies, mais la situation sanitaire liée à la pandémie du COVID19 et les conditions de confinement nous ont obligé de limiter le travail à une seule station écologique celle du canton pépinière.

Nous présentons dans ce mémoire deux parties ; la première, étant la partie bibliographique, composée de deux chapitres, le premier permet de se renseigner sur l'état des connaissances acquises sur les différents aspects du cèdre et le deuxième parle de la zone d'étude et la cédraie de Theniet El Had.

La deuxième partie, étant la partie expérimentale, composée aussi de deux chapitres, le premier précise les conditions d'étude et la méthodologie suivie ; le deuxième est consacré aux résultats obtenus et leurs commentaires.

Enfin nous terminons ce modeste travail par une conclusion et des perspectives.



Partie bibliographie
CHAPITRE 01
Généralités sur le Cèdre de
l'Atlas



1. Généralités

L'existence du genre *Cedrus* est très ancienne, révèle certainement au tertiaire (Emberger, 1938 ; M'hirit et Benzyane, 2006). Le cèdre est une essence noble, voire un symbole de majesté, de force et de fierté régionale et nationale (El Azzouzi et Keller, 1998).

Dans l'ensemble, quatre 4 espèces font partie du genre *Cedrus* (Emberger, 1938 ; M'hirit, 1999) :

-le cèdre de l'Atlas ou *Cedrus atlantica* Manetti en Afrique du Nord

-le cèdre du Liban ou *Cedrus libani* A. Rich. En Asie mineure, au Liban et en Turquie

-le cèdre de Chypre ou *Cedrus brevifolia* Henry qui ne couvre que quelques dizaines d'hectares dans l'île de Chypre.

-le cèdre de l'Himalaya ou *Cedrus deodara* G. Don. Qui peuple une partie de l'Inde, de l'Afghanistan sur le Nord-Ouest de l' Himalaya.

Les caractères biologiques des différentes espèces appartenant au genre *Cedrus* sont décrits au tableau N°01.

Tableau N°01 : caractères biologiques des quatre espèces de Cèdre (Toth, 2005).

Espèces		<i>C. atlantica</i>	<i>C. libani</i>	<i>C. brevifolia</i>	<i>C. deodara</i>
Taille des aiguilles (cm.)		1,5 à 2,5	1,5 à 3,5	0,5 à 1	3 à 5
Cônes	Longueur (cm)	5 à 8	8 à 10	5 à 7	9 à 12
	diamètres (cm)	3 à 5	4 à 6	3 à 4	5 à 7
Graine	longueur (cm.)	0,8 à 1,3	1 à 1,4	0,8 à 1,4	1 à 1,5
	envergure (cm)	2,5 à 3,5	3,5 à 4	3 à 4	3,5 à 4,5
Epoque de pollinisation		mi – septembre	mi - septembre	début septembre	début novembre
Durée de maturité		2 ans	2 ans	2 ans	1 an



2. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti)

Cedrus atlantica ou Cèdre de l'Atlas, appelé aussi cèdre bleu n'est pas l'espèce la plus importante des réalités naturelles d'Afrique du Nord mais c'est certainement une des plus prestigieuses. Elle symbolise la noblesse, la majesté, la force et la fierté régionale et nationale pour les pays constituant son aire naturelle (le Maroc et l'Algérie). Son nom est définitivement associé à la chaîne de l'Atlas et ça traduit toute son importance (M'hirit et Benzyane, 2006 ; Tassin, 2012).

2.1. Taxonomie du cèdre d'Atlas

Cette espèce est rangé dans : (Toth, 2005 ; Demarteau et *al*, 2007)

- Embranchement : des Spermaphytes (plantes à graines).
- Sous embranchement : des Gymnospermes (plantes à ovules).
- Classe : des Vectrices.
- Ordre des Coniférales.
- Famille des Pinacées.
- Sous-famille des Abiétacées.
- Genre : *Cedrus*.
- Espèce : *Cedrus atlantica*.
- Nom commun : Cèdre de l'Atlas.
- Nom anglais : Atlas Cedar.
- Nom arabe : Meddad, El Arz.
- Nom berbère : Begnoun, inguel, Idil.

2.2. Phytogéographie du cèdre en Algérie

Selon Yahy et *al.*, (2010) :

- Les cédraies de l'Atlas tellien se situent dans :

Le domaine : mauritanien méditerranéen.

Secteurs : numidiens (K1, K2), algérois (A1) et secteur du Tell méridional (A2).

- Celles de l'Atlas saharien sont rattachées au :

Domaine : mauritanien steppique.

Secteur : du Sud constantinois (AS3).



2.3. Répartition géographique

2.3.1. Aire naturelle

Le Cèdre d'Atlas est une espèce autochtone et endémique des massifs montagneux de l'Algérie et du Maroc (Emberger, 1938 ; Toth, 2005 ; Demarteau *et al.*, 2007). Son aire de distribution est très morcelée (figure N°01) d'une façon inégale (Emberger, 1938) où il couvre une superficie globale de 156 000 hectares (Toth, 2005).

- **Au Maroc** : Où se trouve la grosse masse des forêts du cèdre, on reconnaît deux blocs :

Le Rif avec une superficie d'environ 11500 ha et le Moyen et Haut Atlas marocains avec plus de 130 000 ha (Emberger, 1938 ; Toth, 2005 ; M'hirit et Benzyane, 2006 ; Rhafouri *et al.*, 2014).

- **En Algérie** : Le cèdre d'Atlas se trouve au centre nord et à l'est du pays, sur l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien (Mediouni et Yahi, 1989 ; Bentouati, 2008 ; Yahi *et al.*, 2008).

Son aire de distribution est disjointe et morcelée en huit stations plus ou moins importants (Emberger, 1938 ; Demarteau *et al.*, 2007 ; Bentouati, 2008 ; Messoudene *et al.*, 2013).

- Dans le faciès sublittoral de l'Atlas Tellien se trouve les cédraies de Chréa avec 1 040 ha, Djurdjura avec 2000 ha et les monts Babors avec 1 300 ha (M'hirit et Benzyane, 2006).

- L'Ouarsenis et Theniet El Had (1000 ha) se trouvent dans le faciès semi-continental. (Abdessemed, 1981 *in* M'hirit, 1999 ; Yahi *et al.*, 2008).

- l'Aurès, le Belezma et Hodna dans le faciès continental et qui rassemble les peuplements les plus méridionaux de l'Atlas saharien (Yahi *et al.*, 2008 ; Messoudene *et al.*, 2013).

En raison de l'absence d'inventaire forestier national, les données sur la superficie globale du cèdre en Algérie sont contradictoires d'un auteur à l'autre (Bentouati, 2008 ; Messoudene *et al.*, 2013).

Bien que l'étendue de l'aire montagnarde algérienne est très vaste et que l'aire d'occurrence du cèdre est estimée à 130 000 ha (Mate, 2000 *in* Yahi *et al.*, 2008), l'aire réelle est estimée à 40.000 ha pour l'ensemble l'Atlas algérien selon M'hirit, (1999) et à 20 000 hectares selon Quézel, (1998) *in* Bentouati, (2008).

Alors que l'aire actuelle du cèdre en Algérie n'occupe aujourd'hui guère plus de 16 000 ha (Yahi *et al.*, 2008 ; DGF, 2012 *in* Bouazza *et al.*, 2018).



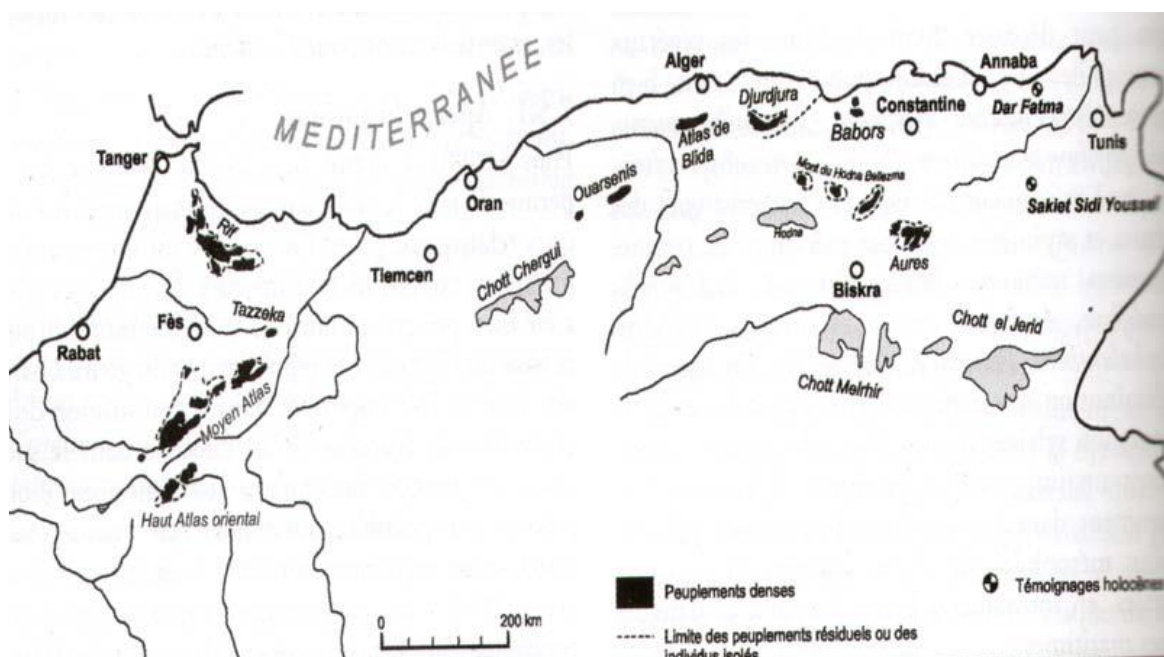


Figure N°01 : Répartition actuelle du cèdre de l'Atlas dans l'Afrique du Nord (Quézel et Médail, 2003 *in* Sarmoum, 2008).

2.3.2. Aire d'introduction

L'aire potentielle du Cèdre d'Atlas est beaucoup plus étendue que son aire réelle (Demarteau et *al.*, 2007).

Le cèdre de l'Atlas a été introduit depuis longtemps dans quelques pays circumméditerranéens, d'abord comme espèce ornementale, et ensuite comme espèce de reboisement. Il a été introduit en France en 1886 aux basses et moyennes montagnes méditerranéennes entre 600 et 1100m. En Italie, Son introduction remonte au 19^{ème} siècle en 1864. En Bulgarie, les premiers cèdres ont été plantés en 1876 et leur succès est assez bon. Il a été introduit aussi en Russie, en Portugal en 1935, en Crimée (Ukraine) sur grande échelle et en quelques états des Etats Unis (M'hirit, 1999 ; Toth, 2005 ; M'hirit et Benzyane, 2006 ; Demarteau et *al.*, 2007; Hainry et Colombet, 2009).

2.4. Caractéristiques biologiques et botaniques

Le cèdre de l'Atlas est un résineux et un végétal ligneux qui possède un tronc unique et droit (Toth, 2005 ; Demarteau et *al.*, 2007).

- **Port :** Le cèdre de l'atlas possède un port majestueux, pyramidal dans son jeune âge, puis tabulaire à l'âge avancée peut dépasser les 40 m de hauteur et plus de 04 m de circonférence (M'hirit et Benzyane, 2006 ; Demarteau et *al.*, 2007 ; Hainry et Colombet, 2009 ; Tassin, 2012 ; Messoudene et *al.*, 2013).



- **Ecorce** : Elle est épaisse (M'hirit et Benzyane, 2006), grise claire et lisse à l'état juvénile, se craquelle à l'état Adulte (Tassin, 2012) et forme des fressures en plaques écailleuses (Coombes, 1992).
- **Rameaux** : Les longs rameaux, auxiblastes sont garnis d'aiguilles isolées, les courts rameaux, mésoblastes portés par les plus longs portent des aiguilles rassemblées en rosettes (Coombes, 1992 ; Toth, 2005 ; M'hirit et Benzyane, 2006 ; Demarteau et *al.*, 2007).
- **Les feuilles** : Sont persistantes vivent généralement 03 ans (Toth, 2005 ; M'hirit et Benzyane, 2006), elles ont une forme d'aiguilles vert bleuté (Tassin, 2012), de 1 à 2,5 cm de taille, et disposées en rosettes de 30 à 40 aiguilles (M'hirit et Benzyane, 2006).
- **Racines** : Le système racinaire du cèdre est pivotant et extrêmement puissant pour assurer la stabilité de l'arbre et la bonne alimentation en eau et en éléments minéraux (M'hirit et Benzyane, 2006 ; Tassin, 2012).
- **Cônes** : Le cèdre de l'Atlas est une espèce monoïque (M'hirit et Benzyane, 2006 ; Rhafouri et *al.*, 2014), dont les cônes mâles et femelles sont séparés, mais portés par le même arbre, apparaissent généralement à l'âge de 30ans. Ils ont une longueur de 5 à 8 cm et un diamètre de 3 à 5 cm constitués d'écailles disposées en spirale. Ces écailles portent respectivement 2 sacs polliniques à leur face inférieure et 2 ovules à la face supérieure (Demarteau et *al.*, 2007).
- **Graine** : La graine est résineuse et tendre a une longueur de 0,8 à 1,3 cm et une envergure de 2,5 à 3,5 cm (Rhafouri et *al.*, 2014).
- **Pollinisation** : Anémochorie, s'effectue en mi-septembre par le vent (Demarteau et *al.*, 2007 ; Hainry et Colombet, 2009).
- **Longévité** : Le Cèdre de l'Atlas est capable de vivre plusieurs siècles. Des spécimens presque millénaires sont renseignés au Maroc (M'hirit et Benzyane, 2006 ; Demarteau et *al.*, 2007) et même en Algérie dont le couple millénaire SOLTANES (PNTEH, 2014).

La figure N°02 représente quelque caractères dendrologiques du cèdre de l'Atlas.





Figure N°02 : Caractères dendrologiques du cèdre de l'Atlas (photos : Arab A, 2020).

2.5. Ecologie de l'espèce

Le cèdre d'Atlas est une essence essentiellement montagnarde, il vit sous le climat méditerranéen. Sa répartition est liée aux plusieurs facteurs écologiques tels que le climat, l'altitude, l'exposition et les conditions édaphiques, mais aussi l'action de l'homme (Emberger, 1938).

2.5.1. Facteurs topographiques

- Altitude

Au Maroc, 1 350 m est la limite altitudinale inférieure du cèdre, et il peut monter jusqu'à 2 800 m comme limite supérieure (Emberger, 1938).

En Algérie la limite altitudinale inférieure des cédraies est de l'ordre de 1 000 m (Yahi et *al.*, 2008), et sa limite supérieure est de 2 200 m à 2 300 m (Emberger, 1938 ; Tassin, 2012 ; Messoudene, 2013).

- Exposition

Elle joue un rôle important pour le cèdre dont les belles cédraies se localisent sur les versants Nord et Ouest, supposées les plus arrosées et humides (Faurel et Laffitte, 1949 *in* Sarmoum, 2008 ; Halitime, 2006 *in* Sarmoum, 2008).

2.5.2. Facteurs climatiques

- Pluviométrie

Le cèdre d'Atlas reçoit généralement des précipitations allant de 500 à 2000 mm d'eau par an (Benabid, 1994 *in* Demarteau et *al.*, 2007).



En Algérie les cédraies septentrionales de l'Atlas tellien reçoivent une pluviométrie moyenne variant de 540 mm/an dans l'Ouarsenis jusqu'à 2 440 mm/an sur le sommet des Babors, et des précipitations oscillent entre 450 et 950 mm/an pour les méridionales de l'Atlas saharien (Yahi *et al.*, 2008).

- **Température**

Le cèdre d'Atlas supporte des températures minimales situent entre -1 et -8,5°C et des maximas allant jusqu'à 40°C (M'hirit, 1999 ; Benabid, 1994 *in* Demarteau *et al.*, 2007).

- **Etage bioclimatique**

En Algérie, le cèdre se développent essentiellement dans un gradient bioclimatique allant du perhumide (Chrèa et Djurdjura) au semi-aride (Aurès et Belezma) (Figure N°03), avec une dominance du bioclimat subhumide (Mediouni et Yahi, 1989 ; Rabhi *et al.*, 2014).

Au Maroc, on le trouve dans les ambiances climatiques, humide et perhumide (Zine El Abidine, 2014).

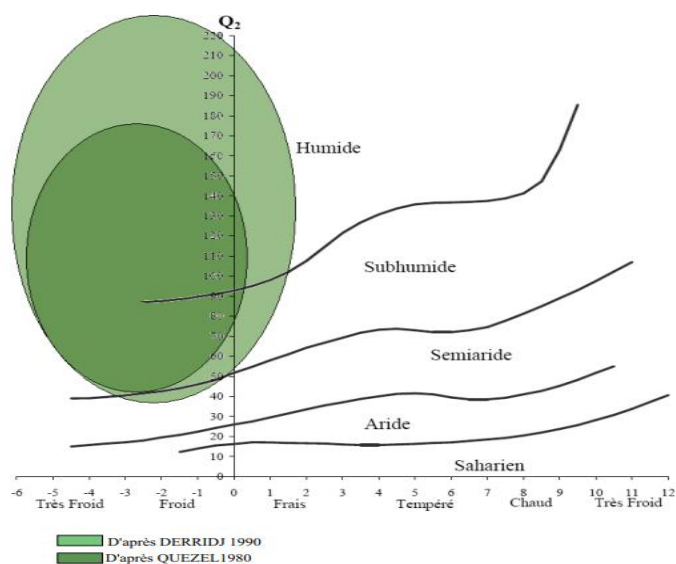


Figure N°03 : Aire de répartition du Cèdre de l'Atlas en Algérie sur le climagramme d'EMBERGER.

- **Ensoleillement**

Le cèdre est une espèce sciaphile apprécie l'ombrage dans le jeune âge, puis elle devient héliophile dans l'âge adulte (Hainry et Colombet, 2009 ; Rabhi *et al.*, 2018).

- **Gel**

Le gel est nécessaire pour que les cônes se désarticulent et libèrent les graines (Hainry et Colombet, 2009).



Les deux tableaux ci- dessous décrivent les différentes données climatiques du cèdre de l'Atlas en Algérie et au Maroc

Tableau N°02 : Caractéristiques ombrothermiques du cèdre de l'Atlas (M'hirit, 1999).

Les cédraies	Altitude (m)	Précipitations annuelles (mm)	Températures extrêmes (°C)	
			T° minimale	T° maximale
RIF	1 400 - 2 400	906 – 1 786	-5,6° à -0,2°	23,7° à 28,8°
Moyen-Atlas	1 500 – 2 000	615 – 1 066	-6,4° à -0,5°	26,5° à 30,9°
Haut-Atlas	1 800 – 2 400	499 - 799	-8,3° à -3, 1 °	23,2° - 29,6°
Atlas Tellien	1 400 – 2 200	1 200 - 1 700	- 8,5°	1 6,8°
Atlas Saharien	1 350 – 2 300	499 - 790	-8,3° à -3, 1 °	23,2° - 29,6°

Tableau N°03 : Synthèse des principales données climatiques concernant les cédraies Algériennes (Yahi et *al.*, 2008).

Cédraies	L'Atlas Tellien				L'Atlas Saharien	
	Thniet El Had (Ouarsenis)	Chrèa	Djurdjura	Les monts Babor	Aurès	Belezma
Altitudes (m)	1000-1787	970-1550	1450-1900	1000-2004	1500-2100	1400-1700
Précipitations (mm/an)	548 à 941	912 à 1202	1264 à 1579	1600 à 2440	530 à 950	450 à 680
M (°C)	31 à 27,6	30,36 - 26,3	30 à 27	32 à 23		



m (°C)	0,85 à -2,3	2,72 à 0,4	-0,7 à -2, 46	-0,5 à -4	-2 à -4	0 à -2
Bioclimat	Subhumide -Humide à hiver frais A froid	Humide - Perhumide hiver frais	Humide - Perhumide froid	humide – perhumide froid à très froid	subhumid e supérieur froid	semi-aride supérieur froid
Saison sèche	de mai jusqu'au mois de septembre.	De mi-mai jusqu'au mi- septembre				

2.5.3. Facteurs édaphiques

- **Substrat** : le cèdre peuple des substrats et des sols variés :

Au Maroc, Les cédraies se rencontrent sur des basaltes, de la dolérite, des marno-calcaires, des marno-schistes, des dolomies, des calcaires dolomitiques, des schistes et des grès (Emberger, 1938 ; M'hirit et Benzyane, 2006 ; Demarteau *et al.*, 2007).

En Algérie :Les forêts de cèdres sont localisées sur des Grès numidiens dans l'Ouarsenis, schistes du Crétacé inférieur plus ou moins argileux dans l'Atlas blidéen, calcaire et dolomies du Lias inférieur dans le Djurdjura , calcaire, marnes et schistes dans les Babors, grès blancs et dolomies du Jurassique supérieur dans les Aurès, mais aussi calcaires et conglomérats du Crétacé inférieur (M'hirit, 1999 ; Abdessemed, 1981 *in*Yahi *et al.*, 2008).

- **Types de sols**

Les types de sol varient entre fersiallitiques sur calcaires, rendzines magnésiennes sur dolomie, andosoliques sur basalte et ocre podzolique sur grès (M'hirit et Benzyane, 2006).

Le cèdre réagit différemment à la structure physique du sol. Il préfère les sols meubles (éboulis, cailloutis) et profonds ou alluvionnaires, et accepte les sols superficiels à condition que la roche sous-jacente soit bien fissurée, mais il n'accepte plus les colluvions argileuses, ni les dalles rocheuses peu fissurées (Demarteau *et al.*, 2007 ; Hainry et Colombet, 2009).

- **PH**

Le Cèdre de l'Atlas est indifférent à l'acidité du sol, et supporte une gamme de pH comprise entre 4 et 8. (Hainry et Colombet, 2009).



2.5.4. Facteurs biotiques

Le cèdre de l'Atlas est aussi en relation avec plusieurs espèces végétales ou animales, plusieurs champignons, lichens et mousses apprécient aussi l'ambiance humide des cédraies (Demarteau et *al.*, 2007).

- Le parasitisme

La chenille processionnaire du Pin (*Taumatopeoa pityocampa*) est parmi les chenilles qui dévastent les beaux peuplements de cèdre de l'Atlas (Talbi et Bouhraoua, 2015).

- La compétition

Il existe des compétitions intra ou interspécifiques sur l'eau, les éléments minéraux et même la lumière (Zine El Abidine et *al.*, 2013)

- Symbiose

Le cèdre d'Atlas est pourvu de mycorhizes, association symbiotique entre les racines courtes et divers champignons. Ces derniers peuvent être fort utiles à l'arbre il s'agit d'ectomycorhizes qui protègent les racines par différentes voies (barrière mécanique, production de substances antibiotiques,...) (Toth, 2005 ; M'hirit et Benzyane, 2006).

2.6. Caractéristiques écophysiologiques

La localisation de cette espèce sur des substrats et climats assez différents fait penser immédiatement à la possibilité de la présence de variétés ou écotypes (Gausсен, 1964 *in* Sarmoum, 2008).

- Les écotypes

Deux écotypes ont été observés chez *C. atlantica*, le type meridionalis, adapté à une forte sécheresse estivale et le type tellica, Moins résistant (Gausсен, 1964 *in* Sarmoum, 2008).

- Les variétés

De nombreuses variétés ornementales ont été sélectionnées telles « aurea », « Glauca » et « pendula » pour *Cedrus atlantica*. (Debazac, 1964 *in* Nezar kebaili, 2009).

- variabilités adaptatives face à l'aridité

Les peuplements de l'Atlas Saharien se caractérisent par un nombre de stomates élevé et des dimensions réduites. Tandis que, celles de l'Atlas Tellien sont caractérisées par un nombre faible de stomates et des dimensions plus grandes (Berka, 1997 *in* Sarmoum, 2008).

2.7. Biodiversité du cèdre

2.7.1. Richesse floristique

Elle est estimée à un millier d'espèces dont environ 10% d'arbres, 15% d'arbustes et arbrisseaux et 75% de plantes herbacées annuelles ou pérennes (M'hirit *et al.*, 1999 *in* Demarteau et *al.*, 2007).



Le Cèdre de l'Atlas constitue de nombreux écosystèmes forestiers qui se présentent sous forme de peuplements purs ou mélangés. Parmi les arbres les plus fréquents dans les cédraies mélangées :

- des chênes : *Quercus ilex* (Chêne vert) ; *Quercus suber* (Chêne-liège) ; *Quercus faginea* (Chêne zeen).
- des pins : *Pinus halepensis* (Pin d'Alep) ; *Pinus pinaster* (Pin maritime).
- des genévriers : *Juniperus thurifera* (Genévrier thurifère) ; *Juniperus oxycedrus* (Genévrier oxycèdre).

Autres arbres sont directement associés au cèdre de l'Atlas tels que les sapins (*Abies numidica*), les frênes (*Fraxinus dimorpha*), les érables (*Acer obtusatum*), l'if commun (*Taxus baccata*), *Ilex aquifolium*, le diss (*Ampelodesma mauritanica*), le sorbier (*Sorbus aria*) (Emberger, 1938 ; M'hirit, 1999 ; Dubé, 2007 ; Bentouati, 2008 ; Yahy et Djellouli, 2010 ; Zine el Abidine et al., 2013 ; Messoudene et al., 2013).

2.7.2. Richesse faunistique

La faune est également très variée, on trouve un nombre très élevé des mammifères, d'oiseaux, d'amphibiens et des reptiles (Demarteau et al., 2007).

L'entomofaune liée au cèdre est regroupée en : phyllophages, xylophages et d'autres insectes prédateurs parmi lesquels, la processionnaire défoliatrice du cèdre (*Thaumetopoea bonjeani*), la processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*), la tordeuse du sapin (*Choristoneuramurinana*), les pucerons (*Cedrobiumlaportel* et *Cinaracedri*) la tordeuse (*Epinotia cedricida*), le chalcidien seminivore (*Megastigmus suspectus* var. *pinsapinis*) parasite des graines. (M'hirit, 1999).

2.8. Ennemis et causes de dégradation

- Les insectes

Trois classes d'insectes se distinguent :

- Des phyllophages qui se nourrissent des aiguilles et de la sève du cèdre tels que les lépidoptères (chenilles processionnaires), les hémiptères (cochenilles), et des homoptères (pucerons)
- Des xylophages dont des coléoptères (scolytes, longicornes, ...) qui attaquent le bois du cèdre.
- Enfin des lépidoptères (pyrales) et des diptères principalement, apprécient les cônes et graines de l'arbre. (Gheiloule et Lieutier, 2009 ; Mouna, 1994 in Demarteau et al., 2007 ; Talbi et Bouhrawa, 2015).

- Les champignons

Les champignons causent des dégâts redoutables au cèdre et entraînent l'affaiblissement des arbres-hôtes, on peut citer :



- *Trametes Pini*, ou pourriture rouge du cèdre, est un champignon cause la formation d'un bois appelé Mjeje de mauvaise qualité.
- *Armillariamilla* : champignon attaque surtout les racines et le tronc, il se développe surtout sur les arbres affaiblis (Abourouh et Morelet, 1999 ; Dubé, 2007).

- **L'homme**

La pression anthropique par le biais du défrichage, surpâturage, les incendies, le broutage, l'ébranchage et l'écimage de cèdre, accentue la dégradation des cédraies (Dubé, 2007 ; Bentouati et Bariteau, 2006 ; Bentouati, 2008 ; Yahy et *al.*, 2008 ; Messaoudene et *al.*, 2013 ; Rabhi et *al.*, 2018).

- **Les animaux**

L'animal peut aussi endommager la cédraie. Le bétail par son mode de nourriture affecte la régénération naturelle du cèdre. Les singes magots (*Macaca sylvanus*) écorcent les jeunes arbres provoquant des blessures facilitent le développement de champignons. (Dubé, 2007 ; Tassin, 2012).

- **Les changements globaux**

L'augmentation des températures et le déficit hydrique simulés pourraient menacer la pérennité du cèdre (Demarteau et *al.*, 2007 ; Messaoudene et *al.*, 2013).

- **Travaux sylvicoles**

L'absence d'une gestion sylvicole rationnelle et d'une politique de conservation durable pour ce patrimoine, peuvent freiner la croissance et diminuer la vitalité des peuplements à l'état adulte (Bentouati et Bariteau, 2006 ; Bentouati, 2008 ; Messaoudene et *al.*, 2013 ; Rabhiet *al.*, 2018).

- Le dépérissement est l'un des facteurs essentiels de la dégradation des cédraies, il engendre la mort sur pied de l'arbre (Bentouati et Bariteau, 2006 ; Zine El Abidine et *al.*, 2014).

3. Le dépérissement

3.1. Historique

Le dépérissement des forêts est un phénomène planétaire complexe, affecte négativement la santé des arbres conduisant souvent à leur mortalité. L'apparition de ce phénomène et la vulnérabilité du Cèdre de l'Atlas est rattachée aux épisodes de sécheresse prolongée et répétée des années 1980. (Landmann, 1994 ; Demarteau et *al.*, 2007 ; Sarmoum, 2008 ; Messoudene et *al.*, 2013 ; Kerchouche *etal.*, 2013).

Il caractérise plusieurs forêts de cèdre de l'Afrique du Nord, et plus particulièrement les cédraies plus méridionales en contact avec l'Atlas saharien (Bentouati et Bariteau, 2006 ; Bentouati, 2008 ; Messaoudene et *al.*, 2013 ; Sarmoum et *al.*, 2019).



3.2. Définition

Selon Manion (1991) *in* Landmann (1994), « le dépérissement est un phénomène causé par un ensemble de facteurs interagissant et se succédant d'une façon particulière, et qui entraînent une détérioration générale, et graduelle, se terminant souvent par la mort de l'arbre».

3.3. Les symptômes du dépérissement

Les symptômes les plus souvent cités sont : (Landmann, 1994 ; Bentouati, 2008 ; Sarmoum et *al.*, 2019).

- Une faible activité cambiale et une réduction de croissance avant l'apparition visuelle des symptômes.
- Une défoliation progressive, commence par un dessèchement de la cime engendrant un jaunissement et une chute des aiguilles de l'arbre qui descend vers le bas.
- Les arbres présentent des signes d'affaiblissement au niveau des rameaux qui s'amollissent et qui pendent.
- Et enfin il finit par la mort d'arbres sur pieds.

3.4. Causes du dépérissement

Plusieurs hypothèses ont été considérées comme cause de ce phénomène :

Selon Landmann (1994), trois grands types de facteurs interviennent dans le dépérissement :

– les facteurs prédisposant qui sont permanents contribuant à l'affaiblissement de l'arbre

Parmi lesquels : l'âge des arbres, leur potentiel génétique, la compétition, les conditions écologiques défavorables telles que les expositions plus chaudes et ensoleillées, les basse altitudes, les fortes pentes, les sols superficiels argileux, substrat calcaires ou marneux. (Bentouati et Bariteau, 2006 ; Dubé, 2007 ; sarmoum, 2008 ; Gheiloule et Lieutier, 2009 ; Zine el Abidine et *al.*, 2013 et 2014 ; Bouazza et *al.*, 2018 ; Sarmoum et *al.*, 2019 b).

– les facteurs déclenchant qui agissent de façon intense sur les arbres et favorisent l'apparition des symptômes (Sécheresse, attaques d'insectes défoliateurs.) (Demarteau et *al.*, 2007 ; Kherchouche et *al.*, 2013 ; Sarmoum, 2008 ; Sarmoum et *al.*, 2019a ; Sarmoum et *al.*, 2019b; Yahi et *al.*, 2008).

– les facteurs aggravants qui accentuent la dégradation et provoquent les symptômes relativement visibles et identifiables

Parmi lesquels la pullulation d'insectes xylophages, et des champignons parasites (Talbi et Bouhrawa, 2015 ; Abdelhamid et *al.*, 2017).



4. Usages et intérêts

le cèdre forme des mosaïques de structures lui confèrent de nombreux atouts : écologique, écotouristique, économique et forestier (M'hirit, 1999 ; Demarteau et *al.*, 2007 ; Bentouati, 2008 ; Messaoudene et *al.*, 2013).

- Sur le plan écologique, la cédraie constitue un réservoir génétique où prospère une riche biodiversité spécifique, paysagère et fonctionnelle. Elle joue un rôle dans l'épuration de l'air et la protection du sol contre l'érosion hydrique et la désertification Accélérée. Elle garantit aussi le respect des grands cycles de l'eau (M'hirit et Benzyane, 2006 ; Dubé, 2007 ; Yahy et *al.*, 2008).

La plasticité, la croissance juvénile appréciable, la longévité, les potentialités productives ; les facultés d'adaptation aux changements globaux et la faible inflammabilité font du cèdre l'espèce de reboisement et d'amélioration des peuplements forestiers (Toth, 2005 ; Ghaioule et Lieutier, 2009 ; Messaoudene et *al.*, 2013 ; Rabhiet *al.*, 2018).

- Sur le plan économique, la cédraie, par ses services qu'elle offre aux populations (vocation sylvo-pastorale, bois d'œuvre, plantes médicinales, loisirs), peut jouer un rôle important au développement du pays, par la création de l'emploi et les activités récréatives tel que le tourisme (Demarteau et *al.*, 2007 ; Dubé, 2007 ; Messaoudene et *al.*, 2013).

Le cèdre est aussi recherchée pour son bois noble, au parfum doux, résistant aux adversités et gardant son empreinte durant des millénaires (M'hirit et Benzyane, 2006).

L'huile essentielle de graines de cèdre est riche en composés actifs peuvent être utilisé dans divers domaines industriels (Rhafouri et *al.*, 2014).

- Sur le plan scientifique, Les cédraies représentent un véritable laboratoire au ciel ouvert (Neraz Kebaili, 2009).

5. Statut du cèdre de l'atlas

La majesté du cèdre d'Atlas, sa diversité éco biologique et sa longévité font de cet arbre l'essence forestière la plus noble dans la méditerranée (M'hirit et Benzyane, 2006). Mais en vue de la dégradation des cédraies et des contraintes qu'elles subi, l'espèce figure sur la liste rouge des espèces menacées de l'UICN comme espèce menacée en danger depuis le 07/02/2013 (UICN, 1980).

En Algérie, elle figure dans la liste des espèces végétales non cultivées protégées par le décret exécutif n° 05-12 du Janvier 2012.



Partie expérimentale

CHAPITRE 02

Présentation de la zone
d'étude



1. Historique

Le parc national des cèdres à Theniet El Had est le premier parc créé en Algérie pendant la période coloniale le 03/08/ 1923 sur une superficie de 1563 ha. Il a été reproclamé après l'indépendance par le gouvernement algérien le 23 juillet 1983 par décret n° 83-459 sur une superficie de 3424 ha, dont l'objectif principal est de protéger le cèdre de l'Atlas dans tous ses faciès avec l'utilisation pour objectifs éducatifs, récréatifs et scientifique dans le cadre d'un développement durable (Abdelguerfi, 2003 ; DGF, 2006 ; PNTEH, 2010/2014).

2. Localisation de la zone d'étude

Le parc national de Theniet El Had est un massif forestier situé sur le versant sud de l'Atlas tellien à l'orée des grandes plaines du Sersou, dans le prolongement Est du massif de l'Ouarsenis à l'ouest de l'Algérie. Le parc distant de 48 km du chef-lieu de wilaya de Tissemsilt, et de 02 km au sud-ouest de la ville de Theniet El Had, il se situe entre les coordonnées géographiques : 35° 49' 41'' et 35° 54 '04'' de latitude Nord et 01° 52' 45'' et 02° 02' 04'' de longitude Est, et représente la barrière sud du domaine méditerranéen (DGF, 2006 ; PNTEH, 2010/2014).

La figure N°04 montre la situation géographique du parc national de Theniet El Had.

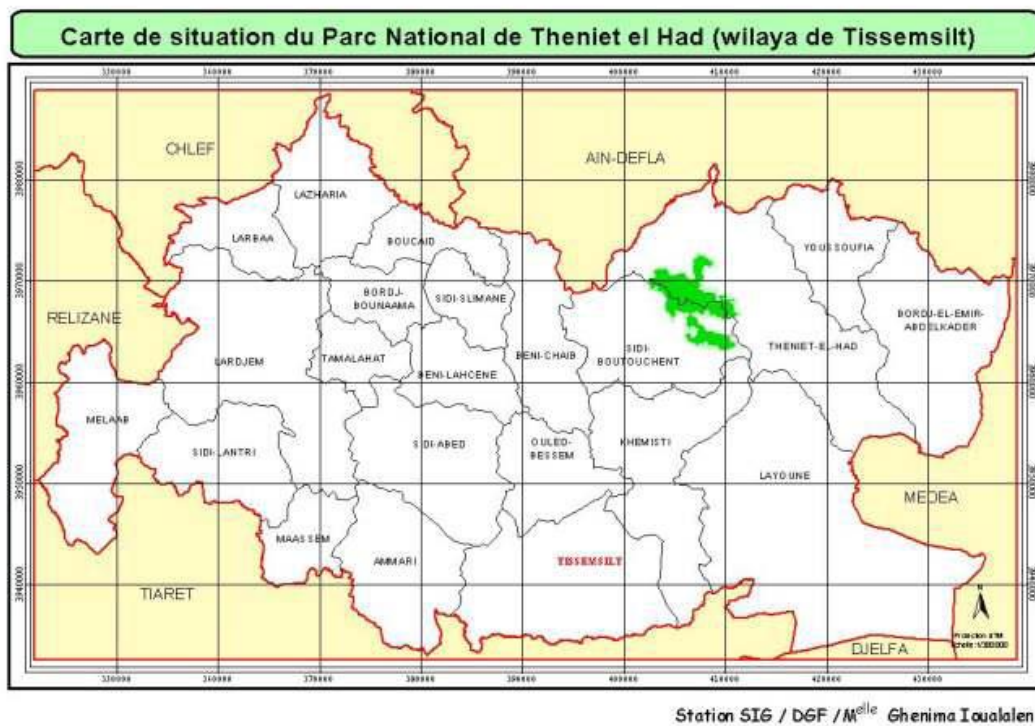


Figure N°04 : Carte de situation du parc national de Theniet El Had Wilaya de Tissemsilt (DGF, 2006).



2.1. La cédraie du parc national de Theniet El Had

La majestueuse forêt du cèdre de Theniet El Had est rattachée au Djebel El Medded occupant ces deux versants avec une surface d'environ 1 000 ha.

Elle représente des particularités bien individualisées dans l'Algérie septentrionale telles que le mélange unique du cèdre et de pistachier de l'Atlas et la présence du chêne liège à plus de 1600 m (DGF, 2006 ; PNTEH, 2010/2014 ; Sarmoum et *al.*, 2019a).

Les limites a cédraie du PNTEH sont représentées dans la figure ci- dessous.

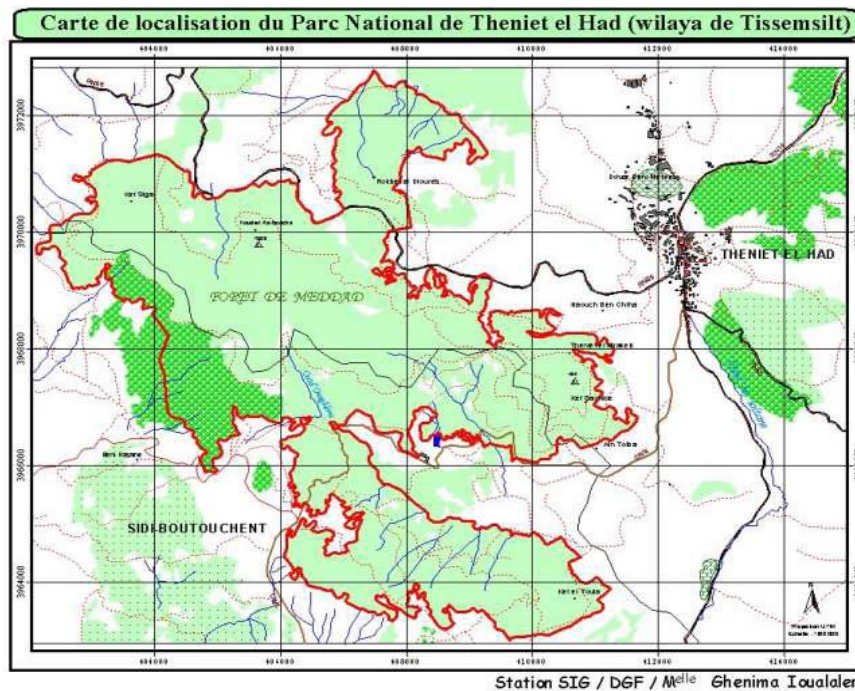


Figure N°05 : Carte de Localisation du Parc national de Theniet El Had (DGF, 2006).

2.1.1. Phytogéographie

- Sur le plan phyto-écologie (PNTEH, 2010/2014) :

Le massif de Djebel El Meddad appartient :

- à la région méditerranéenne,
 - au secteur algérois,
 - au sous-secteur de l'Atlas tellien
- Sur le plan physionomie, ce massif appartient au tell méridional.

3. Géologie

Selon Matauer (1958), le parc national est localisé sur des grès numidiens de Crétacé et de Tertiaire très marneux (Miocène) fortement raviné.

A côté des grès, existent très localement des calcaires durs et des substrats meubles marneux du Quaternaire (M'hirit et Benzyane, 2006 ; PNTEH, 2010/2014).



4. Pédologie

Les sols sont généralement peu évolués, d'apport colluvial, non carbonatés, peu profonds.

Trois classes de sols prédominent dans la cédraie de TEH :

- Les sols peu évolués du groupe d'apport colluvial qui sont formés par des matériaux argilo-sablonneux mélangés à des morceaux de roches de grès
- Les sols minéraux bruts d'érosion sur les crêtes sommitales et les lithosols prédominant sur des grès.
- Les sols bruns lessivés localisés dans les grandes clairières et pied monts en général où les pentes sont très faibles (DGF, 2006 ; PNTEH, 2010/2014 ; Rabhi et *al.*, 2014).

5. Hydrologie

A la périphérie du Parc, existe un réseau hydrique très ramifié et souvent temporaire, deux oueds permanents sont mentionnés : Oued El Mouilha au Nord Est du parc et Oued El Ghoul au Sud.

Le parc est aussi riche de 52 sources d'eau dont une grande partie est ferrugineuse.

Les étangs temporaires et permanents sont une particularité du parc national de Theniet El Had (PNTEH, 2010/2014).

6. Climat

Le climat du parc varie selon l'altitude ; il est de type méditerranéen subhumide a hiver frais (< 1 500 m), humide a hiver froid (> 1 500 m) et semi-aride supérieur à variante fraîche à 853 m d'altitude (DGF, 2006 ; PNTEH, 2010/2014 ; Sarmoum et *al.*, 2018).

La saison sèche s'étale du mois de mai jusqu'au mois de septembre (DGF, 2006 ; Rabhi et *al.*, 2014 ; Bouazza et *al.*, 2018 ; Navarro et *al.*, 2019).

La sécheresse des dernières décennies et la baisse des précipitations d'ordre de 25 % entraînent un allongement de la période sèche (mai – novembre) et un glissement des étages bioclimatiques vers l'aridité (Sarmoum et *al.*, 2019).

6.1. La température

La température minimale du mois le plus froid (janvier) varie entre -2,2 et -0,6 °C, et la température maximale (juillet) varie entre 27,9 et 32,7 °C (Sarmoum et *al.*, 2018 ; Navarro-Cerrillo et *al.*, 2019).

6.2. Pluviométrie

Les précipitations annuelles sont irrégulières et s'élèvent en moyenne à 792 mm/an avec un régime saisonnier de type HPAE (DGF, 2006 ; PNTEH, 2010/2014).

La moyenne des précipitations a diminuée de plus de 650 mm/an (1913-1938) à environ 500 mm/an (1966-2010). Soit une diminution de 25% des précipitations annuelles (Sarmoum et *al.*, 2019).

6.3. Vent

Les vents prédominent la région en toute saison, ils sont de nature et d'ordre Nord-ouest d'origine océanique. La valeur maximale de force du vent a lieu pendant la saison hivernale.



Le sirocco venant du désert, atteint la région du parc national en direction du sud avec une durée de 21 jours coïncidant avec la période sèche des mois de juin à août (DGF, 2006 ; PNTEH, 2010/2014).

6.4. L'enneigement

Selon Seltzer (1946), la durée moyenne d'enneigement dans la région de Theniet El Had est de 22 jours mais elle n'est pas toujours régulière et peut aller jusqu' aux 30 jours, entre Novembre et mars (PNTEH, 2010/2014 ; Sarmoum et *al.*, 2018).

7. Topographie

7.1. Altitude

Le cèdre de l'Atlas se développe surtout sur le versant nord à des altitudes allant de 1 300 m à 1 700 m ; et de 1 500 m à 1 786 m sur le versant sud (Sarmoum *et al.*, 2018).

Le Point culminant est Ras-El-Braret à 1 787 m d'altitude, et le point le plus bas est à 968 m au versant sud, et à 858 m au versant Nord (PNTEH, 2010/2014).

7.2. Pente

La cédraie présente un relief globalement accidenté dont les fortes pentes, estimées en moyenne à 40° sont du côté Nord. Le versant Sud par contre présente des pentes plus ou moins fortes (25° au maximum) (PNTEH, 2010/2014).

7.3. Exposition

Le versant Nord du parc, est le plus froid et le plus humide, où le cèdre de l'Atlas occupe 2/3 des peuplements forestiers, tandis que le versant Sud, le plus chaud, présente des sujets épars du cèdre.

Dans le versant Ouest du parc, on note une faible étendue du peuplement de cèdre (Zedek, 1993 *in* Abdelhamid et *al.*, 2017).

8. biodiversité

8.1. Diversité floristique

Le parc national de Theniet El Had renferme une diversité floristique impressionnante allant de la strate arborée jusqu'au tapis herbacé. Les inventaires floristiques menés ont permis de recenser 515 espèces végétales avec dix (10) endémiques algériennes dont 02 en danger de disparition (*Silene pseudovestata* et *Brassica spinescens*), et 03 espèces rares (*Spergularia pycnorhiza*, *Phlomis bovei* et *Viola munbyana*) selon U.I.C.N. (PNTEH, 2010/2014).

On peut distinguer deux types de peuplements de cèdres de l'Atlas dans le PNTEH :

- Des peuplements purs de *C. atlantica* occupant les hautes altitudes (>1500 m)
- Association mixte, en altitude modérée (<1500 m), où *C. atlantica* pousse avec d'autres espèces.

En comparaison avec d'autres forêts de cèdres du Nord, *Taxus baccata* et *Ilex aquifolium* sont absents dans cette forêt de cèdres (Sarmoum et *al.*, 2018).



8.2. Diversité Faunistique

La faune dans le parc est diversifiée, dix-sept mammifères sont inventoriés dont 10 sont protégés. L'avifaune est représentée par 93 espèces dont 25 sont protégés. Le nombre d'espèces d'insectes a augmenté de 300 à 340 durant la période (2007 -2010) dont 30 espèces sont protégées. La faune reptilienne du parc est représentée par environ 18 espèces dont 03 sont protégées et 05 espèces d'amphibiens ont été recensées (Abdelguerfi, 2003 ; DGF, 2006 ; PNTEH, 2010/2014).

8.3. Diversité des habitats

Le parc rencontre 03 grands ensembles de types d'habitats (PNTEH, 2010/2014) :

- La zone terrestre qui renferme les forêts de résineux, de feuillus, les maquis, pelouses, clairières et prairies
- La zone rupestre composée de rochers, falaises et dalles rocheuses
- La zone lacustre ou aquatique.



Partie expérimentale

CHAPITRE 03

Méthodologie de travail



1. Echantillonnage

En écologie, il est généralement impossible de faire un inventaire exhaustif sur l'ensemble d'un groupe d'intérêt, Mais bien un fragment de l'ensemble, prélevé pour juger de certaines propriétés de ce tout. Cinq types d'échantillonnage ont été mentionnés, l'échantillonnage aléatoire simple, l'échantillonnage systématique, l'échantillonnage stratifié, l'échantillonnage par grappes et l'échantillonnage à plusieurs degrés. Ces techniques d'échantillonnage peuvent être différenciées par de nombreux critères tels que l'étendue, les objectifs, et le temps (Glèlè Kakaï et *al.*, 2016).

1.1. Choix de stations écologiques

La station est une étendue de terrain d'ailleurs très variable en superficie, mais homogène quant aux conditions écologiques qui y règnent (Rol, 1954 *in* Bonneau, 1973). Trois stations écologiques ont été choisies selon un échantillonnage stratifié en tenant compte les variables mésologiques suivantes : altitude, pente, exposition et le type de sol. Cependant, les conditions défavorables de cette année liées à la pandémie Covid 19 et la mise en quarantaine, nous n'avons pas pu réaliser l'ensemble du travail alors on a échantillonné qu'une seule station celle du canton Pépinière au parc national de Theniet El Had (figure N° 06). Ce canton se trouve à une altitude de 1450 mètre ou domine le bioclimat subhumide à hiver frais. Il est caractérisé par la présence des peuplements de cèdre presque pure (Bouazza et *al.*, 2018).



Figure N° 06 : Vue d'ensemble de la station écologique du canton Pépinière (Photo : Arabe A, 2020).



1.2. Le choix des arbres

A l'intérieur de notre station nous avons choisi 10 arbres pour le sondage par la tarière de Pressler. Le choix des arbres est basé sur :

- Des arbres âgés pour l'obtention des chronologies les plus longues possibles,
- Des arbres ne présentent aucune déformation du tronc,
- L'état sanitaire de des arbres (sains/dépéris) Et leur statut social (dominants, codominants, dominés).

Le statut social d'un arbre reflète le niveau de compétition subi par les individus qui se répartissent dans plusieurs strates : Dominant, Co-dominant ou Dominé (Kraft, 1884 *in* Eberl, 2012).

Les arbres dominants sont les plus gros en diamètre et les plus hauts du peuplement. Ils ont un accès préférentiel à la lumière. Les arbres codominants sont légèrement moins hauts. Les arbres dominés ont un accès direct à la lumière réduit ou nul. Ils sont moins hauts et ils profitent de la lumière qui filtre à travers le couvert constitué par les arbres dominants et codominants. Les arbres dépéris, sont ceux qui ont perdu une partie de leur houppier (perte des aiguilles) (Eberl, 2012).

2. Collecte de données sur terrain

2.1. Données mésologiques

Les caractéristiques écologiques telles que les coordonnées géographiques, le type de substrat, l'altitude, l'exposition et la pente ont été relevés une fois sortie sur terrain, le 27/02/2020 (Tableau N°04).

- L'exposition et la pente du terrain sont déterminées à l'aide d'un clinimètre.
- L'altitude et les données géographiques x et y sont déterminées à l'aide d'un GPS (Tableau 04)

Tableau N° 04 : Caractéristiques générales de la station d'étude

Station d'étude	Type de végétation	Altitude (m)	X	Y	Pente (%)	Exposition	Substrat	TRG	peuplement
Pépinière	Peu dense	1 450	4098 48	3968670	Faible 0 à 20	NNE	Marne	65%	Ca (100%)
NNE : Nord-Nord-Est ; Ca : Cedrus atlantica ; TRG : taux de recouvrement global									



2.2. Données dendrométriques et Prélèvement du matériel végétal

Le matériel végétal destiné à l'analyse dendrochronologique était composé de 10 arbres. Constitué de 09 arbres sains dont 03 dominants, 03 codominants, 03 dominés et 01 arbre déperissant.

Pour cette partie de notre étude, nous avons fait appel au matériel suivant : une tarière de Pressler (200 mm et 400 mm), le Blum Leiss avec une mire pliante, un mètre ruban, des réglettes en bois, la colle du bois, l'huile à affûter pour une meilleure pénétration de tarière, et un scotch (Figure N°07).



Figure N° 07 : Matériel utilisé pour les mesures dendrométriques et le carottage des arbres (photos : Arab A, 2020).

2.2.1. Les mesures dendrométrique

Les paramètres dendrométriques recensés au niveau de chaque arbre sont :

- La hauteur totale (H)

La hauteur totale correspond à la distance entre le pied de l'arbre et la cime, elle est exprimée en mètre (m) et estimée à l'aide du dendromètre Blume-Leiss à 1,30 m du sol (Figure N°08).



Figure N° 08 : Mesure de la hauteur totale par le dendromètre Blume-Leiss (photos : Arab A, 2020).



- La circonférence (C)

La circonférence de l'arbre correspond au contour extérieur du tronc, Elle est exprimée en centimètre (cm) et mesurée par un mètre ruban (Figure N° 09) à une hauteur de 1,30 m du sol tout en se positionnant du côté amont de l'arbre en cas de terrain incliné.



Figure N° 09 : Mesure de la circonférence par un mètre ruban (photos : Arab A, 2020).

- Taux de dépérissement

C'est le taux de perte de feuillage au niveau du houppier. Il est basé sur une observation visuelle, en découpant le houppier en quatre parties, en commençant par la partie supérieure « cime », jusqu'au la base du houppier. La partie dépérie correspond à la partie qui a perdu son feuillage (D'Eon, 1995 *in* Sarmoum, 2008). Six classes de défoliation ont été définies :

0 : Arbre sain

I : défoliation moins de 25% (légère).

II : défoliation entre 25 et 50% (modérée).

III : défoliation entre 50 et 75% (élevée).

IV : défoliation supérieure à 75% (grave).

V : arbre mort sur pied.



Figure N° 10 : Arbre dépérisant (photos : Arab A, 2020).



Les différents paramètres dendrométriques sont représentés dans le tableau ci- dessous.

Tableau N° 05 : Récapitulatif des données dendrométriques de la station d'étude.

Variables	A1 (D)	A2 (D)	A3 (D)	A4 (CD)	A5 (CD)	A6 (CD)	A7 (d)	A8 (d)	A9 (d)	A10 (dp)
Circonférence (C) cm	177	155	142	119	161	150	121	118	142	100,5 (58 – 143)
Hauteur totale (H) m	21	21,5	16.5	14	15	14	13,5	11,5	11,5	18
Taux de déperissement	S	S	S	S	S	S	S	S	S	75%
A : Arbre ; D : Dominant ; CD : Co-dominant ; d : dominé ; dp : dépéri ; S : arbre sain										

Remarque : l'arbre dépéri est bifurqué au-dessous de 1,30 m c'est pour ça qu'on a pris deux mesures de circonférence en faisant leur moyenne pour avoir la circonférence de l'arbre.

2.2.2. Le carottage

L'analyse de la croissance radiale repose sur le prélèvement dans chaque arbre d'une (ou plusieurs) carotte sur lesquels les cernes annuels de croissance peuvent être identifiés au niveau de laboratoire (Lebourgeois, 2010).

Le carottage a été réalisé sur terrain à l'aide d'une tarière de Pressler (Figure N° 11) sur des arbres sans anomalies en évitant toutefois les blessures et les défauts visibles sur le tronc. La tarière doit être introduite perpendiculairement à l'arbre à 1,30 m du sol dans une direction quelconque ou parallèlement aux courbes de niveau en cas de forte pente (Lebourgeois, 2010).

Deux carottes ont été extraites pour chaque arbre selon les courbes de niveau et deux directions diamétralement opposées et espacées d'un angle de 180°.





Figure N° 11 : Carottage des arbres par tarière de Pressler (photos : Arab A, 2020).

Les carottes extraites ont été collées sur des réglettes en bois préalablement rainurées à leurs diamètres (Figure N° 12) pour pallier à la fragilité des carottes et faciliter leur manipulation.



Figure N° 12 : collage des carottes dans les réglettes (photos : Arab A, 2020).

3. Traitement des échantillons :

Dix-neuf carottes ont été récoltées et acheminées au laboratoire d'écologie forestière pour l'interdatation et la mesure des largeurs des cernes, mais avant de faire ces deux étapes, les échantillons doivent être préparés, planés et poncés de façon à améliorer la lisibilité des cernes (Lebourgeois, 2010).

Pour cette partie de laboratoire, nous avons utilisé : papier verre, cutter et une loupe binoculaire et autre monoculaire munie d'un micromètre (Figure N° 13).





Figure N° 13 : Matériel utilisé pour l'interdatation (photos : Arab A, 2020).

- **Planage** : c'est de gratter les carottes par un cutter ou chez le menuisier pour les aplatir et visualiser les cernes (Figure N° 14).



Figure N° 14 : Planage des carottes au laboratoire (photos : Arab A, 2020).

- **Ponçage** : Avec un papier de verre à grain très fin (Figure N° 15) pour rendre les cernes plus clairs et pour une parfaite observation des moindres détails

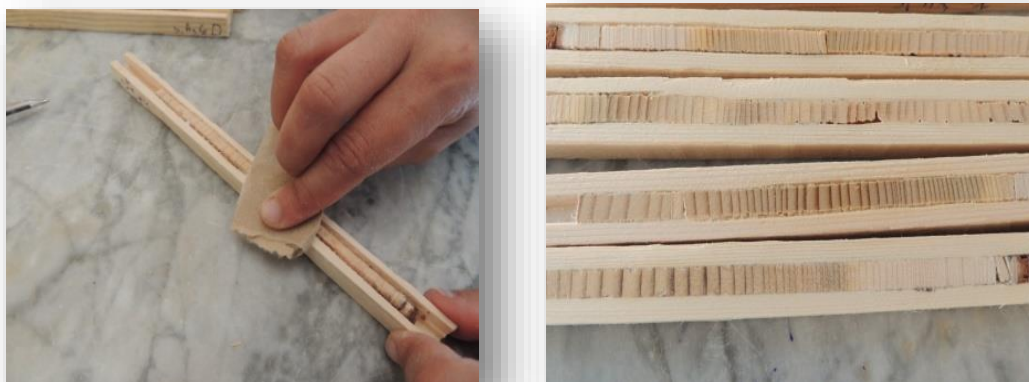


Figure N° 15 : Ponçage des carottes (photos : Arab A, 2020).



3. L'interdatation :

La dendrochronologie est une science qui repose sur la mesure des largeurs des cernes annuels de croissance et sur leur datation précise. (Lebourgeois, 2010).

L'interdatation c'est une étape essentiellement visuelle, précède toute mesure proprement dite des cernes, elle consiste à attribuer au cerne l'année exacte de sa formation. Elle est plus aisée sur des arbres encore vivants que sur des arbres morts. Connaître la date de formation du dernier cerne sous l'écorce permet d'attribuer une date à chaque cerne compté en direction de la moelle, en tenant compte les anomalies de croissance (faux cerne, double cerne, ou cerne manquant) ou plus simplement d'erreur lors de la mesure (oubli d'un cerne ou cerne compté deux fois). (Lebourgeois, 2010).

A cet effet, il est fait appel aux repères chronologiques communs appelés cernes caractéristiques (épais et/ou minces) qui font le principe fondamental de l'interdatation. Ces années témoignent des événements extrêmes survenus au cours de la vie de l'arbre qui ont pour effet de générer des cernes minces ou épais. (Lebourgeois, 2010).

Une bonne interdatation est basée sur la comparaison des carottes opposées de chaque arbre pour vérifier l'agencement synchrone des séries chronologiques et éviter les erreurs (Lebourgeois, 2010).

L'interdatation a été faite par une loupe binoculaire (Figure N° 16) au niveau de laboratoire d'écologie forestière (FSNV, Univ. Tiaret).



Figure N°16 : L'interdatation des carottes par la loupe binoculaire (photos : Arab A, 2020).

4. Mesure de la largeur totale des cernes :

La largeur du cerne annuel d'un arbre est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs internes liés à l'arbre tel que : l'âge et le patrimoine génétique, et d'autres facteurs externes tel que : le climat, les conditions édaphiques, la compétition entre arbres, l'attaque d'insectes et l'action de l'homme. Elle peut donc être utilisée comme indicateur des changements de l'environnement (Fritts, 1976 *in* Sarmoum, 2008).



Une fois l'interdatation réalisée, les mesures des largeurs des cernes ont été effectuées pour chaque carotte à l'aide d'une loupe monoculaire à grossissement (x 8), munie d'un micromètre permettant une mesure au 1/10 de mm (Figure N° 17)

La lecture se fait perpendiculairement aux limites des cernes. Il s'agit donc de mesurer l'épaisseur totale du cerne, c'est-à-dire, la mesure de l'épaisseur du bois initial (claire de printemps) et du bois final (foncé d'automne).



Figure N° 17 : Mesure de la largeur des cernes par une loupe graduée (photos : Arab A, 2020).

5. Analyse des données :

Les mesures des largeurs des cernes prises ont été transformées en tableau Excel. Les data brutes sont présentées en colonne, c'est-à-dire que chaque colonne représente une série de largeur de cernes. La première colonne du fichier contient les années. La première ligne contient les identifiants (numéro de l'arbre, numéro de la carotte).

5.1. analyse qualitative et vérification des épaisseurs des cernes :

Les épaisseurs des cernes de chaque carotte fournissent une série élémentaire. La moyenne de deux séries élémentaires d'un même arbre fournit une série individuelle pour chaque arbre. La chronologie maîtresse de la population résulte de la moyenne des épaisseurs des cernes de toutes les séries élémentaires. (Sarmoum et *al.*, 2016)

Pour vérifier le synchronisme entre les différentes séries, on va les transformer par la suite sur un graphe sous forme de nuage de point, dont les années successives figurent dans l'axe des abscisses et l'épaisseur des cernes dans l'axe des ordonnées.



5.1.1. Courbes élémentaires

Courbes représentatives des épaisseurs de cernes mesurés au niveau de chaque série élémentaires. Elles donnent l'allure de la croissance radiale de chaque carotte en fonction de la période de la formation des cernes. La juxtaposition des deux courbes élémentaires de la même population permet de vérifier l'interdatation. Pour certains arbres, un retour sur cette interdatation a été nécessaire afin d'obtenir un datage parfait (Sarmoum, 2008 ; Lebourgeois, 2010).

5.1.2. Courbes individuelles

La moyenne des deux séries élémentaires d'un même arbre fournit une chronologie individuelle représentative de l'arbre. Ces courbes permettent d'éliminer l'effet directionnel sur la croissance radial d'un même arbre. La comparaison des chronologies individuelles permet de vérifier le synchronisme entre ces courbes de la même population (Sarmoum, 2008).

5.1.3. Courbes maîtresses

Cette courbe est établie à partir de la moyenne de toutes les séries élémentaires d'une même population, elle schématise l'allure de la croissance radiale moyenne des individus de même population et minimise les variations individuelles de chaque arbre dues aux facteurs intrinsèques et extrinsèque pour ne garder que les variations liées essentiellement au climat (Sarmoum, 2008).

5.2. Analyse quantitative et statistiques des séries de cernes

Un grand nombre de statistiques dendrochronologiques peuvent être calculées sur les séries individuelles de largeurs de cerne afin de connaître les caractéristiques de leur signal (Fritts, 1976 *in* Lebourgeois, 2012) tels que :

5.2.1. La sensibilité moyenne (SM)

La sensibilité moyenne exprime l'ampleur des changements affectant à court terme la largeur des cernes. Elle définit la variation moyenne entre deux épaisseurs annuelles successives de la même chronologie et varie de 0 à 2. Plus ce coefficient est élevé plus la série de cernes est sensible aux variations interannuelles du climat (Lebourgeois, 2010).

Elle est obtenue par la formule suivante :

$$SM = \frac{\sum |2(X_{t+1} - X_t)|}{\sum (X_{t+1} + X_t)} \cdot \frac{1}{n-1}$$

Avec : n : nombre de cernes dans chaque chronologie

X_t : épaisseur de cerne à l'année t



5.2.2. l'épaisseur moyenne des cernes (EMC)

L'épaisseur moyenne des cernes (EMC) est égale à la somme de toutes les épaisseurs des cernes d'une chronologie divisée par le nombre de cernes.

$$EMC = \sum X_n / n$$

5.3. Standardisation des épaisseurs des cernes

La standardisation constitue une étape importante, parfois obligatoire, dans le traitement des séries dendrochronologiques qui sont considérées comme un modèle additif de plusieurs séries virtuelles correspondant aux différents signaux difficilement dissociables les uns des autres. Le signal peut être considéré comme l'information pertinente à l'étude ou considérée comme un bruit, c'est pour ça que les séries dendrochronologiques doivent être standardisées tout en éliminant des séries les signaux indésirables (bruit) tel que l'âge de l'arbre, afin de conserver au mieux le signal objectif climatique (Fritts, 1976 in Nicault et al., 2010 ; Nicault et al., 2010 ; Lebourgeois, 2012).

Le modèle additif décrit par Cook (1985) est :

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t \quad \text{Avec :}$$

R_t = la série de cernes observée,

A_t = la tendance reliée à l'âge,

C_t = le signal climatique,

$D1_t$ = les perturbations endogènes et les perturbations locales,

$D2_t$ = les perturbations exogènes à l'échelle du site

E_t = l'ensemble de la variabilité interannuelle non expliquée et non reliée aux autres signaux.

5.3.1. Standardisation par Les moyennes mobiles

Les méthodes de standardisation des séries dendrochronologiques sont diversifiées et reposent surtout sur le calcul des tendances théoriques de croissance.

Dans notre étude on a choisi de travailler par les méthodes d'estimation par lissage qui comprennent plusieurs filtres (Nicault, 2010). Le filtre le plus employé est la moyenne mobile qui permet de lisser la courbe initiale de façon à diminuer leur dispersion et d'écarter les pics et les creux afin de dégager une tendance tout en éliminant les variations liées à l'âge de l'arbre (Bourbonnais, 2001 ; NICOLAU, 2005).



Deux choses à faire Pour effectuer un lissage par moyenne mobile : (NICOLAU, 2005)

- Calculer des moyennes d'ordre p (ou une période p) d'une série (Y_t), ce qui consiste à :
 - considérer les p premières valeurs de la série et on calcule la moyenne, puis on lâche la première valeur et on calcule la moyenne des p valeurs suivantes, on répète ceci tant que l'on a p valeurs consécutives.
- Affecter ces moyennes mobiles à une date : cette date sera la date qui sera situé au milieu de la période p . Donc les moyennes mobiles d'ordre p de la série (Y_t) $t=1,2, \dots, np$ sont :

$$MMCP = 1/p \sum y_1, y_2 \dots y_p$$

Le choix de l'ordre de la moyenne mobile dépend de l'objectif recherché. Plus l'ordre est élevé, plus la série est lissée et les phénomènes de court terme sont alors éliminés, seul le mouvement de fond reste (Bourbonnais, 2001)

Et comme la périodicité des variations de nos séries chronologique est annuelle, on va calculer les valeurs théoriques des épaisseurs des cernes sur une période de 05 ans (NICOLAU, 2005).

5.3.2. Calcul des indices de croissance

C'est le rapport entre la valeur mesurée (X_t) et la valeur théorique de largeur du cerne correspondant (Y_t).

$$I_t = X_t / Y_t$$

Les valeurs de cet indice varient de 0 à 1 pour les cernes minces (croissance négative) et plus de 1 (atteignant parfois la valeur de 03 et 04) pour les cernes épais (croissance positive). (Sarmoum, 2008).

5.3.3. Recherche des années exceptionnelles de la croissance

L'élimination de la tendance de la croissance liée à l'âge, et à d'autres variables indésirables par la standardisation a permis de mettre en évidence les années exceptionnelles de la croissance qui correspondent à un indice de croissance minimal inférieur à Moy-ET pour les cernes minces et supérieur à Moy+ET pour les cernes épais par rapport à la valeur moyenne de 1 (Ifticene-Habani et Messaoudene, 2016) Donc :

$I_c < I_m - ET$, correspond à un cerne mince

$I_c > I_m + ET$, correspond à un cernes épai

Avec : I_m : indice moyenne de la croissance ; I_c : indice de la croissance de l'année ; ET : écart-type



6. Impact de la sécheresse sur la croissance et la vitalité du cèdre de l'Atlas :

Les végétaux ligneux sont capables de réagir à des stress exogènes. L'enregistrement de ces réponses peut être rencontré dans les anomalies morphologiques visibles ou dans les caractéristiques des cernes annuels (Astrade *et al.*, 2011).

Les chronologies de la largeur des cernes permettent d'identifier le climat et les changements de croissance. Selon Lloret *et al.* (2011), plusieurs indices ont été développés pour estimer la repense des arbres à la sécheresse afin d'évaluer la stabilité des peuplements.

On distingue donc trois catégories : résistance, récupération et résilience.

- **Résistance (R_t)**

C'est la capacité de résister à des perturbations mineures au cours du temps et l'inversion de la réduction de la croissance pendant ces perturbations (Lloret *et al.*, 2011 ; Thompson, 2011).

Elle correspond au rapport entre la croissance pendant la sécheresse (période de faible croissance) et la croissance pendant la période de pré-sécheresse (Lloret *et al.*, 2011).

$R_t = \text{l'année de sécheresse} / \text{l'année avant la sécheresse}$

- **Récupération, reprise ou rétablissement (R_c)**

C'est la capacité à se rétablir par rapport aux dommages donc c'est la croissance accrue par rapport à la croissance minimale pendant les perturbations. Elle est estimée comme étant le rapport entre la croissance après et pendant la perturbation (Lloret *et al.*, 2011).

$R_c = \text{l'année après la sécheresse} / \text{l'année de sécheresse}$

- **Résilience (R_s)**

C'est la capacité d'un écosystème, d'une communauté ou d'un individu à se rétablir après avoir subi des perturbations et à revenir à sa trajectoire antérieure (Lloret *et al.*, 2011 ; Thompson, 2011)

Elle correspond au rapport entre la croissance post-sécheresse et la croissance pré-sécheresse

$R_s = \text{l'année après la sécheresse} / \text{l'année avant la sécheresse} (\text{Résistance} * \text{Récupération})$

- **Résilience relative :**

C'est la résilience pondérée par les dommages subis pendant l'épisode.

$R_r = \text{Résilience} - \text{Résistance}$



Partie expérimentale
CHAPITRE 04
Résultats et Discussion



1. Analyse des données brutes

1.1. Analyse qualitative des épaisseurs des cernes

La transformation de différentes séries chronologiques (élémentaires, individuelles et de synthèse) en graphe sous forme de nuage de point, nous a permis de vérifier l'interdatation et le synchronisme entre ces séries.

Nous présentons ici les résultats concernant toutes les séries chronologiques mis à part celle de l'arbre 06 dont l'interdatation s'est rendue difficile donc on a dû l'éliminer.

1.1.1. séries élémentaires

La comparaison de deux courbes de croissance élémentaires d'un même arbre montre la différence entre les valeurs des épaisseurs de cernes des deux directions ce que confirme l'effet directionnel sur la croissance radial du même arbre. La juxtaposition des courbes élémentaires montre le bon synchronisme entre les séries de la même population et confirme la bonne interdatation (Figure N° 18).

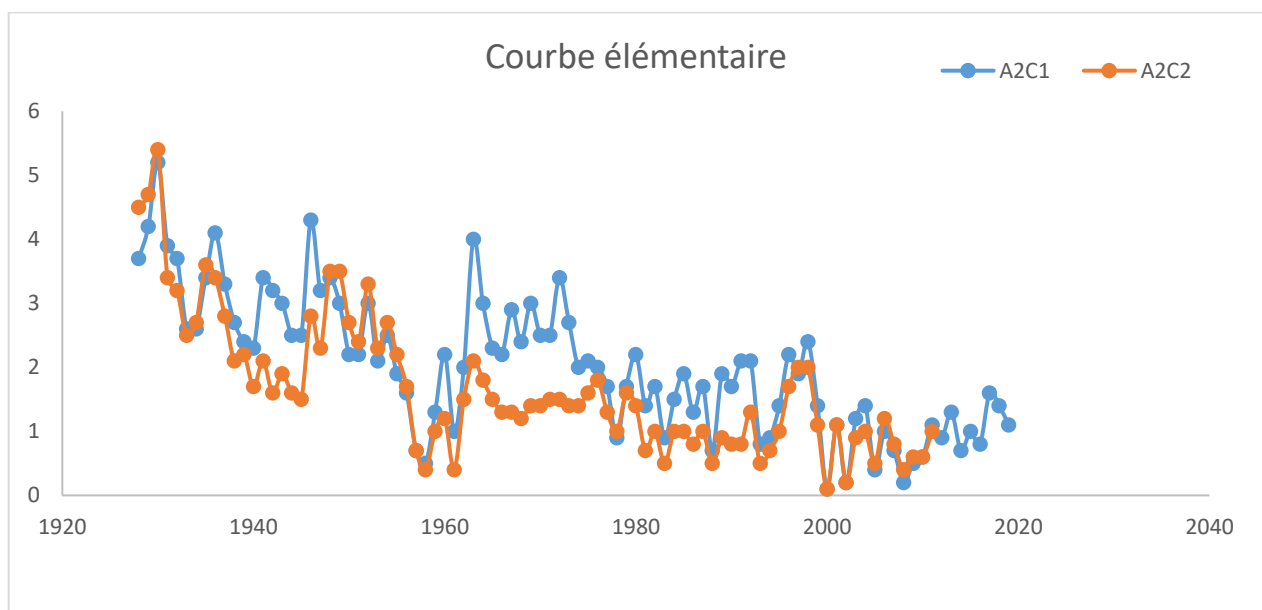


Figure N° 18 : Comparaison des épaisseurs des cernes de deux séries élémentaires d'un même arbre.

1.1.2. séries individuelles

Bien que l'examen des courbes individuelles montre des variations importantes des épaisseurs des cernes entre les séries individuelles (Figure N° 19), qui sont liées aux facteurs stationnels et intrinsèques de l'arbre, la tendance globale de la croissance ces courbes est similaire et traduit la diminution de la largeur du cerne avec l'âge et confirme le bon synchronisme entre les séries individuelles.



Les cernes de l'âge jeune sont caractérisés par des valeurs des épaisseurs élevées par contre aux cernes des années récentes caractérisées par des valeurs des épaisseurs faibles.

A partir des années 1980 les valeurs des épaisseurs des cernes deviennent plus en plus faibles.

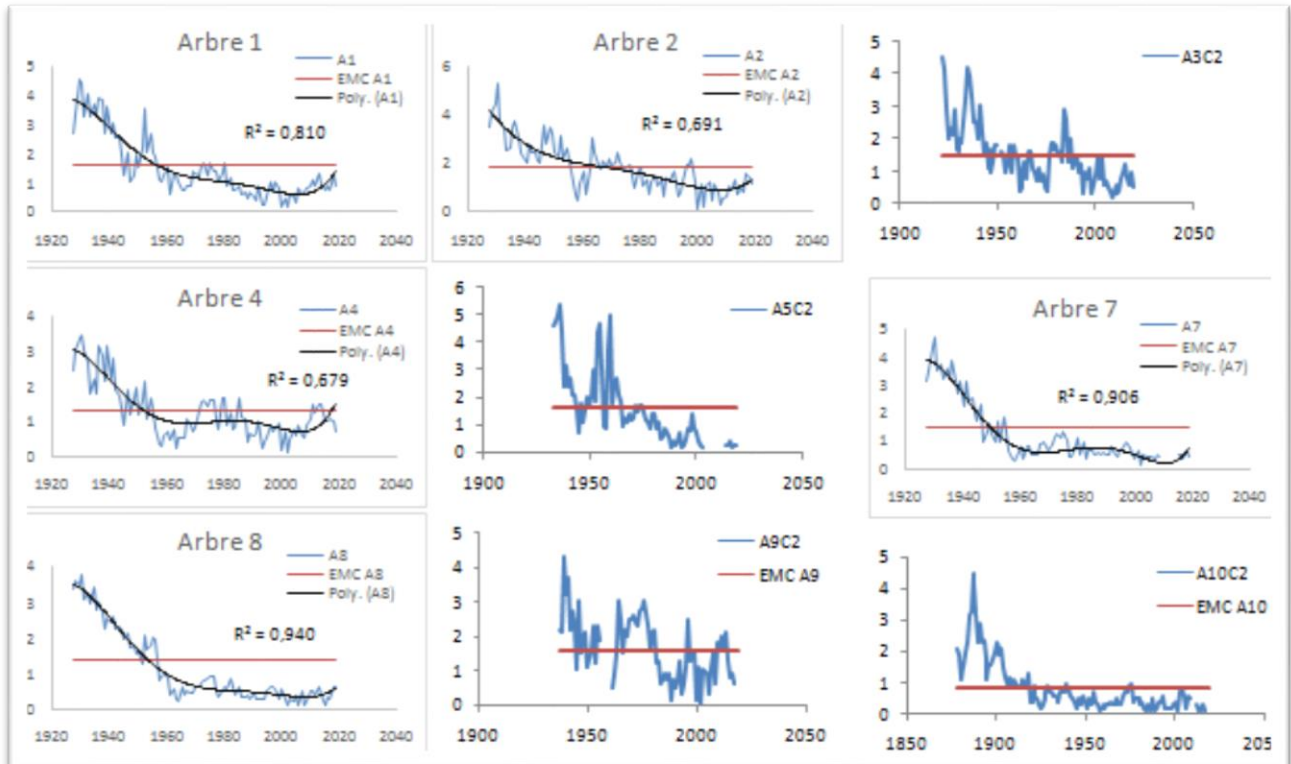


Figure N° 19 : Comparaison des séries individuelles d'une même station.

1.1.3. séries de synthèse

L'établissement d'une courbe de synthèse pour la croissance radiale de l'ensemble du peuplement permet d'éliminer toute tendance liée aux facteurs stationnels, pour ne garder que l'effet régional.

L'examen de cette courbe met en évidence la tendance globale de l'évolution des épaisseurs des cernes d'une population au cours du temps (Figure N° 20).

Dans le vieil âge, la courbe présente une forte diminution de croissance radiale.

Selon Rabhi et *al.*, (2018), Les peuplements du cèdre continuent de croître légèrement au-delà de 90 ans.

Nous avons constaté une diminution de la croissance dans les années 1950 puis une reprise après l'année 1960 puis une autre réduction de la croissance remarquable après l'année 1980 probablement liées aux conditions favorables ou défavorables à la croissance notamment climatiques.



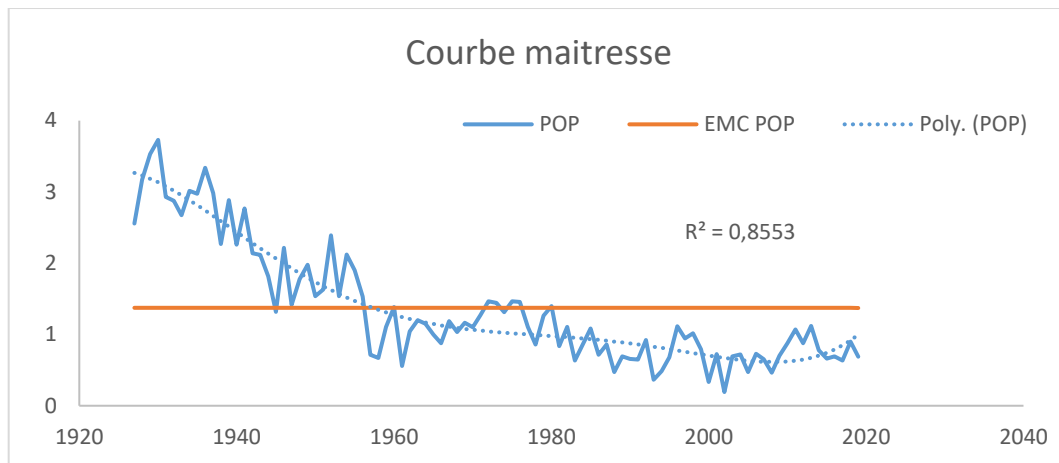


Figure N° 20 : Variations des épaisseurs des cernes annuelles du cèdre de l’Atlas dans la chronologie de synthèse avec ajustement polynomial.

1-2- Analyse quantitative des épaisseurs brutes de cernes

Le tableau ci-dessous affiche les paramètres statistiques calculés pour la population étudiée.

Tableau N° 06 : Paramètres statistiques calculés pour les individus de la population.

Arbre	A1	A2	A3	A4	A5	A7	A8	A9	A10	CM
Etat	S	S	S	S	S	S	S	S	dp	/
EMC	1.58	1.84	1.48	1.3	1.63	1.47	1.37	1.62	0.85	1.37
SM	0.33	0.39	0.41	0.39	0.41	0.36	0.33	0.55	0.41	0.29
SM 1980	0.44	0.56	0.49	0.48	0.55	0.51	0.54	0.77	0.68	0.4
Vmax	4.6	5.3	4.5	3.5	5.4	5.9	6.4	4.3	4.5	3.7
Vmin	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3

Avec : **ECM** : Epaisseur moyenne des cernes. **SM** : sensibilité moyenne. **S** : Arbre Sain. **Dp** : arbre dépéri. **Vmax** : valeur maximale des épaisseurs des cernes. **Vmin** : valeur minimales des épaisseurs des cernes. **CM** : chronologie maitresse

1.2.1. Epaisseur moyenne des cernes (EMC)

Les valeurs des épaisseurs des cernes des arbres varient de 0,1 à 6,4 mm



Les valeurs de l'épaisseur moyenne des cernes (EMC) varient d'un arbre à un autre, elles oscillent entre 0.85 et 1.84 mm/an et une valeur moyenne de 1.37mm/an pour l'ensemble de la population

La plus faible EMC correspond à l'arbre dépéri, et les valeurs les plus élevées correspondent aux arbres dominants, avec une exception pour les arbres A5 (codominants) et A9 (dominé) qui ont des valeurs très élevées de l'EMC

Deux phases de croissance ont été recensées dès la comparaison des variations des épaisseurs des cernes par rapport à l'épaisseur moyenne des cernes (EMC) :

- Les phases de croissance juvénile caractérisées par des valeurs des épaisseurs des cernes supérieures à l'épaisseur moyenne des cernes (EMC).
- La deuxième phase caractérisée par des valeurs de croissance inférieures à (EMC). elle est commune à partir des années 1950 jusqu'à 1960 et après l'année 1980 pour tous les individus, et dès 1960 pour l'ensemble de la population

1.2.2. La sensibilité moyenne

On a calculé la sensibilité moyenne de deux chronologies, la chronologie globale et la chronologie à partir des années 1980.

Les valeurs de sensibilité moyenne (SM) des séries individuelles varient de 0,33 à 0,41. La SM de l'ensemble de la population est de 0.29

Les arbres sondés sont sensibles aux variations interannuelles du climat avec une valeur de SM supérieure à la norme méditerranéenne de 0,21 (Serre, 1973 *in* Rabhi *et al.*, 2018).

Les valeurs de la SM à partir des années 1980 sont beaucoup plus élevés et supérieurs de celles de la chronologie globale ce qui explique l'augmentation de la sensibilité de la population aux variations interannuelles du climat dans cette période, associée à la sécheresse.

La population pépinière est donc sensitive.

2. Analyse des données standardisées

La courbe standardisée est centrées autour d'une valeur moyenne de 1(Figure N° 21).

La fonction de lissage d'une courbe de synthèse permet de distinguer les années exceptionnelles de la croissance qui correspondent aux crises de croissance ou à des périodes très favorables à la croissance comme suit :

- Les valeurs minimales inférieures à 1 correspondent aux cernes minces
- Les valeurs maximales pouvant atteindre 2 correspondent aux cernes très épais.



Dans la période de 1945 à 2008, 25 cernes caractéristiques ont été repérés dont 12 cernes épais et 13 minces. Ces derniers sont fréquents à partir des années 1980.

2.1. Les années exceptionnelles de la croissance :

Les cernes épais correspondent aux : 1946 ; 1952 ; 1959 ; 1960 ; 1980 ; 1985 ; 1992 ; 1996 ; 2001 ; 2003 ; 2004 ; 2013.

Les cernes minces correspondent aux : 1945 ; 1957 ; 1985 ; 1961 ; 1978 ; 1983 ; 1988 ; 1993 ; 1994 ; 2000 ; 2002 ; 2005 ; 2008.

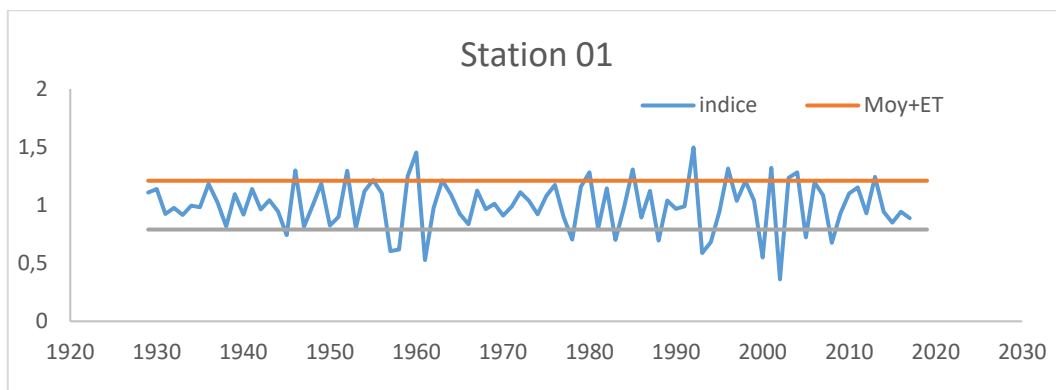


Figure N° 21 : Variations des épaisseurs des cernes annuelles du cèdre de l'Atlas dans la chronologie de synthèse standardisée par moyennes mobiles.

3. Impact de la sécheresse sur la croissance et la vitalité :

Pour quantifier la repense du cèdre de l'Atlas à la sécheresse selon les indices de Lloret et *al*, nous avons sélectionné les années de très faible croissance : 1961, 1983 ; 2000 et 2002, attribuables aux périodes de sécheresse et/ou apparition de dépérissement (Sarmoum et *al.*, 2019).

La figure (22) présente les variations de croissance correspondants aux années qu'on a cité et les années qui les précèdent directement et les années qui les suivent directement.



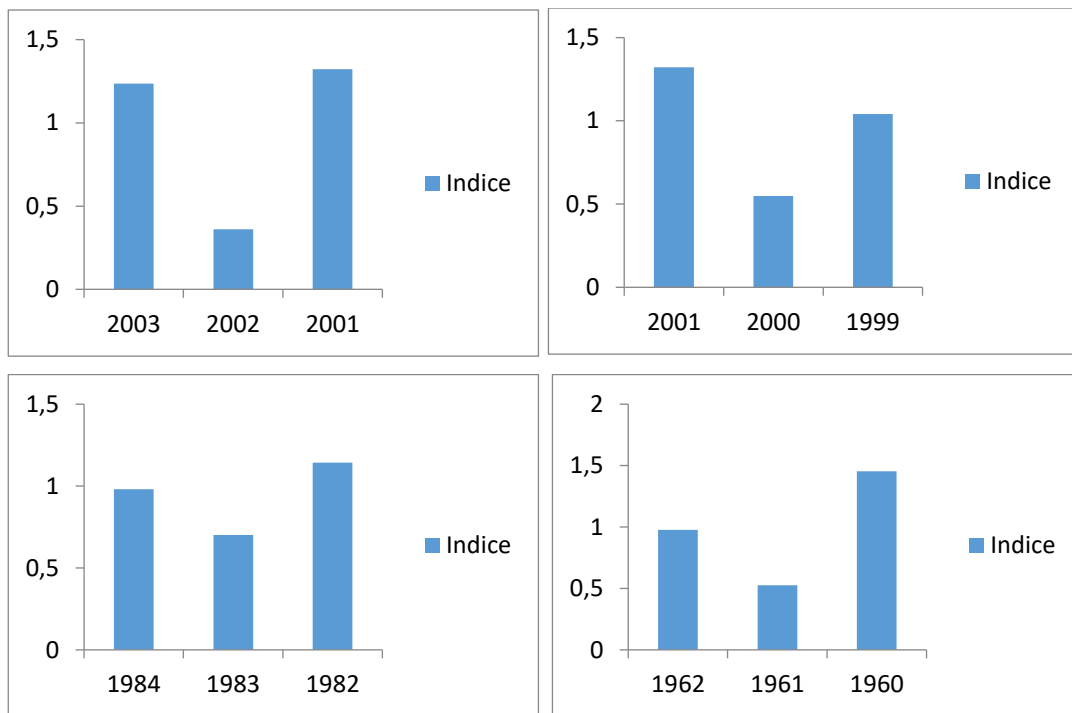


Figure N° 22 : Variations de la croissance avant, pendant et après les années de sécheresse.

Nous remarquons que les années qui précèdent l'année de la sécheresse ont un taux de croissance élevé par rapport aux années de sécheresse caractérisées par l'élaboration des cernes très étroites.

Les années qui suivent l'année de la sécheresse rencontrent une augmentation de la croissance n'atteignant pas le niveau de croissance des années qui précèdent la sécheresse cas des années 1961, 1983 et 2002. Pour l'année 2000, la croissance après la sécheresse était plus importante que celle de l'année qui précède la sécheresse.

3.1. Les indices de résilience

3.1.1. Indice de résistance

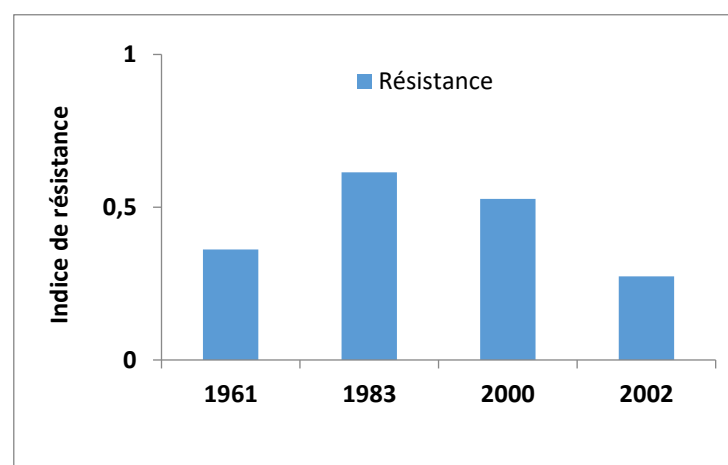


Figure N° 23 : Indice de résistance de la population du cèdre d'Atlas dans la zone d'étude.



Les valeurs de la résistance de la population dans les années de sécheresse sont inférieures à 1 (Figure N° 23) ce qui indique une réduction de la croissance radiales pendant les années liées à la sécheresse, donc la sécheresse influe négativement la croissance radiales des arbres.

L'année 2002 représente la valeur la plus faible de résistance. Cette année a été caractérisée par une forte sécheresse ce qui a induit une forte mortalité des arbres suite au dépérissement (Sarmoum, 2008). L'année 1961 était caractérisée aussi par une forte sécheresse pour toute l'Afrique du Nord ce qui a répercuté négativement sur la croissance des arbres (Touchan et *al.*, 2008).

3.1.2. Indice de récupération

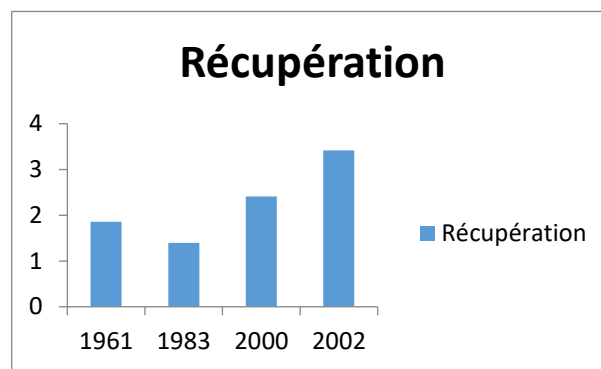


Figure N° 24 : Indice de récupération de la population du cèdre d'Atlas dans la zone d'étude.

Cet indice est positif et supérieur à 1 dans toutes les années de sécheresse (Figure N° 24), il explique donc la progression de la croissance de la population après la période de la sécheresse.

La forte reprise de la croissance durant l'année 2003 explique la forte valeur de l'indice de récupération de l'année 2002. Les conditions climatiques particulière de l'année 2003 caractérisée par une humidité exceptionnelle était à l'origine d'une forte reprise de la croissance pour toute la cedraie de Theniet El Had (Sarmoum et *al.*, 2019). D'une manière globale, nous pouvons suggérer que les années humides entraînent une reprise rapide de la croissance après les épisodes de sécheresse.

L'année 1983 représente la valeur de récupération la plus faible car cette année a été suivi par une autre année de sécheresse (1984) ce qui a aggravé la situation. Notons que cette période (1983-1984) correspond à l'apparition du dépérissement dans la cédraie de Theniet El Had (Sarmoum, 2008).



3.1.3. Indice de résilience

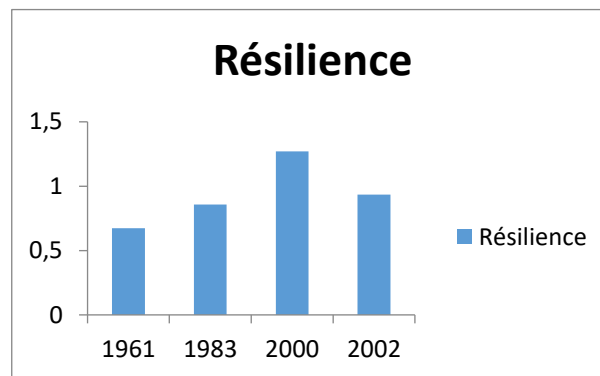


Figure N° 25 : Indice de résilience de la population du cèdre d'Atlas dans la zone d'étude.

La résilience est directement liée à la fois à la résistance et à la récupération, et comme la résistance est négative, les valeurs de la résilience sont généralement négatives et inférieures à 1 (excepté de l'année 2000) (figure N°25), donc la croissance après les années de sécheresse n'atteint pas celle des années qui précèdent les périodes de sécheresse, ce que explique que notre population ne pouvait pas se croître aisément et n'a pas trouvé son état initial. L'année 2000 affiche une résilience très positive (supérieure à 1) donc un retour de la croissance des arbres à l'état initial qui peut être expliqué par la diminution de la compétition entre les arbres suite à la mortalité de certains sujets après dépérissement ou encore des coupes d'éclaircis ou illicites.

3.1.4. Indice de résilience relative

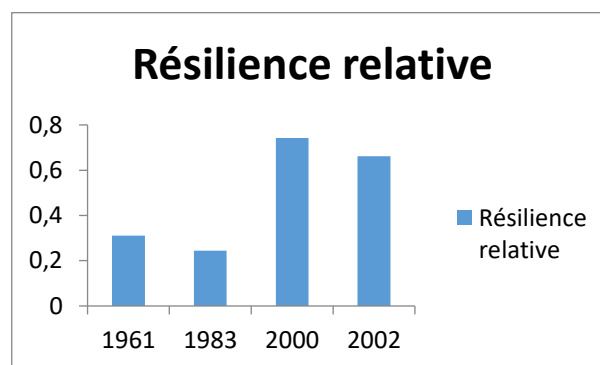


Figure N° 26 : Indice de résilience relative de la population du cèdre d'Atlas dans la zone d'étude.

La résilience relative affiche des valeurs négatives, inférieures à 1 (figure N°26) car la croissance après l'année de la sécheresse est toujours inférieure à celle correspondante à l'année de la sécheresse. Ces valeurs indiquent que l'effet de la sécheresse persiste après la perturbation. Les valeurs plus faibles des années 1961 et 1983 indiquent une diminution de la résilience de la population suite à des épisodes de forte sécheresse.



Conclusion



Conclusion

Au terme de ce travail qui vise à étudier la vitalité et la croissance du cèdre de l'Atlas dans le canton pépinière dans la cédraie du Parc National de Theniet El Had, la méthodologie suivie est celle de la technique de la dendrochronologie qui consiste à dater et mesurer la croissance des cernes au fil d'une séquence chronologique qui pour notre étude, commence de 1878 à 2019.

Les résultats obtenus indiquent que la croissance des arbres varie d'une année à une autre à l'échelle de la chronologie. D'une manière globale, la croissance affiche une tendance à la décroissance liée à l'effet de l'âge attestée par les courbes élémentaires, individuelles et maitresse.

Elle est aussi caractérisée par des phases de forte croissance et des phases de croissance négative. Quant aux paramètres quantitatifs, elles indiquent que des arbres de la même population affichent des niveaux de croissance différents, attestées par une épaisseur moyenne des cernes variable ce qui indique qu'il y a un effet stationnel important pour la croissance à la fois lié au patrimoine génétique et les conditions microstationnelles telles que la compétition et les coupes. Quant à la sensibilité moyenne, on affiche en générale des valeurs assez élevées pour les arbres et moins élevées pour la population mais ça restent toujours supérieur à 0.20, ce qui indique que la population est sensible aux variations climatiques notamment la sécheresse.

L'étude des années caractéristiques après la standardisation nous montre l'existence de plusieurs cernes caractéristiques, épais liés à des périodes humides et minces liés à des périodes sèches. Les années qui sont caractérisées par une forte diminution de la croissance sont celles des années : 1961 ; 1983 ; 2000 et 2002. Ces années ont été caractérisées par une sécheresse assez marquée. Les résultats liés aux calculs de différents indices de la résilience après des périodes de sécheresse, affichent des valeurs négatives pour la résistance, plus ou moins positives pour la récupération et encore négatives pour la résilience, ce qui indique que malgré l'existence d'une reprise de la croissance de la population après la période de la sécheresse, l'effet de la sécheresse persistera encore pour les années suivantes.

Dans le contexte actuel des changements climatiques marqué par l'augmentation de la température et la diminution des précipitations, l'effet du stress hydrique sera plus élevé sur les arbres qui ne sont pas adaptés à une forte sécheresse, comme c'est le cas du cèdre de l'Atlas. L'avenir des cédraies est donc incertain si les différentes pressions y persistent encore. Un suivi permanent et à long terme de l'état de santé des peuplements serait nécessaire, de même qu'il serait indispensable de mener une action pluridisciplinaire (sylvicole, écophysiological, phytoécologique, phytopathologique, écovégétative...) afin de conserver l'écosystème à cèdre ; un grand réservoir de la diversité biologique.



Références bibliographiques



Références bibliographiques

- ✓ Abdelguerfi A., 2003. Mises en œuvre des mesures générales pour la conservation *in situ* et *ex situ* et l'utilisation durable de la biodiversité en Algérie. *Rapport de Synthèse sur « La Conservation in situ et ex situ en Algérie » MATE-GEF/PNUD : Projet ALG/97/G31* (Tome 01). 98p
- ✓ Abdelguerfi A., 2003. Mises en œuvre des mesures générales pour la conservation *in situ* et *ex situ* et l'utilisation durable de la biodiversité en Algérie. *Rapport de Synthèse sur « La Conservation in situ et ex situ en Algérie » MATE-GEF/PNUD : Projet ALG/97/G31* (Tome 04). 229p
- ✓ Abdelhamid D. ; Marniche F. ; Allal-Benfekih L. ; Benadjroud N. ; Mouna M., 2017. Importance des coléoptères selvatiques associés au cèdre de l'Atlas au niveau du parc national de Theniet El Had (Algérie). *Agrobiologia*, X (X) : 297-311. <http://agrobiologia.net/online/tag/cedre-de-latlas/>
- ✓ Abourouh M. et Morelet M., 1999. les champignons parasites du cedre de l'atlas en afrique du Nord et en France. *Forêt méditerranéenne*. t. xx, n ° 4 : p 198- 202
- ✓ Astrade L. ; Stoffel M. ; Corona C. ; Lopez-Saez J., 2011. L'utilisation des cernes de croissance des arbres pour l'étude des événements et des changements morphologiques : *intérêts, méthodes et apports des recherches alpines à la dendrogéomorphologie*. p. 295-316 <https://journals.openedition.org/geomorphologie/9925>
- ✓ Bentouati A. et Oudjehih B., 1999. Première étude de la croissance et de la productivité du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Belezma (Aurès - Algérie). *Forêt méditerranéenne t. XX, n° 2, 115-119*
- ✓ Bentouati A. et Bariteau M., 2006. Réflexions sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Foret Méditerranéenne*, 27 (4) :317-322.
- ✓ Bentouati A., 2008. La situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Foret Méditerranéenne XXIX n° 2 : 203-208*.
- ✓ Bonneau M. et Timbal J., 1973. Définition et cartographie des stations : conceptions françaises et étrangères. *Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences*, 30 (3), pp.201-218.
- ✓ Bouazza, Kh. ; Dellal A. ; Mehdadi Z. ; Zedek M. ; Kharytonov M., 2018. Site variability and dieback of atlas cedar in the cedar forest of Theniet El Had (West of Algeria). *Agriculture & Forestry*. Vol : 64. 89-99
- ✓ Bourbonnais R., 2001. Préviation des ventes. Polycopié du produit multimédia. Université de Paris-Dauphine. 89p
- ✓ Coombes A-J., 1992. Arbres 500 espèces.320 p
- ✓ Demartean M. ; Francois L. ; Cheddadi R. ; Roche E., 2007. Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. *Geo-Eco-Trop*, 31: 105 – 146.
- ✓ Dubé F., 2007. Étude sur la dynamique de succession et de régénération du cèdre de l'Atlas



Références bibliographiques

- (*Cedrus atlantica* (Endl Carrière) et du chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lam.) dans le parc national d'Ifrane au Maroc. Rapport de stage II en vue de l'obtention du grade de maître en écologie internationale. Faculté des sciences. Université de Sherbrooke. 69pp + annexe.
- ✓ Eberle P., 2012. Effet du statut social des arbres sur la réponse du Hêtre et du Sapin au climat et à ses aléas, en peuplements mélangés dans le contexte du massif Vosgien. Soutenance de stage de Master 2, Sciences de l'environnement. P 1-24
 - ✓ El Azzouzi K. et Keller R., 1998. Propriétés technologiques du bois de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). *Forêt méditerranéenne t. x/x*, n° 1. P 11-33
 - ✓ Emberger L., 1938. Contribution à la connaissance des Cèdres et en particulier du Deodar et du Cèdre de l'Atlas. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*. n°198. pp. 77-92.
 - ✓ FABRE J-P. ; MOUNA M. ; MERLE P. ; BENHALIMA S., 1999. Le point sur certains ravageurs du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord, en France et en Europe. *Forêt méditerranéenne t. xx*, n° 4. PP 203-2018.
 - ✓ Ghaioule D. et Lieutier F., 2009. Dépérissement du cèdre et relations avec les facteurs biologiques dans le Moyen atlas. [*Annales de la Recherche Forestière au Maroc*. Vol. 41.69-77](#)
 - ✓ Glèlè Kakai R. ; Salako V-K. ; Lykke A-M., 2016. Techniques d'échantillonnage en étude de végétation. *Annales des Sciences Agronomiques*. N°20 :1- 13
 - ✓ Hainry D. et Colombet M., 2009. Bilan des introductions et perspectives d'utilisation du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) en Bretagne. CRPF de Bretagne. 10p
 - ✓ Ifticene Habani N. et Messaoudene M., 2016. Croissance radiale et sensibilité au climat du pistachier de l'Atlas, *Pistacia atlantica* en Algérie. *bois et forêts des tropiques*, N° 3 2 9. 3-15.
 - ✓ Kherchouche D. ; Kalla M. ; Gutierrez E. ; Briki A. ; Hamchi A., 2013. La sécheresse et le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Belezma (Algerie). *Sécheresse* 24 : 129-37
 - ✓ Landmann G., 1994. Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers. *Revue Forestière Française*, 5 : 405-416. <https://doi.org/10.4267/2042/26563>
 - ✓ Lebourgeois F., 2014. Principe de la standardisation des séries chronologiques de cernes. 1-69.
 - ✓ Lloret F. ; Keeling E-G. ; Sala A., 2011. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos* 120: 1909–1920
 - ✓ Mediouni K. et Yahi N., 1989. Etude structurale de la série du cèdre à Aït-Ouabane Djurdjura. *Forêt méditerranéenne t. XI*, n° 2. 103- 112.
 - ✓ Messaoudene M. ; Rabhi K. ; Megdoud A. ; Sarmoum M. ; Dahmani Megrerouche M., 2013. Etat des lieux et perspectives des cédraies algériennes. *Forêt méditerranéenne t. XXXIV*, n° 4. 341-346
 - ✓ M'hirit O., 1999. Le cèdre de l'Atlas a travers le réseau silvamediterranea «cèdre». Bilan et perspectives. *Forêt méditerranéenne t. XX*, n° 3. 91-99.



Références bibliographiques

- ✓ M'hirit O. et bnzyane M. 2006. Le cèdre de l'atlas mémoire du temps. 101p.
- ✓ Navarro Cerrillo R. ; Sarmoum M. ; Gazol A. ; Abdoun F. ; Julio Camarero J., 2019. The decline of Algerian *Cedrus atlantica* forests is driven by a climate shift towards drier conditions. *Dendrochronologia*. N°: 55. 60-70
- ✓ Nezar Kebaili M., 2009. Influence de quelques variables du milieu sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Belezma (Batna). Mémoire de Magistère. Université de Batna. Algérie. 84 pp + annexes
- ✓ Nicault A. ; Bégin Y. ; Guiot J., 2012. Standardisation des séries dendrochronologiques.
- ✓ Nicolau F., 2005. Séries chronologiques. IUT de NICE CÔTE D'AZUR. Département STID.
- ✓ PNTEH. 2006. Atlas des parcs nationaux algériens. *ED-DIWAN*, Algérie.
- ✓ PNTEH .2014. Plan de gestion N°03.
- ✓ Rabhi K. ; Tafer M. ; Messaoudene M., 2014. Évolution des proportions d'aubier et de duramen du cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* Manetti, en Algérie. *Bois et forêts des tropiques*, N° 322 : 77-87.
- ✓ Rabhi K. ; Akli A. ; Djouhri A. ; Yahi N. ; Boudedja S. ; Messaoudene M., 2018. Bilan et croissance des reboisements de cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière, en Algérie : cas du Djurdjura et de l'Atlas blidéen. *Bois et Forêts des Tropiques* .Vol : 337 : 3-15.
- ✓ Rhafouri R. ; Strani B. ; Zair T. ; Ghanmi M. ; Aafi A. ; El Omari M. ; Bentayeb A., 2014. Chemical composition, antibacterial and antifungal activities of the *Cedrus atlantica* (Endl.) Manettiex Carrière seeds essential oil. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 3(5) : 1034-1043.
- ✓ Sarmoum M., 2008. Impact du climat sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas. Diagnostic climatique et dendroécologique de la cédraie de Theniet El Had. Thèse de magister USTHB, Alger, Algérie. 87pp
- ✓ Sarmoum M. ; Guibal F. ; Abdoun F. 2016. Effet des facteurs stationnels sur la croissance radiale et la réponse du pin d'Alep au climat dans le massif de l'Ouarsenis, Algérie. *Bois et Forêts des Tropiques*. N ° 329 : 17-27
- ✓ Sarmoum M. ; Navarro Cerrillo R. ; Guibal F. ; Abdoun F., 2018. Structure, Tree Growth and Dynamics of *Cedrus atlantica* Manetti Forests in Theniet El Had National Park (N-W Algeria). *Open Journal of Ecology*, 8 :432-446.
<https://doi.org/10.4236/oje.2018.88026>
- ✓ Sarmoum M. ; Navarro-Cerrillo R. ; Guibal F. ; Abdoun F., 2019a. impact of drought and site characteristics on vitality and radial growth of *Cedrus atlantica* manetti in the Ouarsenis massif (ALGERIA). *AGROFOR International Journal*. N°: 03. 42-52



Références bibliographiques

- ✓ Sarmoum M. ; Navarro Cerrillo R. ; Guibal F., 2019b. Bilan actuel et rétrospectif du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le Parc national de Theniet El Had (Algérie). *Bois et Forêts des Tropiques*. Vol : 342. 29-40
- ✓ Talbi Y. et Bouhraoua R-T., 2015. Complexe xylophage associé au dépérissement du cèdre de l'Atlas au bélezma (algérie). *Lebanese Science Journal*, Vol. 16, No. 1 : 97-106.
- ✓ Tassin C., 2012. Paysages végétaux du domaine méditerranéen : bassin méditerranéen, Californie, Chili central, Afrique du Sud, Australie méridionale. 304p
- ✓ Toth J., 2005. Le cèdre de France : Etude approfondie de l'espèce. 208 p
- ✓ Touchan R. ; Anchukaitis K. ; Meko D. ; Attala S. ; Baisan C. ; Aloui A., 2008. A long term context for recent drought in Northwestern Africa. *Geophys. Res. Lett.* 35 : 13705–13710
- ✓ Yahi N. ; Djellouli Y. ; Foucault B., 2008. Diversités floristique et biogéographique des cédraies d'Algérie. *Acta Botanica Gallica*. N°3 :389-402.
- ✓ Yahi N. et Djellouli Y., 2010. Groupements forestiers et préforestiers à *Cedrus atlantica* Manetti d'Algérie : état des connaissances et dynamique des syntaxons. *Rev. For. Fr.* LXII - 3-4 : 309- 316.
- ✓ Zine El Abidine A. ; Lamhamedi M. ; Taoufik A., 2013. Relations hydriques des arbres sains et dépérissants de *Cedrus atlantica* M. au Moyen Atlas Tabulaire au Maroc. *Geo-Eco-Trop.*37, 2 : 157-176



Résumé

Ce travail est mené dans le canton pépinière dans la cédraie du Parc national de Theniet El Had.

Nous avons utilisé l'approche dendrochronologique afin d'évaluer la croissance et la vitalité du cèdre de l'Atlas sur une chronologie qui commence de 1878 à 2019, et connaître les facteurs responsables sur le déclin de la croissance et comprendre la repense de l'espèce avec la sécheresse.

Les résultats montrent un bon synchronisme entre les courbes individuelles et celle de la chronologie moyenne de la population, ce qui explique l'effet décroissant de l'âge sur la croissance des arbres.

La croissance radiale a connu un déclin important à partir des années 1980, ce qui explique l'influence des facteurs climatiques sur la croissance des arbres.

Le cèdre de l'Atlas est très sensible aux fluctuations climatiques notamment la sécheresse. L'arbre dépéri se distingue par une faible croissance et une sensibilité moyenne au climat très élevée par rapport aux arbres sains.

La vitalité de l'espèce semble être conditionnée par la fréquence des années de sécheresse. Les indices de la résilience montrent que l'effet de la sécheresse persistera pour les années suivantes et affecte négativement la croissance et donc la vitalité de l'espèce.

Mots clé : *Cedrus atlantica* Manetti, dépérissement, dendrochronologie, Parc National de Theniet El Had, croissance, sécheresse.

Abstract

This study is conducted in Atlas cedar's forest in the national park of Théniet El Had. We used the dendrochronological approach to evaluate the growth and the vitality of Atlas cedar on a chronology starting from 1878 to 2019, and to know the responsible factors for the decline in growth and understand the adaptation mechanisms of the species.

The results show a good synchronicity between the individual curves and that of the average chronology of the population which explains the decreasing effect of age on tree growth.

Radial growth declined significantly from the 1980 which explains the influence of climatic factors on tree growth.

Atlas cedar is very sensitive to climatic fluctuations, especially drought. The decayed tree is characterized by a weak growth and a very high average sensitivity to the climate in comparison to healthy trees.

The vitality of the species seems to be conditioned by the frequency of drought years. Resilience indices show that the effect of drought will persist for the next few years and affects negatively the growth and thus the vitality of the species.

Keywords : *Cedrus atlantica* Manetti, dieback, dendrochronology, growth, drought, the national park of Theniet El Had, drought.



أنجزت هذه الدراسة بغابة الأرز الأطلسي بالحضيرة الوطنية لثنية الحد.

لتقييم نمو وحيوية الأرز الأطلس على جدول زمني يمتد من 1878 إلى 2019 قمنا باستخدام منهج La dendrochronologie

وذلك لمعرفة العوامل المسؤولة عن تراجع النمو وفهم آليات تكيف هذا النوع النباتي.

تظهر النتائج توافقاً جيداً بين المنحنيات الفردية وتلك الخاصة بمتوسط التسلسل الزمني للمجموعة، مما يفسر التأثير السلبي للعمر على نمو الأشجار.

عرف النمو انخفاضاً كبيراً منذ الثمانينات، وهو ما يفسر تأثير العوامل المناخية على نمو الأشجار

أرز الأطلس حساس جداً للتقلبات المناخية، وخاصة الجفاف. تتميز الأشجار الذابلة بنمو ضعيف وحساسية عالية جداً للمناخ مقارنة بالأشجار السليمة.

يبدو أن حيوية الأنواع مشروطة بتكرار سنوات الجفاف. تظهر مؤشرات المرونة أن تأثير الجفاف سيستمر في السنوات التالية ويؤثر سلباً على النمو وبالتالي على حيوية النوع

الكلمات المفتاحية: الأرز الأطلسي، الحضيرة الوطنية لثنية الحد، النمو، الجفاف

