

# REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université SAAD DAHLEB – Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département De Biologie

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master dans le domaine SNV

Filière Science Biologiques

**Option : Biodiversité et Physiologie Végétale**

Thème

**Dépérissement du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* et influence des facteurs biologiques.**

Date de la soutenance : 14/07/2021

Présentées par :

\* **Menzou Sabrina**

\* **Lahlah Houda**

Devant le jury :

<b>Nom</b>	<b>Grade</b>	<b>/ Lieu</b>	<b>Qualité</b>
• <b>Mme Cherif. H.S</b>	<b>MCA</b>	<b>/ USDB</b>	<b>Présidente</b>
• <b>Mme Chabane. D</b>	<b>MAA</b>	<b>/ USDB</b>	<b>Examinatrice</b>
• <b>Mme Takarli. S</b>	<b>MAA</b>	<b>/ USDB</b>	<b>Promotrice</b>
• <b>Mme Benmansour. N</b>	<b>MCA</b>	<b>/ USDB</b>	<b>Co-promotrice</b>

**Promotion: 2020-2021**

## Remerciements

Avant de présenter ce modeste travail, nous tenons à remercier le Dieu le tout puissant de nous avoir accordé la volonté, la force et la patience pour terminer ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements pour toutes les personnes qui nous ont assistés.

Qu'il nous soit permis d'exprimer notre profonde gratitude et toute notre reconnaissance à notre encadreur Mme Takarli Souad, pour avoir voulu accepter de diriger ce travail, cette constante disponibilité associée à son esprit critique, que tous ses précieux conseils. Ce fut un honneur pour nous de travailler avec elle.

Et à notre co-promotrice Mme Benmansour N, pour avoir accepté de diriger notre travail.

Nous tenons à la remercier Mme Cherif H.S infiniment qui a acceptée de présider le jury de ce mémoire. D'avoir bien veillé au bon déroulement de notre formation durant notre cursus

À Mme Chabane D, pour avoir acceptée d'examiner et juger ce travail, c'est un honneur pour nous que vous examinez ce travail avec la minutie et la rigueur scientifique avec laquelle, vous nous avez transmis le savoir. Veuillez trouver ici l'expression de notre profond respect.

À tous les enseignants qui ont contribué à notre formation et aux fonctionnaires de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Blida, et à toute personne ayant participé de près ou de loin à la réussite de ce travail et merci.

## **Dédicace :**

*C'est avec grand plaisir que je dédie ce modeste travail marquant de ma vie à la mémoire :*

*À ma très chère mère et mon cher père.*

*Pour leurs efforts et leurs sacrifices durant toute ma vie, leur amour, leur encouragement et soutiens pour persévérer jusqu'à l'aboutissement de ce travail. Qu'ils retrouvent dans ce travail, l'expression de ma reconnaissance. Que dieu vous bénisse et vous accorde une longue vie pleine de satisfaction.*

*À mes très chères sœurs et leurs enfants source de joie et de bonheur ;*

*Chahinez, Nihad, Inas, Malak, Sirine, Achwak,*

*À une personne très très chère dans ma vie ; Imene.*

*À Houda, chère amie avant d'être binôme, symbole de*

*Tendresse et de fidélité et courage.*

## **Dédicace :**

*C'est avec grand plaisir que je dédie ce modeste travail marquant de ma vie à la mémoire :*

*À mes chers parents*

*Pour leurs efforts et leurs sacrifices durant toute ma vie, leur amour, leur encouragement et soutiens pour persévérer jusqu'à l'aboutissement de ce travail. Qu'ils retrouvent dans ce travail, l'expression de ma reconnaissance. Que dieu vous bénisse et vous accorde une longue vie pleine de satisfaction.*

*À mes très chères sœurs et leurs enfants source de joie et de bonheur*

*À mes deux frères*

*À une personne très chère,*

*À celle qui m'a aidée et encouragée pour aller plus loin possible dans ma vie, aussi bien dans Les moments difficiles que dans le temps de faste ; À celle qui a toujours été pour moi, synonyme de Confiance, d'aide et de compréhension ; À ma chère sœur SARAH*

*À mes chères amies,*

*En souvenir de nos éclats, et des bons moments, en souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble, j'espère de tout mon cœur que notre amitié durera éternellement.*

*A Sabrina, chère amie avant d'être binôme, symbole de*

*Tendresse et de fidélité*

## **Résumé :**

L'étude conduite sur le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica Manetti*) qui est considéré comme une espèce endémique de l'Afrique du Nord, et laquelle pour objectif de connaître l'étendu du dépérissement. Ce dernier considéré comme le résultat de plusieurs facteurs qui peuvent agir soit en concomitance soit successivement provoquant l'affaiblissement, voire la mort de l'arbre.

Pour d'analyser la réponse du cèdre de l'Atlas, spécialement la croissance en diamètre aux variations climatiques et identifier l'origine du dépérissement, qui menace la prospérité de nos forêts particulièrement au massif de Bélezma et Theniet el had qui a subi une forte régression ces dernières années à cause du phénomène de dépérissement.

Alors que, cette étude a été menée pour obtenus ces résultats qui sont montré l'interdépendance et l'influence des facteurs biologiques sur le dépérissement du cèdre, Lié principalement à la réduction de la pluviométrie et à l'augmentation des températures maximales car l'effet du paramètre pluviométrie considéré comme facteur limitant par les précipitations automnales et hivernales contribuent à la reconstitution des réserves hydriques du sol assurant, ainsi une disponibilité en eau lors du démarrage de la mise en place du cerne.

D'autre coté l'insuffisance et l'irrégularité des précipitations, couplées à l'élévation des températures qui enjointront à la sécheresse, constituent bel et bien une dérive climatique dont l'avènement s'est corsé davantage. Car ce phénomène touché la cédraie vers sa limite inférieure altitudinale, aux expositions ensoleillées et sur les sols à forte pente.

Ces résultats mettent au jour l'urgence d'entreprendre des travaux sylvicoles pour améliorer l'état de santé des peuplements et de mettre en place un dispositif de surveillance de la santé du cèdre.

**Mots clés :** Cèdre, Belezma, Theniet El had, Dépérissement, Facteurs biologiques.

## **Abstract:**

The study carried out on the Atlas cedar (*Cedrus atlantica Manetti*) which is considered to be endemic to North Africa, and which aims to determine the extent of emaciation.

The latter considered to be the result of several factors which can act either concomitantly or successively causing the weakening or even death of the tree.

To analyze the response of Atlas cedar, especially diameter growth to climatic variations and identify the origin of emaciation, which threatens the prosperity of our forests particularly in the massif of Bélezma and Theniet el had which has suffered a sharp decline in recent years due to the phenomenon of decline.

While, this study was conducted to obtain these results which show the interdependence and influence of biological factors on cedar emaciation, mainly linked to the reduction in rainfall and the increase in maximum temperatures because the effect of the rainfall parameter considered as a limiting factor by autumn and winter precipitation contributes to the replenishment of soil water reserves ensuring this availability of water when starting the installation of the ring.

On the other hand, the insufficiency and irregularity of precipitation, coupled with the rise in temperatures which will add to drought, indeed constitute a climatic drift, the advent of which has become more severe.

Because this phenomenon affected the cedar grove towards its lower altitudinal limit, in sunny exposures and on steeply sloping soils.

These results highlight the urgency of undertaking silvicultural work to improve the health of the stands and to set up a system to monitor the health of the cedar.

**Keywords:** cedar, Belezma, Theniet El had, emaciation, factors biology.

## ملخص:

أجريت الدراسة على أرز الأطلس (*Cedrus atlantica Manetti*) الذي يعتبر مستوطناً في شمال إفريقيا، والذي يهدف إلى تحديد مدى الهزال.

ويعتبر هذا الأخير نتيجة لعدة عوامل يمكن أن تعمل بشكل متزامن أو متتابع مسببة إضعاف أو حتى موت الشجرة.

لتحليل استجابة نبات أرز أطلس، وخاصة نمو القطر للتغيرات المناخية وتحديد أصل الهزال، الذي يهدد ازدهار غاباتنا خاصة في سلسلة جبال بلزمة وثنية الحد التي عانت من انخفاض حاد في السنوات الأخيرة بسبب ظاهرة التراجع.

بينما أجريت هذه الدراسة للحصول على هذه النتائج التي تظهر ترابط وتأثير العوامل البيولوجية على هزال الأرز، والتي ترتبط بشكل أساسي بانخفاض هطول الأمطار وزيادة درجات الحرارة القصوى لأن تأثير معامل هطول الأمطار يعتبر عاملاً مقيداً بحلول فصل الخريف. حيث يساهم هطول الأمطار والشتاء في تجديد احتياطيات مياه التربة مما يضمن توفر المياه عند بدء تركيب الحلقة.

من ناحية أخرى، فإن عدم كفاية وعدم انتظام هطول الأمطار، إلى جانب ارتفاع درجات الحرارة الذي سيزيد من الجفاف، يشكلان بالفعل انحرافاً مناخياً، أصبح ظهوره أكثر حدة.

لأن هذه الظاهرة أثرت على بستان الأرز باتجاه الحد الأدنى للارتفاع، في التعرضات المشمسة وعلى التربة شديدة الانحدار.

تسلط هذه النتائج الضوء على الحاجة الملحة إلى القيام بأعمال زراعة الغابات لتحسين صحة المدرجات وإنشاء نظام لمراقبة صحة الأرز.

**كلمات البحث:** أرز، بلزمة، ثنية الحد، الهزال، العوامل البيولوجية.

## Liste des tableaux :

Tableau 1 : Insectes des cônes du Cèdre dans son aire naturelle.....	13
Tableau 2 : Cochenilles rencontrées sur le cèdre.....	14
Tableau 3 : Récapitulatif de l'étude.....	26

## Liste des figures :

Figure 1 : Aspect classique des arbres isolés de trois espèces de cèdre.....	5
Figure 2 : Répartition du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord.....	6
Figure 3 : Localisation du cèdre de l'Atlas ( <i>Cedrus atlantica</i> Manetti) en Algérie.....	6
Figure 4 : Rameau de <i>Cedrus atlantica</i> avec le cône et des aiguilles en bouquets.....	8
Figure 5 : Photos illustratives de Chatons et Cônes.....	9
Figure 6 : Photos illustratives de Aiguilles et rachis Graine ailée.....	9
Figure 7 : Inflorescence mâle et femelle du cèdre de l'Atlas.....	10
Figure 8 : Dommages causés au cèdre.....	15
Figure 9 : Une photo représente des Taches de dépérissement dans six cèdres dépérits au niveau de la cédraie de Theniet el had.....	19
Figure 10 : les facteurs prédisposant, d'initiation et aggravants contribuant à la mort des arbres forestières.....	20
Figure 11 : La spirale du déclin (mécanisme de dépérissement) .....	22
Figure 12 : L'attaque de la <i>Thaumetopeae pityocampa</i> sur un sujet de cèdre.....	23
Figure 13 : Dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le Parc national de Theniet El Had (Algérie).....	25
Figure 14 : Localisation du Parc National du Belezma.....	27
Figure 15 : Localisation géographique de la zone d'étude : Parc national de Theniet El Hadet sites échantillonnés.....	28
Figure 16 : Pour chaque arbre dépéri, les coordonnées géographiques, l'altitude, l'exposition, la pente et son taux de défoliation ont été relevés.....	29
Figure 17 : Carte des expositions du Parc National de Theniet El Had.....	29
Figure 18 : Carte des pentes du Parc National de Theniet El Had.....	30
Figure 19 : Carte des altitudes du Parc National de Theniet El Had.....	30
Figure 20 : Carottage d'un cèdre à la carrière de Pressler.....	32
Figure 21 : Table de lecture LINTAB Et microscope RINNTEK.....	33
Figure 32 : Évolution du dépérissement du cèdre de l'Atlas exprimée par une perte progressive du feuillage.....	47

## Liste des abréviations :

AC : Autocorrélation

AD : Arbres dépéris

AS : Arbres sains

CI : Coefficient d'interdatation

EMC : Épaisseur moyenne des cernes

IA : Indice d'aridité de De Martonne

IC : Indice de croissance

NE : Nord-Est

NNE : Nord-Nord-Est

PNB : Parc national de Bélezma

R : Le coefficient de corrélation

SE : Sud- Est

SM : Sensibilité moyenne

SR : Coefficient d'interdatation

TSAPWIN: Time Series Analyses and Presentation windows

## Sommaire :

Introduction.....	1
<b>Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.....</b>	<b>3</b>
I.Caractéristiques générales du cèdre de l'Atlas.....	3
1-définition du cèdre.....	3
2-Historique du cèdre d'atlas.....	3
3-Systematique.....	4
4-L'aire de répartition naturelle du cèdre de l'atlas.....	5
5-Aire d'introduction.....	7
6-Caractères botaniques et forestières.....	8
7-Caractéristiques écologiques du cèdre de l'Atlas.....	11
7.1-Climat.....	11
7.2-Altitude.....	11
7.3-Exposition.....	12
7.4-Sol.....	12
8-Les ennemis du cèdre de l'Atlas.....	13
8.1-Les insectes.....	13
8.2-Les maladies cryptogamiques (champignon).....	14
8.3-Les incendies.....	15
8.4-Les animaux.....	15
8.5-L'homme.....	15
9-Association végétale.....	15
10-Utilisation du cèdre : intérêt.....	15
11-Résistance du cèdre à la sécheresse.....	16
12-La régénération du cèdre.....	16
II : Le dépérissement.....	18
1-Définition du dépérissement.....	18
2-Les types de dépérissement.....	18
3-Les facteurs du dépérissement.....	19
3.1-Les facteurs prédisposants.....	20
3.2-Les facteurs déclenchants.....	20

3.3-Les facteurs aggravants.....	21
4-La nature des facteurs de dépérissement.....	22
4.1-Les facteurs abiotiques.....	22
4.2-Les facteurs biotiques.....	23
5-Symptômes du dépérissement.....	23
6-Le dépérissement forestier en Algérie.....	24
<b>Chapitre 2 : matériel et méthodes.....</b>	<b>26</b>
1-Présentation de la zone d'étude.....	27
2-Méthode d'inventaire.....	28
3-Etudes des caractères mésologiques.....	29
3.1-Expositions.....	29
3.2-Pentes.....	29
3.3-Altitudes.....	30
3.4-Le taux de défoliation.....	30
4-Concernat l'étude dendrochronologique et pour les critères d'échantillonnage.....	31
5-Choix des stations.....	31
6-Techniques de prélèvement.....	32
6.1-Prélèvement de carottes.....	32
6.2-Préparation des échantillons.....	33
6.3-Interdatation (Crossdating).....	33
6.4-Lecture des cernes.....	33
6.5-Mensuration des largeurs des cernes.....	34
6.6-Établissement des séries chronologiques.....	34
7-Traitement et analyse des données de la station de Theniet El Had.....	34
7.1-Calcul des paramètres statistiques dendrochronologiques.....	34
7.2-L'épaisseur moyenne des cernes (EMC) et son écart type.....	34
7.3-La sensibilité moyenne (SM).....	34
7.4-Le coefficient de corrélation (R).....	34
7.5-Standardisation.....	35
7.6-Coefficient d'autocorrélation et persistance.....	35

7.7-Données climatiques.....	35
8-Reconstitution du climat.....	35
8.1-Fonctions de réponse.....	35
8.2-Fonction de transfert.....	35
9-Identification des années de sècheresses.....	36
<b>Chapitre 03 : Résultats et discussion.....</b>	<b>38</b>
1- Analyse et discussion des caractéristiques stationnelles et taux de défoliation.....	38
1.1-Pour la relation de dépérissement et pour les variables mésologiques.....	38
1.2-Pour la relation dépérissement-caractéristiques édaphiques.....	38
2-Concernant l'état sanitaire et taux de défoliation des peuplements de cèdre de Theniet El Had.....	39
2.1-L'état sanitaire.....	39
2.2-Pour le Taux de défoliation.....	39
3-Analyse et résultats des données dendrométriques.....	39
3.1-Variables dendrométriques liées à la fertilité stationnelle.....	40
3.2-Variables dendrométriques liées à la compétition des arbres.....	40
3.3-Diamètre et Hauteur totale.....	40
4-Analyse et résultats des données dendrochronologiques à theniet el had.....	41
4.1-La croissance radiale.....	41
2-La sensibilité moyenne.....	41
4.3-Discussion dendrochronologique.....	42
5-Concernant l'étude du parc de Belezma.....	43
6-L'analyse de reconstitution précipitations a révélé.....	43
6.1-Fonction de réponse.....	43
6.2-Fonction de transfert.....	44
7-Analyse identification des années sèches.....	44
8-Discussion de la chronologie.....	45
Conclusion.....	47

## Référence bibliographique :

- Abdelhamid D, 1992.** Contribution à l'étude des insectes du cèdre de l'atlas. *Cedrus atlantica*, M 1844 dans la cédraie de Theniet el had. Thèse.
- Abdessemed K, 1981- 1982.** Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le massif de l'Aurès et de Belezma. Étude phytosociologique. Problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse Doc. Ing. Fac. Des sciences et techniques, St Jérôme Aix Marseille, 199-200 p.
- Abourouh M, 1994.** Les ectomycorhizes du cèdre de l'Atlas : état des connaissances et perspectives. *Ann. Rech. Maroc.* 27. Vol. 2 338-346.
- Adoui S, 1991.** Contribution à l'étude des caractéristiques écologiques des complexes entomologiques du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en dépérissement au Belezma. Thé. Ing. Foresterie et protection de la nature. INA. Alger
- Ait-Abderrahman H, 2007.** Contribution à l'étude de la fertilisation azotée sur la croissance des jeunes plants de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) élevés en pépinière. Thé. Ing. 58p.
- Alexandrian D. Gouiran M, 1992.** Les causes des incendies. Levons le voile ! Forêt méditerranéenne, n° 1, p. 41-47.
- Alileche A, 2012.** « Eyde du dépérissement du cedre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans la cédraie des aures : Belezma (BATNA) et CHÉLIA (KHENCHLA) », PP : 2, 3, 4, 6, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25.
- Allen C. D, Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowellin, et al, 2010.** A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Managment*, 259 : 660-684.
- Allen CD et al. 2009.** Le dépérissement des forêts dû au climat : un phénomène planétaire croissant ? *Unasylva* 231/232, Vol. 60. Pp : 43-49.
- Andrea C, Roberto M, 1994.** Growth performances of a thinned atlas cedar (*Cedrus atlantica* Man.) stand. *Ann. Rech. For. Maroc.* T 27. Pp 281-293.
- Anonyme, 2008.** *Cedrus atlantica* decline in Belezma, Atlas cedar decline.
- Arbez M., Ferrandes P., Uyar N, 1978.** Contribution à l'étude de la variabilité géographique des Cèdres. *Ann. Sci. Forest.* Vol. 35, n°4. Pp 265-284.
- Aussenac G. et Guhl J, 1990.** Ecophysiologie des cèdres (*Cedrus* Sp.), conséquences pour la sylviculture. *Bull. Sci. Bot. For.* 131. *Actual Bot.* (2/3/4), Pp : 384-398.
- Aussenac, G. & Granier.A. et Goss.P, 1981.** Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Willd. Et de divers pins du Mont-Ventoux. *Ann. Sci. For* ; 19 : 41-62.
- Badraoui M et assali F, 2007.** Les changements climatiques : ont-ils des impactes sur le dépérissement du cèdre dans le Moyen Atlas ? Résumé de la communication a la célébration de la journée mondiale 2007 de la terre « changements climatiques et impacte écologiques et économiques. Université Al Khawayn Ifran, 27 Avril 2007. 3p.

- Bariteau M, 2003.** Les ressources génétiques forestières dans le bassin méditerranéen. Forêt méditerranéenne. t. XXIV, n°2.
- Bariteau M. et Ferrandes P, 1992.** Les cèdres, in : Amélioration des espèces végétales cultivées, Objectifs et critères de sélection. Ouvrage collectif coordonné par A. Gallais et H. Bannerot. Institut National de la recherche Agronomique. Paris. Pp : 732-743.
- Bastien Y., Aussenac G., et Frochot H, 2000.** Les changements climatiques : conséquences pour la sylviculture. Rev. For. Fr. 1.II
- Becker M., Picard J.-F., Timbal J, 1983.** Les arbres. Masson. Paris. 141p.
- Beghami R, 2010.** Etude des insectes associés au dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) dans la région des Aurès : cas de la cédraie de Chelia et Ouled yagoub. Thèse magister. Batna. 118p.
- Belkhir S, 1993.** Contribution de l'étude de la régénération naturelle du cèdre de l'atlas dans le massif de Belezma, cas de djebel M'hsseur. Thè. Ing. INA., 82p.
- Belloumi H, 2002.** Contribution à l'étude de la régénération du cèdre de l'Atlas (*cedrus atlantica* Manetti) : influence de deux modes d'élevage sur le comportement des jeunes semis en pépinière. Mem. Ing. Uni. Batna. 81p.
- Beloula S, 2010.** Etude sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le parc national du Bélezma. Apport de la télédétection et SIG, pp : 11-13-14-24-95.
- Benabid, A, 1994.** Biogéographie, phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). Ann. Rech. For. Maroc. T 27. Pp 61-76.
- Benarab M, 1996.** Caractérisation physico-chimique des sols des monts de Belezma : Essai sur les potentialités de quelques stations de cèdre (*Cedrus atlantica* M). Mem. Ing. Uni. Batna., 101p.
- Benoit T, 2005.** Problématique du dépérissement du bouleau blanc en Estrie : revue de la littérature et avenues possibles pour son aménagement futur. Association forestière des Cantons de l'Est. Pp : 1-42.
- Benssaci OA, 2006.** La mycoflore endophyte du cèdre de l'atlas (*cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Belezma (Aurès). Thé Magist. Spéc. For.et conserv. Des Sol. Inst. Agr. Batna.80p.
- Bentouati A et Bariteau M, 2006.** Réflexions sur le dépérissement du cèdre de l'atlas Aurès (Algérie), Forêt méditerranéenne, éd. Forêt méditerranéenne, Tome XXVII (4), Pp : 317- 322.
- Bentouati A, 2005.** Réflexion sur le dépérissement du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans les Aurès. Lettre de Belezma. N°9.Pp : 2-5.
- Bentouati A, 2007-2008.** La situation du cèdre de l'atlas en Algérie, Foret méditerranéenne ; journées d'études changements climatiques et forêt méditerranéenne « 9 novembre 2007 », tome XXIX (2) Pp : 203-208.
- Betrouche F, 2012.** Evolution spatio-temporelle du dépérissement du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* Manetti dans le massif de Belezma wilaya de Batna : apport de la géomatique, pp : 11-16-18-20.
- Bouceddi N, 13 juin.** Contriburion a l'etude de l'extension et du comportement du pin d'alep (*Pinus halepensis* Mill.) Dans la chenaie mixte du parc national de theniet-elhad (W. TISSEMSILT), pp : 15, 16, 17.

- Boudy P, 1950.** Economie forestière nord-africaine. Tome 02. Monographie et traitements des essences forestières. Larose. Paris. 878p.
- Boudy P, 1952.** Guide du forestier en Afrique du nord. La maison Rustique. 505p.
- Boukcim H., Pages L., Plassard G. et Moussain D, 2001.** Effects of N fertilization on root system architecture and receptivity to mycorrhizal infection of cedar seedlings. *Tree physiology*, 21. Pp : 109-115.
- Boutte B, 2007.** Les dépérissements observés sont-ils tous dus au changement Climatique ? Journées d'études << Changements climatiques et forêt méditerranéenne >>. Forêt Méditerranéenne
- Caspary, H.J, 1991.** Forest decline and soil acidification as biospheric aspects of the hydrological cycle. *IAHS Publ.*, n° 204, pp. 485-494.
- Chbouki N, 1994.** Une synthèse dendroclimatique du cèdre de l'Atlas. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27.* Pp 33-59.
- Cheddadi R, 2004.** Changements environnementaux du Nord-Ouest de l'Afrique : passé, présent et futur. In : Semah A.M. & Renault-Miskowski J. L'évolution de la végétation depuis deux millions d'années. Editions Artcom, p 104-125.
- Cheddadi R, 2005 :** Impact du climat sur quelques espèces méditerranéennes : Du passé au futur. In Colloque « Biodiversité et changements globaux ». *Ins. Franç. Bio.* Pp 91-96.
- Ciesla W. M, 1993.** Qu'arrive-t-il au Neem sahélien, *Unasyva. N°172* : sécurité des ouvriers forestiers. Archives des documents de la F.A.O. Département des forêts.62p.
- Csaba M, 1994.** Results of introduction trials with *Cedrus atlantica* in Hungary. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27.* pp 219-222.
- Dahman M., Khouja M.-L, 1994.** Résultats des essais d'acclimatation du cèdre en Tunisie. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27.* Pp 129-137.
- De Vilmorin G.B, 2003.** Histoires d'arbres. Ed. Jean-paul Gisserot. Paris, 280p.
- Debazac E.F, 1964.** Manuel des conifères. Nancy, École nationale des Eaux et Forêts, 1964. 172 p.
- Decrey. M, 1994.** Adaptation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au climat méditerranéen. Aspect écophysiological de sa réaction à la secheresse. *Silva Mediterrnea Acte du séminaire International sur le cèdre de l'atlas. Ifran (Maroc): 7- 11 juin1993.* Pp; 140-150.
- Delkov A., Grozev O, 1994.** Résultats de l'introduction du *Cedrus atlantica* Manettin en Bulgarie de Sud-Ouest. *Ann. Rech. For. Maroc. T 27.* Pp 173-185.
- Demarteau M, 2006.** Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. Thèse licence. Univ. Liège. 60p.
- Demarteau M., Francois L., Cheddadi R., Roche E, 2007.** Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. *Geo-Eco-Trop. N°31.* Pp 105-146.
- Deodora et du cèdre de l'Atlas. *Rev. Bot. Appl et Agri N°198.* 192p.
- Département de la santé des Forêts (DSF), 2007.** Dépérissement et mortalité : un éclairage de la situation en France. *L'IF. N°16, 3° trimestre.*

- Derridj A, 1990.** Etude des populations de *Cedrus atlantica* Manetti en Algérie. Thèse doc-Ing. Univ. Paul Sabatier. Toulouse. 288p.
- Ducery M, 1993-1994.** Adaptation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au climat méditerranéen. Aspect écophysiological de sa réaction à la sécheresse. *Silva Mediterranea* Acte du séminaire International sur le cèdre de l'atlas. Ifran (Maroc) : 7-11 juin 1993. Pp ; 140-150. Ann. Rech. For. Maroc. T 27. Pp 105-127.
- El Yousfi M, 1994.** La sante du cèdre de l'Atlas au Maroc. In : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin 1993. Annales de la recherche forestière au Maroc 27 (spécial). Pp : 594-611.
- Emberger L, 1938.** Contribution à la connaissance des cédraies et en particulier du European Union. EC DG ENV Contract (070102110004/2006/449050/MAR/B1), Brussels, Belgium, pp. 79 + Annex I, II, III.
- Ezzahiri M., Belghazi B, 2000.** Synthèse de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas (Maroc). *Science et changements planétaires/sécheresse*. Vol. 11. N°02. Pp 79-84
- Fabre J.P, 1976.** Extension du cèdre et risques d'attaques d'insectes. R.F.F. XXVIII -4-Class. Oxford 174 CEDRUS : 453.
- Ferrandes P, 1986.** Cèdres. *Revue forestière française*, vol. XXXVIII, n° spécial "Amélioration génétique des arbres forestiers". Pp. 139-141.
- Fiot J-L., Carouille F. et Lucas S, 2007.** Dépérissement et mortalité de quelques essences. L'IF. N° 16, 3° trimestre.
- Gachi M. 1989.** Eco-biologie de la processionnaire du cèdre *Thaumetopoea bonjeani* Powel. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) en Algérie. Séminaire International de Biologie - Constantine. Mai 1989, 13 p.
- Gartner E, 1988.** Maladie des forêts : un premier bilan. *Sylviculture*. Pp : 30-38.
- Gazol A., Ribas M., Gutierrez E., Camarero J, 2017.** Aleppo pine forests from across Spain show drought- induced growth decline and partial recovery. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232 : 186-194.
- Gazonneau A, 2007.** Pour la forêt méditerranéenne, le changement climatique est déjà à l'œuvre.
- Godet J.-D, 2007.** Arbres et arbustes aux quatre saisons. 2ème Edition. Delachaux et Niestlé. Italie 2007. 215p.
- Guillaumin J.-J., Legrand P., Lung-Escarmant B., Botton B, 2005.** L'armillaire et le pourridié-agaric des végétaux ligneux. INRA. Paris. 504p.
- Haddar, L, 2007.** Analyse qualitative et quantitative de l'entomofaune de la cédraie du parc national de Chréa (Blida). These. Magi, INA, El-Harrach. Alger, 114p.
- Halitims, 2006.** Le cèdre en danger. *Lettre de Belezma*, n°10. 2p.

- Harfouche A., Nadjahi A, 2003.** Prospections écologiques et sylvicoles dans les cédraies de Bélézma et de l'Aurès à la recherche de peuplements semenciers et d'arbres plus. Rev. For. Fr. LV, n°2. Pp 113-122.
- Hoefer F, 1850.** Dictionnaire de botanique pratique. Librairie de Firmin didot frères. 726p.
- Houamel A, 2012** Contribution à l'étude du dépérissement de la cédraie dans la région de Batna (cas du parc national du Belezma), pp : 6-7-38-116.
- Jacmon M, 2001.** Guide de dendrologie : arbre, arbustes, arbrisseaux des forêts française. 4ème édition. ENGREF. Nancy. 350p.
- Jum, Hunt et Penuelas, 2006.** Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *fagus sylvatica*. Global change Biology, 12. pp: 2163-2174
- Khanfouci (M.S.), 2005.** Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le massif du Belezma. Thèse. Mag. Uni. Batna. 249p.
- Kherchouche D, 2013.** La sécheresse et le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Belezma (Algérie), pp : 131, 132.
- Ladjal M, 2007.** Etude de l'effet du stress hydrique sur la germination des graines de différentes provenances de *Cedrus libani* et de *Cedrus atlantica*. Mémoire de D.E.A. Univ. Nancy I, Fac sci, 24p + annexes.
- Lamhamedi M. N, 1994.** Les principaux facteurs influençant la régénération naturelle du cèdre de l'atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). Ann. Rech. For. Maroc. T 27. pp 243-257.
- Landmann G, 1994.** Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers. Rev. For. Fr. XLVI - 5- Pp : 405-415.
- Lapie G., Maige A, 1914.** Flore forestière illustrée comprenant toutes les espèces ligneuses de l'Algérie et les espèces ligneuses les plus répandues en Tunisie, au Maroc et dans le Midi de la France. E. ORLHAC. Paris. 357p.
- Lasram M, 1994.** Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin 1993. Annales de la recherche forestière au Maroc 27 (spécial). Xxxv-xxxvi.
- Laurent C. et Lecomte H, 2006.** La santé des forêts. RES. FOR 3.
- Le Houerou H.N, 1975.** Deterioration of the ecology in the arid zones of North Africa. FAO, Rome. Pp: 45-57.
- Le meignen P. et Micas L, 2008.** Bilan des dépérissements forestiers dans le Alpes-de- Provence. Forêt méditerranéenne. T XXIX, n°2, p177-182.
- Lecompte M., Lepoutre B, 1975.** Bilan de l'eau et conditions d'existence de la cédraie dans le moyen atlas basaltique (Maroc) utilisation d'une « analyse d'information mutuelle » entre les espèces et les variables du milieu. Ann. Rech. For. Maroc. T 15. pp 153-265.
- Lecomte B, 2007.** Le cèdre de l'Atlas en Languedoc-Roussillon. Forêt-entreprise, n°174. Pp 51-54.
- Lepoutre B, 1964.** Premier essai de système sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le moyen Atlas marocain. Ann. Rech. For. Au Maroc. Tome VII. Pp: 157-163.

- Lepoutre B, 1963.** Rôle des mycorhizes dans la biologie des jeunes cèdres. C.R. Soc. des Sc. nat. et phys. au Maroc., t. XXIX, no 5-6, Rabat, 1963.
- Lepoutre B., Pujos A, 1963.** Facteurs climatiques déterminant les conditions de germinations et d'installation des plantules de cèdre. Ann. Rech. For. Maroc. T 7. pp 23-54.
- Losange, 2008.** Arbres de France. Artemis. 143p.
- M'hirit O, 1982.** Etude écologique et forestière des cédraies du Rif Marocain : Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la production du cèdre de l'atlas. Ann. Rech. For. Maroc2(1). 499p.
- M'hirit O, 1994.** Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Méditerranéa "le Cèdre". Ann. Rech. For. Maroc. T 27. Pp 3-21.
- M'hirit O., Benzyane M., et Blerot P. 2006.** Le cèdre de l'Atlas : Mémoire du temps, Éd. Mardaga. 245-288p.
- Macquart M. J, 1852.** Les arbres et arbrisseaux d'Europe et leurs insectes. Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts, de Lille. Pp 174-530.
- Malki H, 1992.** Contribution à l'étude de l'influence du climat et des facteurs physiques sur la végétation naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans les monts du Belezma (Algérie). Thèse. Doc. Uni. De Paris- Sorbonne. 187p
- Manion P. D, 1991.** Tree Disease Concepts. 2nd edition. Englewood Cliffs, NJ, USA, Prentice Hall, 402 p.
- Mathieu A, 1860.** Flore forestière : description et histoire des végétaux ligneux qui croissent spontanément en France et des essences importantes de l'Algérie. Suivies d'une méthode analytique pour en déterminer les principales espèces pendant l'hiver et précédées d'un dictionnaire des mots techniques. 2ème Ed. Ancienne maison Grimblot & cie, N. Grosjean, successeur. 448p.
- Mediouni. K et Yahi. N, 1994.** Phytodynamique et autoécologie du *Cedrus atlantica* dans le Djurdjura. Ann. Rech. For. Maroc. T (27) (Spécial). Pp : 77-104.
- Merouane, 2006.** Contribution à l'étude écodendrométrique du *Cedrus atlantica* Manetti (Cèdre de l'Atlas) dépéris dans le parc national de Theniet El Had (W. Tissemsilt) Algérie.
- Micaux D., 2007.** Le dépérissement de la sapinière de l'Aude. Journées d'études « Changement climatiques et forêt méditerranéenne ». Forêt Méditerranéenne.
- Mille R, 1986.** Contribution a l'étude de la variabilité génétique du cèdre. Thèse. ENITEF. INRA. Laboratoire d'amélioration des arbres forestiers. 122p.
- Moore, J.D, 1999.** Effets du chaulage sur la nutrition, la vigueur et la croissance de l'érable à sucre à la station forestière de Duchesnay. Mémoire es Science (M.Sc.), Univ., Laval, Canada, 60 p.
- Moukouri djoumba, 2007.** Contribution à l'étude du dépérissement du cèdre de l'atlas dans le massif des Ouled-Yagoub (Dj Feraoun). Approche sylvicole. Thèse. Ing. For. Université de Batna. 58p.
- Moussafir M, 2007.** Le cèdre, emblème du moyen Atlas. Quotidien Aujourd'hui le Maroc. N° de parution 1371.

**Mühlemann P, 1994.** Dépérissement des forêts en Suisse : situation actuelle. Le courrier de l'environnement de l'INRA N°22.

**Nadjahi M, 1988.** La croissance et la productivité du cèdre de l'Atlas à Chréa, Ann. Rech. Forest. Algérie, Vol2, Pp23-58. La cédraie de Chréa. (Atlas Blideen) : Phénologie, productivité, régénération. Thèse. Doc. Univ. De Nancy. 184p.

**Nageleisen L.-M., Reuter J.-C., 2007.** Dépérissements de hêtre : retour sur les situations de crise de la hêtraie au cours de la dernière décennie. Département de la santé des forêts. France. 7p.

**Nageleisen LM, 2007.** Les problèmes phytosanitaires du cèdre en France. Forêt- entreprise, n°174. Pp : 27-31.

**Nedjahi A,** Département Sylviculture I.N.R.F Algérie BP 37 Chéraga Alger. La régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica Manetti*) en Algérie : Cas de Chréa et des Aurès Par Société Nationale d'Horticulture de France, 2019, pp : 32.

**Nedjahi. A, 1988.** La cédraie de Chréa. (Atlas Blideen) : Phénologie, productivité, régénération. Thèse. Doc. Univ. De Nancy. 184p.

**Par Société Nationale d'Horticulture de France, 2019.** [lefigaro.fr/jardin/fiche-plante/cedre-de-l-atlas-conifere-majestueux-20190403](http://lefigaro.fr/jardin/fiche-plante/cedre-de-l-atlas-conifere-majestueux-20190403)

**Pijut P M, 2000.** Cedrus – The true cedars. Journal of arboriculture. Vol. 26, n°4. Pp 218-224.

**Pradal F, 1979.** Variabilité génétique et écophysologique du cèdre. Résumé. INRA département Forêt. Nancy.

**Pujos A, 1964-1966.** Les milieux de la cédraie marocaine : Etude d'une classification des cédraies du Moyen Atlas et du Rif en fonction du sol et du climat de la régénération actuelle dans les peuplements. Ann. Rech. For. Maroc. T 8. 283p. Rabat 283.

**Quezel P, 1980.** Le peuplement végétal des hautes montagnes d'Afrique du nord. Ed. Le chevalier. Pp : 205-256

**Requardt A., Köhl M., Schuck A., Poker J., Janse G., Masvar R., et Paivinen R, 2007.** Feasibility study on means of combating forest dieback in the

**Rice, R.M. and Lewis J, 1988.** Potential Streamflow Changes from Forest Decline Due to Air Pollution. Tagungspublikation, n° 1, pp 51-65.

**Riou-Nivert P, 2001-2005.** Les résineux. Tome 01. Connaissance et reconnaissance. 2ème édition. IDF. Paris. 256p. Ecologie et pathologie. Forêt Privée Française. 447p.

**Riou-Nivert, P, 2007.** Fiche extraite de la Flore forestière française T III région méditerranéenne. Forêt- entreprise, n°174, pp.14-16.

**Ripert C et Bboisseau B, 1993-1994.** Ecologie et croissance du cèdre de l'Atlas en Provence. Silva Mediterranea Actes du Séminaire International sur le cèdre de l'Atlas. Ifran (Maroc) ; 7-11 juin 1993. Pp : 156-164. T 27. pp 155-171.

**Roy G, 1998.** Rôle des facteurs climatique dans le mécanisme du dépérissement des érablières appalachiennes. Thèse. Doc. Université Sherbrooke Canada.

**Royaume du Maroc**, Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Etude des causes de dépérissement de la cédraie du moyen atlas, pp : 7.

**Sahli A, 2004.** Contribution a l'étude de la régénération naturelle du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* M) dans le Belezma. Thèse. Ing. INA. de Batna. 32p.

**Salgues D, 2008.** Evaluation du risque d'introduction du cèdre de l'Atlas sur les sols acides des Monts de Lacaune et de la montagne Noire. ENGEES. France. 71p.

**Sarmoum M, 2019.** Bilan actuel et rétrospectif du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le Parc national de Theniet El Had (Algérie), pp : 31, 32, 33.

**Sarmoum M., Navarro-Cerrillo R. M., 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>.

**Schorenberger A, 1970.** Etude de la végétation de l'Aurès oriental. FAO. Projet Algérie. Pp : 15-69.

**Seigue A, 1985.** La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Maisonneuve & Larose. 502p.

**Seltzer P., 1946.** Le climat de l'Algérie. Imp. Latypo. Et Jules Carbone. Réunion. Alger. 220p.

**Sfea, 2008.** Que peut faire le forestier par rapport à ces changements ? Fiche n° 2.5.

**Taleb M, 2010.** Contribution à l'étude de l'influence de la densité sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le parc national de theniet el had (W. Tissemsilt), pp : 6, 113, 114.

**Thomas, A.L., Gégout, J-C., Landmann, G., Dabmrine, E. and King, D, 2002.** Relation between ecological conditions and fir decline in a sandstone region of the Vosges mountains (northeastern France). *Ann. For. Sci.* N° 59, pp.265–273.

**Toth J, 1970.** Plus que centenaire et plein d'avenir : le cèdre en France. *Rev. For. Fr.* Vol. XXII, n° 03. Pp 355-364.

**Toth J, 1971.** Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* en France). *Bulletin de la vulgarisation forestière.* N° 4. Pp : 5-19.

**Toth J, 1978.** Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le sud de la France. Thèse. Doc. Ing. Fac. St. Jérôme. Marseille- France. 136p.

**Toth J, 1980.** Le Cèdre dans quelques pays du pourtour méditerranéen et dans deux autres pays à grande importance forestière. *Forêt méditerranéenne*, T II, n°1. Pp 23-30.

**Toth J, 1984.** La prévision des possibilités de récoltes de cônes de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). *Bull. Tech.* N° 15 O.N.F. Pp: 39-51.

**Toth J, 1987.** Effets des facteurs d'environnement sur l'accroissement du cèdre de l'Atlas. *Bull. Soc. Et Nat. Vaucluse.* Pp: 71-76.

**Toth J, 1990.** Le cèdre III. Intérêt paysage. Cédraie touristique. *Forêt privée.* N° 195. 8p.

**Toth J, 1994.** Le cèdre de l'atlas en France : Croissance et production dans les dispositifs anciens. *Ann. Rech. For. Maroc*, T (27) : 321-335.

**Toth J, 2005.** Le cèdre de France, étude approfondie de l'espèce. L'Harmattan. Paris. 207p.

**Touchan, 2008.** Undulan a walsingham. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 1986, n° 10 p. 209-210.

**Vannini A, 1990.** Susceptibility of *Quercus cerris* to *Hypoxylon mediterraneum* at different levels of water stress. In Proceedings. In International Symposium Oak Decline in Europe. Kórnik, Poland, pp. 165-172.

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

**Yahi N, 2007.** Les cédraies d'Algérie : phytoécologie, phytosociologie, dynamique et conservation des peuplements. Thèse de Doctorat d'Etat. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène, Alger 207 p. + annexes.

**Yahi. N, 1995.** Contribution à l'étude phytosociologique des formations à cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) tellien (Ouarsenis, Djurdjura et Babor). Thèse de Magsiter, USTHB, 174 p.

**Yves M, 2005.** La forêt face au changement de climat. Exposé lors de la réunion d'information sur « La sylviculture et les changement climatiques ». CRPF. Florac.

**Zeraria L, 1986.** Etude phytosociologique des groupements végétaux forestiers du parc national de Chrea. Ann. Rech. For. Vol1. Pp : 23-52.

**Zine El abidine, 2003.** Le dépérissement des forêts au Maroc : analyse des causes et stratégie de lutte. Sécheresse 14 (4). John Libbey Eurotext, pp. 209-218.

# **Introduction**

## Introduction :

Est-ce que les facteurs biologiques affectent-ils le cèdre et sont-ils la cause de dépérissement ? et quel sont les différentes causes de dépérissement ?

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica Manetti*) est une espèce endémique de l'Afrique du Nord (Beloula, 2010). Et emblématique des hautes montagnes de l'Algérie et du Maroc dont l'aire de répartition s'étend sur une surface de 140 000 ha (Quézel et Médail, 2003). C'est une essence qui a toujours suscité un intérêt important en raison de ses nombreuses qualités forestières ; le maintien d'un équilibre biologique, sa faible inflammabilité, sa production de bois de qualité, un port remarquable et esthétique... (Ferrandes, 1986).

Selon Manion (1991), le dépérissement est un phénomène causé par un ensemble de facteurs interagissant et se succédant d'une façon particulière, qui entraînent une détérioration générale, qui se termine souvent par la mort des arbres (Landmann, 1994). C'est un phénomène complexe qui a affecté plusieurs régions du monde depuis les années 1970, en particulier l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Afrique du Nord (Allen et al., 2010).

Ce phénomène, qui s'abat sur l'ensemble des forêts de cèdre de l'Afrique du Nord, et plus particulièrement dans le Parc national de Theniet El Had et dans les Aurès (Algérie) (Bentouati et Bariteau, 2006). Tandis que les cédraies des Aurès et du Belezma ont souffert d'un dépérissement inquiétant avec des taux de mortalité alarmants dépassant dans certaines localités 90 % (Kerchouche 2013). D'autre part, l'Algérie, de par sa situation en cette région de la Méditerranée est considérée comme un pays vulnérable aux changements climatiques (Aruss, 1997). Dans laquelle, le climat méditerranéen est caractérisé par une sécheresse estivale, principale contrainte pour la végétation (Daget, 1977) qui pourrait devenir critique avec les changements climatiques prévus (Hoff et et Ramball, 2000).

À cause de l'épidémie de covid 19 et pour des raisons de précaution, on n'a pas pu faire une étude pratique, pour cela notre travail s'est basé sur une synthèse d'articles sur le dépérissement au niveau de la cédraie des Aurès (Belezma à Batna et Theniet el had à Tissemsilt), dans l'objectif d'analyser les causes du dépérissement et l'identification des principaux facteurs qui l'induisent.

Pour cela nous avons les étapes suivantes : Le premier travail a procédé à la méthode d'inventaire d'arbres dépéris dans toute la cédraie touchée, et compris les études de caractères mésologiques (altitude, exposition, pente...etc.), technique de prélèvement et l'interdatation, après un traitement et analyse des données l'identification des années de sècheresses varie selon les précipitations estimées.

# **Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.**

# Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

## I : Caractéristiques générales du cèdre de l'Atlas.

### 1-Définition du cèdre :

Le cèdre de l'Atlas est une espèce endémique et emblématique des hautes montagnes de l'Algérie et du Maroc dont l'aire de répartition s'étend sur une surface de 140 000 ha (Quézel et Médail, 2003). Le cèdre est une essence circumméditerranéenne (Ducrey, 1994).

Le genre *Cedrus* est un élément eurasiatique très ancien connu avec certitude depuis le Tertiaire avec une large répartition (Debazac, 1968), ses origines remontent avant le début de notre ère, il a été identifié par le pollen dans le Hoggar. Et de par ses qualités bioécologiques et bioéconomiques qui lui valurent une importance universelle et une intention particulière, le cèdre de l'Atlas, autrefois symbole de l'immortalité, occupe par excellence les montagnes nord africaines soit celles de l'Algérie et du Maroc (Quézel, 1999).

Aussi, C'est une essence qui a toujours suscité un intérêt important en raison de ses nombreuses qualités forestières comme le maintien d'un équilibre biologique, sa faible inflammabilité, sa production de bois de qualité, un port remarquable et esthétique (Ferranes, 1986).

Il se développe surtout sur le versant nord à des altitudes allant de 1 300 m à 1 700 m ; sur le versant sud, l'altitude des cédraies varie de 1 500 à 1 786 m (Sarmoum et al., 2018).

En Algérie, la majeure partie des cédraies se localisent dans l'Aurès et le Belezma ou l'on constate une forte pression anthropique (Betrouche, 2012). Aussi que, Plusieurs cédraies de vaste étendue ont été classées en qualité de parcs nationaux, avec un statut de gestion scientifique (Haddar, 2007). Pendant que, Les facteurs de destruction ont provoqué en Algérie en 120 ans une régression de 25 à 30 % de l'armature boisée surtout en montagne (Abdessemed, 1984).

### 2-Historique du cèdre d'atlas :

Le genre *Cedrus*, appartenant à la famille des pinacées, est considéré comme étant le plus ancien après le genre *Pinus* (Merouane, 2006). Où, Des fossiles de Cèdre furent découverts dans les formations du Pléistocène en Europe et dans le massif du Hoggar au Sahara, mais il n'est pas certain que le Cèdre n'ait jamais eu une aire continue (Merouane, 2006). Car le cèdre est considéré comme, une aire géographique très morcelée (Yahi, 1995).

La présence de *Cedrus atlantica* en Afrique du nord n'est pas récente, Il y est certainement établi depuis le Pléistocène moyen (Abdessemed, 1982). Les cédraies se trouvent dans un état de dégradation plus ou moins avancé (Benabid, 1994).

Son origine massive montagneux d'Afrique du Nord (Algérie et moyen Atlas marocain), introduit en Europe en 1839, il est aujourd'hui menacé dans son aire d'origine. (Par Société Nationale d'Horticulture de France, 2019). Aux pays du Maghreb, il a été identifié par le pollen dans le Hoggar (Abdessemed, 1982).

Il existe aussi, Au Sud et au Nord- Ouest de la Tunisie, dans le Rif, le Moyen Atlas et le Haut Atlas Oriental (Maroc), montrant ainsi à vaste distribution des lointains ancêtres des cèdres (Nadjahi, 1988).

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

Tandis que, Le morcellement de son aire est essentiellement lié aux variations climatiques passées (Cheddadi, 2005) et l'action de l'Homme (Yahi et Médiouni, 1997).

### 3-Systematique :

D'après Toth (2005), le cèdre de l'Atlas présente la systématique suivante :

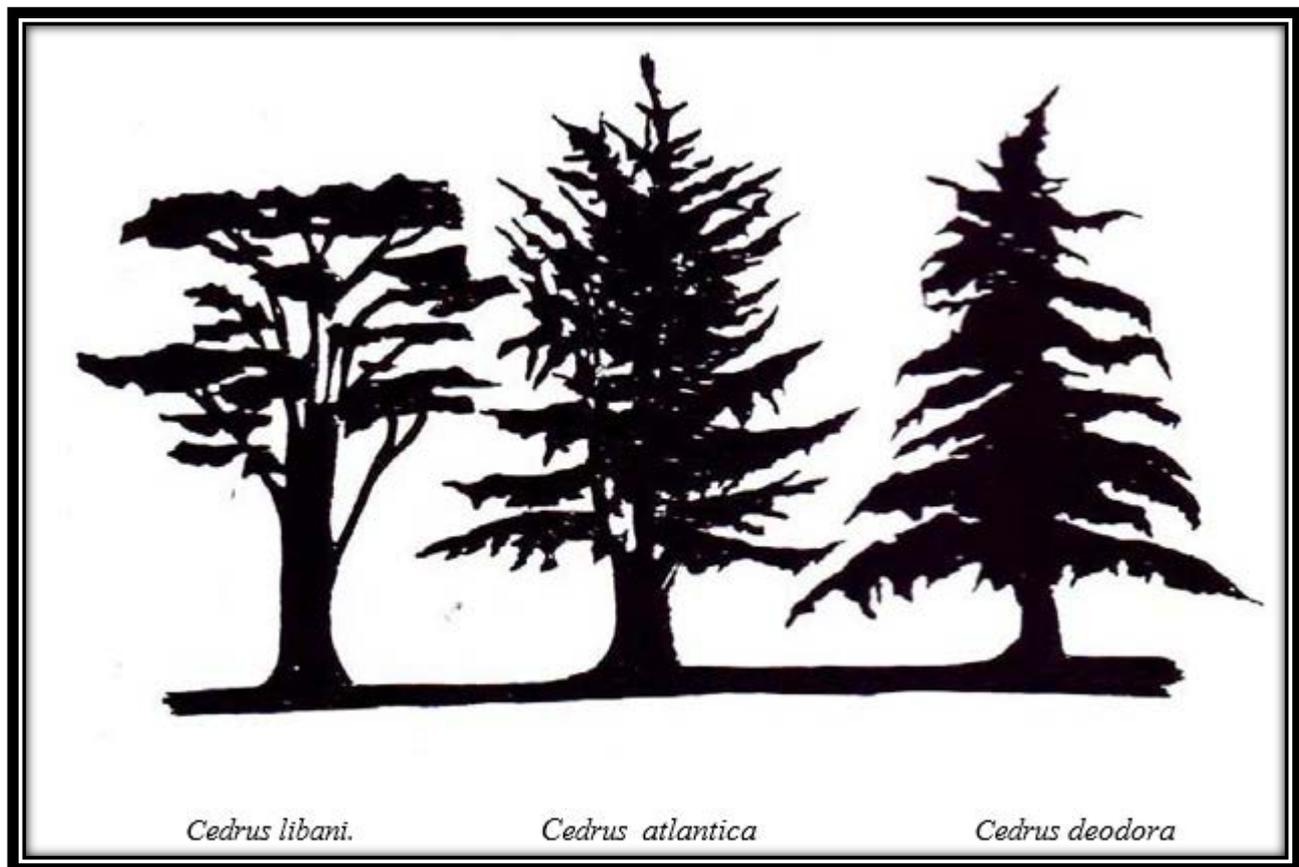
- Embranchement : Spermatophytes.
- Sous- embranchement : Gymnospermes.
- Classe : Coniferospidae.
- Ordre : Coniférales.
- Famille : Pinacées.
- Sous-famille : Abiétacées.
- Genre : Cedrus.
- Espèce : Cedrus atlantica Manetti.

L'espèce, Cedrus atlantica est un nom d'origine gréco-latin dont la signification est la suivante (Rameau et al. 2008) :

- Cedrus du grec Kedros : veut dire Arbre.
- atlantica du latin atlanticus : veut dire des régions atlantiques (Atlas marocain).

Il y a 4 espèces qui forment trois blocs géographiquement différents dans les régions suivantes : Afrique du nord, Asie mineure, Himalaya (Toth, 1984).

- Le premier bloc représenté par le Cedrus atlantica M : il concerne l'atlas marocain avec 130.000ha sur deux zones d'altitude différente de 1300 à 2400 m et l'atlas algérien avec 25.000ha avec des altitudes comprises entre 1200 à 2100m.
- Le deuxième bloc se divise en deux parties occupées respectivement par :
  - Le Cedrus libanais : il est au Liban à 1800 m où il occupe de petites zones et en Turquie où son aire est très vaste entre 1500 et 2000 m d'altitude.
  - Le Cedrus brevifolia : dans l'île de Chypre sur une surface restreinte.
- Le troisième bloc avec le Cedrus deodora représente les grands massifs de l'Inde et de l'Afghanistan avec vastes étendues sur le nord – ouest de l'Himalaya entre 1350 et 3500 m d'altitude. Étant donné que le Cedrus atlantica est l'espèce endémique de notre pays c'est sur ce dernier que s'effectuera notre étude.



**Figure 1 :** Aspect classique des arbres isolés de trois espèces de cèdre (Toth, 1970).

#### **4-L'aire de répartition naturelle du cèdre de l'atlas :**

Le cèdre de l'Atlas se localise dans les zones de montagne entre 1500 et 2000 m où il occupe près de 200.000 ha en Afrique du Nord dont les 3/4 au Maroc et le reste en Algérie. Il a été introduit en tant qu'espèce de reboisement en France, Italie, Bulgarie, Russie (Lasram, 1994)

D'après Boudy (1950), Le cèdre de l'Atlas est une essence caractéristique des montagnes de L'Afrique du Nord et plus précisément du Maroc et de L'Algérie. Tandis que, la superficie s'élevait à 145 000 ha dont 116 000ha au Maroc et 29 000ha en Algérie (Boudy, 1950). Cependant que, Le Maroc a la plus grande surface, qui répartie sur deux important blocs, le premier dans le moyen Atlas et le grand Atlas oriental (116 000 ha), le second dans le Rif occidental et central avec une superficie d'environ 16 000 ha (M'hirit, 1982).

Et dans l'Algérie, le cèdre n'occupe actuellement guère plus de 16 000 ha, Alors que, son aire climacique est estimée à 130 000 ha Mate, 2000 (Yahi, 2007).

À travers ces quelques descriptions glanées dans les archives nous avons une idée sur l'état qualitatif des paysages forestiers les plus importants et les plus intéressant avec leur localisation », Car le morcellement de son aire est essentiellement lié aux variations climatiques passées (Cheddadi, 2005).

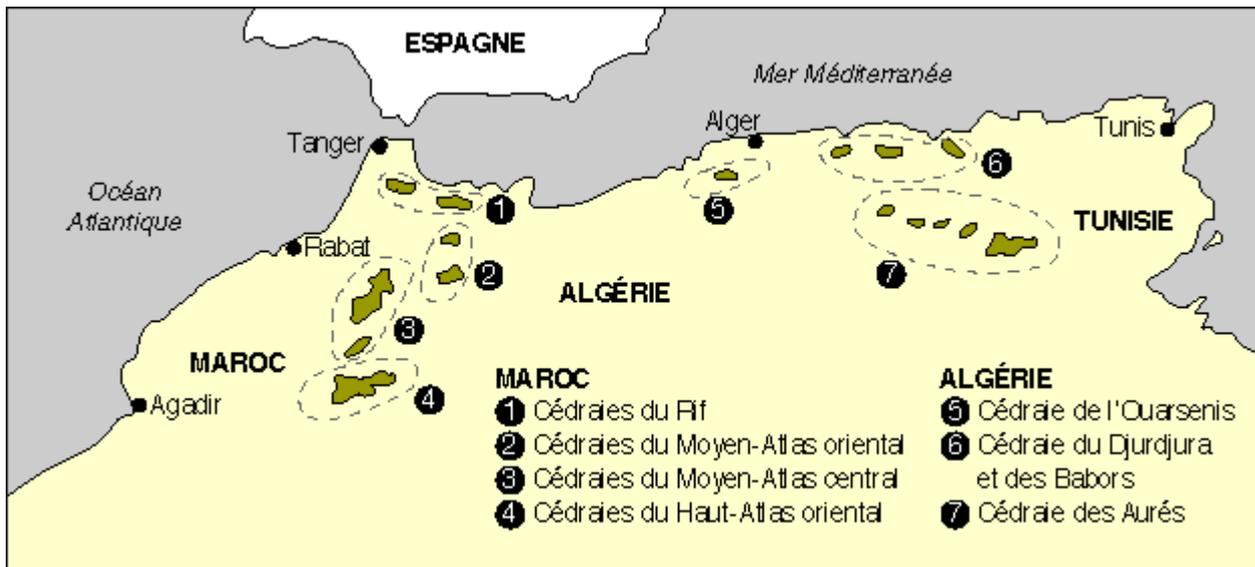


Figure 2 : Répartition du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord (M'hirit, 1994).

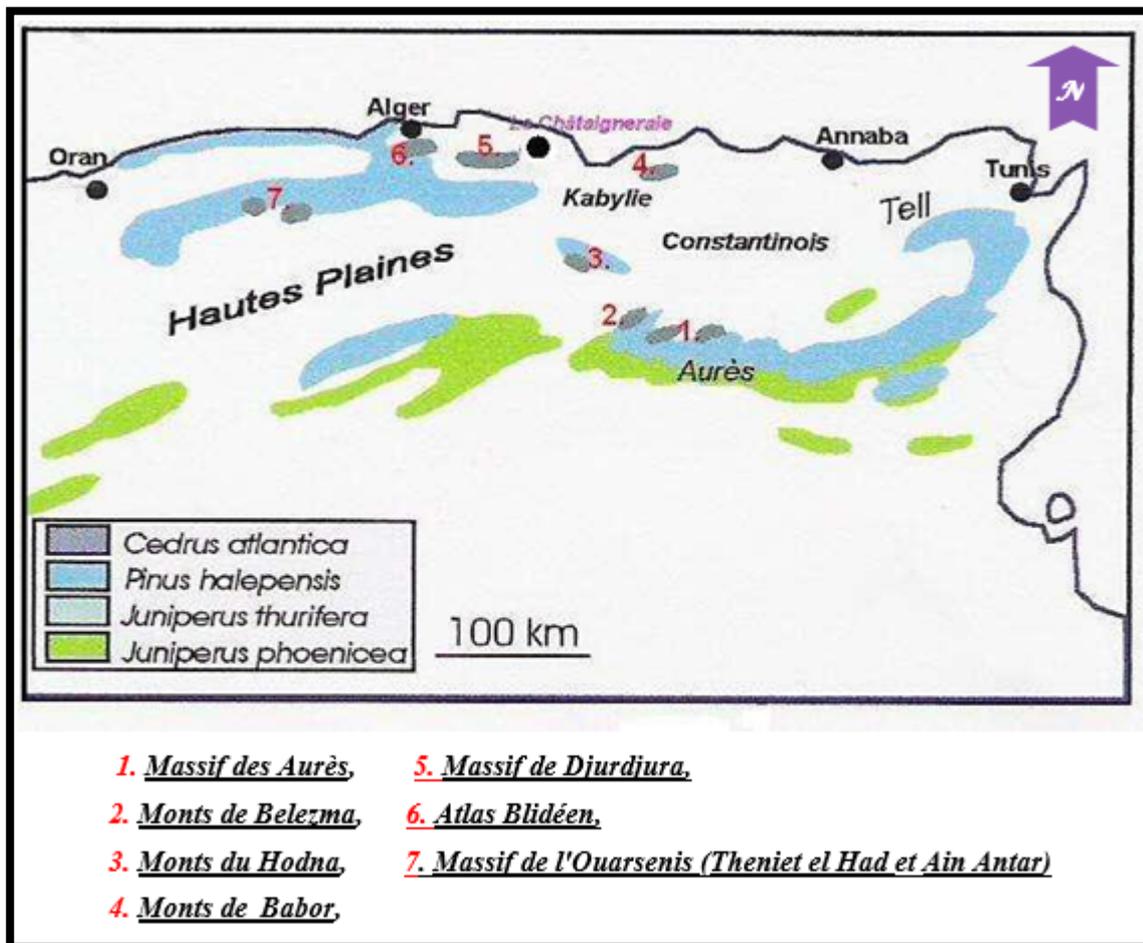


Figure 3 : Localisation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en Algérie (Demarteau, 2006).

# Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

## 5-Aire d'introduction :

Le cèdre de l'Atlas a été depuis longtemps l'une des espèces de reboisement les plus utilisées dans la région méditerranéenne (Ripert et Boisseau, 1994). Les principaux pays dont il a été introduit sont :

- **Algérie** : Il se rencontre au Nord-centre et à l'Est, sous forme de cédraies morcelées en plusieurs îlots discontinus de surface inégale (Betrouche, 2012).

Selon M'hirit (1994), on distingue 3 blocs de cédraies en Algérie : Cédraies de l'Ouarsenis au centre, de Djurdjura et des Babors et cédraies des Aurès, Où Le cèdre de l'Atlas commence à apparaître vers 1400m dans l'Aurès (Abdessemed, 1981), et Theniet El Had. Il peut même apparaître vers 1300 m au Chréa par contre sa limite supérieure peut aller jusqu'à 2.200 m au Chélia (Abdessemed, 1981).

- **France** : Toth (1990) indique qu'on trouve le cèdre dans la plupart des reboisements des collines et des montagnes basses de la région méditerranéenne. La France se place donc en tête des pays européens avec une superficie de l'ordre de 120.000 ha, et elle est en constante progression à un rythme de 1.000 ha /an. En 2006, 300.000 cèdres ont été vendus (Naudet, 2006). Son aire potentielle serait de 200.000 ha (Fabre, 1994). Les plus grandes cédraies sont celles du Mont- Ventoux et Lubéron dans le Vaucluse et de Riasses et Marcilly dans l'Aude (Toth, 1990).

- **Italie** : Le cèdre de l'Atlas a été introduit au 19ème siècle en 1864 (M'hirit, 1994). Il couvre près de 1.000 ha au Sud et au centre du pays (Demarteau, 2006).

Andrea et Roberto (1994) pensent qu'il est possible de le développer sous réserve d'un bon choix des emplacements et de la technique de culture.

- **Bulgarie** : Selon Delkov et Grozey (1994), Les premiers cèdres de Bulgarie qu'on peut trouver dans plusieurs endroits, ont été plantés en 1876.

- **Hongrie** : C'est dans les stations situées dans les montagnes au nord-est du Danube que (Csaba M 1994). Relate la bonne tenue de *Cedrus atlantica* en Hongrie.

Csaba (1994), a montré que cette espèce a des avantages liés entre autres à sa croissance vigoureuse et à son excellente tolérance à la sécheresse.

- **Tunisie** : Selon Dahmane et Khodja (1994), les 1ers résultats d'acclimatation montrent une adaptation et une croissance convenable. Aussi, les essais d'acclimatation de différentes provenances sont en cours au niveau de 2 arboretums.

- **Autres pays** : En Russie, *Cedrus atlantica* a été introduit comme espèce de reboisement (Lasram, 1994) sans donner plus de précisions sur son implantation. Toth (2005), parle de l'introduction du cèdre au Portugal en 1935, sans préciser si ces peuplements ont perduré ou non. Aux États-Unis, M'hirit (1994) signale l'introduction du cèdre dans quelques États.

## 6-Caractères botaniques et forestières :

Le cèdre de l'Atlas est un arbre résineux caractérisé par une croissance rapide à l'état jeune (Pijut, 2000) et une longévité dépassant les sept siècles (Boudy, 1950).

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

**6.1-Port :** Port pyramidal au jeune âge, il est de forme tabulaire à l'âge adulte (Losange, 2008). Le tronc est souvent monopodial orthotrope (Riou-nivert, 2001).

Le port, rectiligne, peut atteindre 40m voire 60m de hauteur totale et 3m de diamètre à hauteur d'homme voire plus (Riou-nivert, 2001).

Selon Hoefler (1850), le cèdre de l'Atlas peut atteindre une circonférence de douze mètre.

**6.2-Écorce :** L'écorce est une brun, lisse à l'état jeune puis elle prend une couleur grisâtre avec un aspect écaillé, crevassé à l'état adulte (Houamel Ali Chaker, 2012).

**6.3-Système racinaire :** L'architecture du système racinaire est très étendue (Boukcim et al., 2001). Bien développé, il assure la stabilité de l'arbre et une bonne alimentation en eau dans le cas d'un déficit hydrique (Dekrey, 1994).

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

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

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



**Figure 4 :** Rameau de *Cedrus atlantica* avec le cône et des aiguilles en bouquets (Betrouche, 2012)

**6.5-Feuilles :** Elles sont rassemblées en rosettes portées sur des rameaux courts (mésoblastes) et sur d'autres rameaux de taille moyenne (auxiblastes) sur lesquels elles sont en spirales (Godet, 2007).

**6.6-Organes reproducteurs :** Les fleurs mâles sont des chatons cylindriques dressés, de couleur jaune verdâtre et les fleurs femelles sont des chatons ovoïdes (cônes) dressés, vert bleuâtres (Jacamon, 1987). Contrairement aux autres conifères, le cèdre de l'Atlas, fleurit en automne et la pollinisation est anémophile (Arbez et al. 1978).

**6.7-Cône :** Le cône est cylindrique de 5 à 8 cm de long, vert avant maturité puis brun, Il est cylindrique à sommet aplati ou déprimé (Riou-Nivert, 2007). Il mûrit en 2 ans.



**Figure 5 :** Photos illustratives de Chatons et Cônes (Alileche, 2012)

**6.8-Les aiguilles :** Elles sont isolées sur les jeunes rameaux longs et sur les pousses de l'année, leur longueur est de 1 à 2 cm, rigide à apex aigu, d'une couleur qui varie du vert foncé au vert bleuté selon les arbres ; elles sont fasciculées et en rosette sur des rameaux courts elles sont persistantes (Toth, 1971). Il est à noter qu'il existe une certaine variabilité intra-spécifique de *Cedrus atlantica*.

Ainsi, les provenances algériennes présentent des aiguilles plus longues, mais moins nombreuses par rosettes que celles de leurs homologues marocaines (Bariteau et Ferrandes, 1992).



**Figure 6 :** Photos illustratives de Aiguilles et rachis Graine ailée (Alileche, 2012).

**6.9-Graines :** Elles sont de forme irrégulièrement triangulaire d'une taille variant de 8 à 12mm (Taleb, 2010). Elles sont de couleur marron roux à marron claire avec des cavités en parties résineuses comportant une aile développée (Philippe et al., 2006).

Selon Derridj (1990), les cônes de cèdre portent deux types de graines : des graines fertiles se localisant au milieu du cône et des graines stériles se localisant à la base et au sommet du cône.

La graine de cèdre ne germe que si les températures journalières avoisinent les 10°C pendant 9 à 10 jours (Lepoutre, 1964). Elles perdent assez vite leur pouvoir germinatif (Seigue, 1985).

**6.10-Pollinisation :** À partir du mois d'Octobre, les bractées des inflorescences femelles commencent à s'ouvrir progressivement pour recevoir les grains de pollen libérés par les chatons mâles, ces derniers se détachent une fois la pollinisation terminée (Toth, 1984).

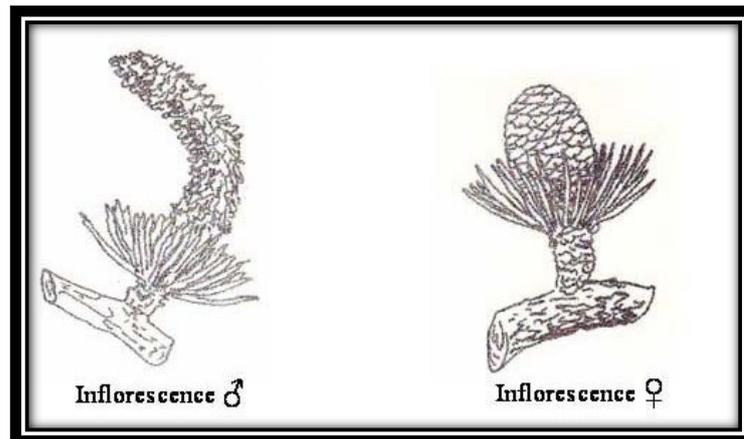
Selon Boudy (1952), la fécondation des fleurs se produit en automne.

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

**6.11-Inflorescence :** Elle peut être précoce (15 à 20 ans) dans des conditions appropriées et débute à l'âge de 25 ans dans des conditions moyennes (Riou-nivert, 2001).

Les chatons mâles, jaunes et cylindriques, en forme de bourgeon arrondi recouvert d'une pellicule cireuse, apparaissent généralement lors de la fin du mois de juin (Jacmon, 2001). Les chatons femelles, de forme ovoïde et de couleur vert-bleuâtre apparaissent deux mois après, soit lors de la fin du mois d'août (Jacmon, 2001).

D'après Debazac (1964), Les inflorescences mâles sont d'un jaune verdâtre alors que les femelles sont d'un vert pâle.



**Figure 7 :** Inflorescence mâle et femelle du cèdre de l'Atlas (Betrouche, 2012)

**6.12-Fruit :** En moyenne, c'est vers l'âge de 25 ans que s'opère la 1ère fructification ; mais dans certaines stations favorables, elle intervient à l'âge de 18 ans (Toth, 2005). La maturité des cônes dure 2 ans après la floraison. De couleur brune violacée, ces cônes ont 5 à 8 cm de dimension et atteignent au plus 10 cm (Quezel et Santa, 1962).

Le cycle de reproduction est intermédiaire entre le cycle de deux ans (le plus courant chez les conifères et les feuillus) et le cycle de trois ans trouvé chez la plupart des espèces du genre pinus (Toth, 2005).

**6.13-Reproduction :** Selon Salgues (2008), le cycle de reproduction peut se résumer comme :

Année 01 : Apparition des cônelet, floraison et pollinisation.

Année 02 : Fécondation des ovules par les gamètes males et croissance des cônes.

Année 03 : Maturation des cônes et leur désarticulation sous l'effet alternatif de la chaleur, humidité et gel.

Les graines sont disséminées par le vent sur une distance de 20 à 50 m (Ezzahiri et Belghazi, 2000).

**6.14-Longévité :** Elle peut dépasser 900 ans (Touchan, 2008) ; voire 1000 ans et plus (Arnaud, 1997). Il peut donner des graines fertiles jusqu' un âge avancé (Boudy, 1952).

### 7-Caractéristiques écologiques du cèdre de l'Atlas :

#### 7.1-Climat :

Le cèdre de l'Atlas se trouve donc en climat méditerranéen humide (Rif) (Debazac, 1964). Tandis que, Le cèdre de l'Atlas est caractéristique des étages bioclimatiques subhumides à per- humides froids à très

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

froids (Demarteau et al., 2007). Généralement le cèdre est une espèce de demi-ombre (Pons, 1998). Ainsi, Le cèdre de l'Atlas trouve son optimum écologique dans le climat méditerranéen humide à hiver froid (Quezel, 1980).

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

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

**7.1.1-Température :** Le cèdre croit sous des températures moyennes annuelles comprises entre 8 et 14°C (Derridj, 1990). Pour les températures moyennes des minima du mois le plus froid, les cédraies peuvent tolérer des valeurs comprises entre « -1 » et « -8°C » (Benabid, 1994). Le cèdre supporte des températures minimales de -24 °c et des maximums allant jusqu'à 40 °c (Yahi, 1995). Donc, Il peut également résister à de très basses températures (-25° C) (Nedjahi, 1988).

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

**7.1.2-Précipitation :** La pluviométrie joue un rôle prépondérant sur la croissance du cèdre (Toth, 1987).

Selon Schoenenberger (1970), Le cèdre de l'Atlas, est une essence pas très exigeante pour la pluviométrie. Le cèdre se développe entre 440 et 1403 mm de pluie (Mediouni et Yahi, 1994).

En Algérie, les cédraies reçoivent une lame pluviométrique allant de 500mm à 1400mm environ (Toth, 1980). Dans l'Aurès, il ne reçoit qu'une tranche pluviométrique de 450 mm à 500 mm et ressent de l'influence desséchante du Sahara voisin (M'hirit, 1982). Et aussi, dans les Monts des Bahors et le Rif marocain, cette tranche est de l'ordre de 1.400mm à 1.500 mm (Toth, 1980).

La station préférée du cèdre se situe dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver froid (850 mm à 1.200 mm), où se localisent les trois-quarts des cédraies marocaines (Boudy, 1950).

### **7.2- Altitude :**

Le cèdre pousse à des altitudes variant de 1.400 m à 2.200 m, ses limites inférieures et supérieures différentes d'une cédraie à l'autre en fonction des conditions climatiques et du relief (Aussenac et Guhl, 1990).

D'après Pujos (1966), trois types de cédraies se distinguent en fonction de l'altitude :

- Les cédraies basses : inférieures à 1800 m.
- Les cédraies moyennes : comprises entre 1800 – 2100 m
- Les cédraies hautes : supérieures à 2100 m.

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

Le cèdre occupe partout les sommets des montagnes (Derridj, 1990). Sur le versant nord, il s'installe d'une façon générale, à partir de 1400 m bien qu'il peut descendre encore plus bas là où existent des conditions microclimatiques particulières. Par contre, sur les versants sud, il existe un décalage de 200 m

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

en moyenne pour le Chélia et peut atteindre 400 à 500 m au Belezma. La limite supérieure est de 2200m pour les deux versants bien que des individus isolés arrivent jusqu'à 2300m (Abdessemed, 1982). Aussi que, dans le massif de Belezma, le cèdre de l'Atlas évolue dans une tranche altitudinale allant de 1400 à 2000 m d'altitude (Bentouati et Oudjih, 1999).

Et en France, Il peut se rencontrer à des altitudes inférieures à 400 m (Provence), aussi bien qu'en altitudes supérieures à 700 m où les conditions sont meilleures (Ripert et Boisseau, 1993).

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

### 7.3- Exposition :

Il existe des relations entre l'exposition et l'altitude d'une part et la pluviométrie d'autre part et préconisent entre 20 et 40 mm d'accroissement de la pluviométrie annuelle par 100 m de dénivelée selon l'exposition des versants (Lehouerou, 1975).

En Algérie les plus belles cédraies évoluent sur les versants nord et nord-ouest, plus exposées à une pluviométrie importante par suite de vents humides, comparativement aux versants sud exposés aux vents chauds et secs « Sirocco » et un ensoleillement plus fréquent. On rencontre de ce fait les plus belles cédraies sur les versants nord. Leur limite inférieure est plus basse que celle de l'exposition sud. Cette dénivellation est due à la variation d'humidité (Emberger, 1938).

Au Maroc, les études effectuées sur les cédraies du Moyen Atlas font ressortir que celle qui sont les mieux développées et où la régénération est mieux réussie sont celles exposés à l'ouest et au nord-ouest, alors que celles exposées à l'est et au sud-ouest ont une faible fructification et faible régénération (Ezzahiriet al, 2000).

### 7.4- Sol :

Le cèdre s'accommode à toutes les compositions chimiques du sol c'est la composition physique qui joue le rôle prépondérant (Lepoutre, 1963). Ce qui le rend apte à coloniser presque tous les types de sol (Toth, 1971). Le cèdre peut croître aussi bien sur sol acide (pH 4) que sur sol basique (pH8) (Belloumi, 2002).

Selon Prad al, (1979), Les textures légères semblent prisées par les jeunes semis. Indifférent à la nature lithologique et aux propriétés chimiques du sol, il préfère néanmoins les sols meubles, profonds et caillouteux (Lecomte, 2007). Dans des conditions climatiques favorables, la régénération du cèdre semble beaucoup plus facile et rapide sur des sols sableux que sur des sols argileux (Lepoutre et Pujos, 1963). Sa croissance demeure faible sur sols peu profond (Harfouche et Nedjahi, 2003). De plus, les sols argileux semblent relever des conditions défavorables (Lecomte et Lepoutre, 1975).

En Algérie, on le retrouve sur les sols gréseux, sur les schistes et les sols calcaires (Khanfouci, 2005). Dans les Aurès, le cèdre de l'Atlas évolue sur des sols bruns ou des rendzines.

Les roches qui forment ces sols sont des grès blancs, des dolomies et des marnes (Abdessemed, 1981), des sols bruns fersiallitiques, ou des sols bruns eutrophes sur grès (Benarab, 1996).

D'après Mediouni et Yahi (1994), les cédraies sont généralement localisées sur substrats calcaires.

# Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

## 8-Les ennemis du cèdre de l'Atlas :

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

### 8.1- Les insectes :

•Les insectes mangeurs des feuilles (défoliateurs) : La chenille Processionnaire du pin (*Thaumetopea pityocampa*), Qui attaque les aiguilles des jeunes pousses (Boudy, 1950). Et depuis, sa présence a été confirmée à la suite d'investigations dans les cédraies (Gachi, 1989).

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

Selon M'herit et al., (2006), *l'Epinotia algeriensis*, elles peuvent pulluler et constituer un danger, ou, aussi vivre dans l'aire du cèdre à l'état de latence sans présenter de risques pour l'arbre. Elle a été décrite initialement sur des individus récoltés en France, sur Cèdre de l'Atlas, dans la cédraie du Luberon, par Diakonoff (1969). Depuis, sa répartition géographique a été précisée (Fabre, 1976).

•Les Insectes Mangeurs de Graines : D'après Toth (1978), Le chalcidien seminivore (*Megastigmus pinsopinis*) est une Insecte parasite de la graine en particulier durant les années de faible production.

•Les Insectes Suceurs du Sève : Puceron de cèdre (*Cedrobiumloportei*) est un puceron caractérisé par la production du miellat, qui colle aux feuilles et gêne l'assimilation chlorophyllienne (Beloula S, 2010).

**Tableau 1 :** Insectes des cônes du Cèdre dans son aire naturelle (Nageleisen, 2007).

Espèce	Insectes de cônes (graines)	<u>Pays</u>
<i>Cedrus adantica</i>	- <i>Diorytria peltieri</i> Jaonnis (Lépidoptère, <i>pyralida</i> )	Algérie
	- <i>Ernobius fructuum</i> Peyer (Lépidoptère, <i>Pyralida</i> ) - <i>Magastigmus Suspevtus</i> var. <i>Pinsapinis</i> Hoff (Hyménoptère, <i>Torymidae</i> ) - <i>Hapleginella laevifrons</i> (inflorescences males) - <i>Peyerimhoffi Dejoannis</i> (inflorescences femelle) - <i>Rhodophaea praestantella</i>	Maroc
<i>Cedrus libani</i>	- <i>Barbara osmana</i> Obr. (Lépidoptère, <i>Pyrczliidae</i> ) - <i>Ernobius abietis</i> F. (Coléoptère, <i>anobiidae</i> ) - <i>Ernobius anatolicus</i> Johns. (Coléoptère, <i>Attoblidae</i> ) - <i>Ernnbius angusticolli</i> S Ratz. (Coléoptère, <i>Annbiidae</i> ) - <i>Megastigmus schimitschekii</i> Novitz. (Hyménoptère, <i>Torymidae</i> )	Turquie
	- <i>Megastigmus sp.</i> (Hyménoptère <i>Torymidae</i> )	Liban
<i>Cedrus brevifolia</i>	- <i>Megastigmus schimitschekii</i> Novitz. (Hyménoptère, <i>Torymidae</i> )	Chypre

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

**Tableau 2 :** Cochenilles rencontrées sur le cèdre (Mille, 1986).

Espèce	Insectes de cônes (graines)	Pays
<i>Cedrus atlantica</i>	- <i>Diorytria peltieri</i> Jaonnis (Lépidoptère, <i>pyralida</i> )	Algérie
	- <i>Ernobius fructuum</i> Peyer (Lépidoptère, <i>Pyralida</i> ) - <i>Magastigmus Suspevtus</i> var. <i>pinsapinis</i> Hoff (Hyménoptère, <i>Torymidae</i> ) - <i>Hapleginella laevifrous</i> (inflorescences males) - <i>Peyerimhoffi Dejoannis</i> (inflorescences femelle) - <i>Rhodophaea praestantella</i>	Maroc
<i>Cedrus libani</i>	- <i>Barbara osmana</i> Obr. (Lépidoptère, <i>Pyrzylidae</i> ) - <i>Ernobius abietis</i> F. (Coléoptère, <i>anobiidae</i> ) - <i>Ernobius anatolicus</i> Johns (Coléoptère, <i>Attoblidae</i> ) - <i>Ernnbius angusticolli</i> S Ratz. (Coléoptère, <i>Annbiidae</i> ) - <i>Megastigmus schimitschekii</i> Novitz. (Hyménoptère, <i>Torymidae</i> )	Turquie
	- <i>Megastigmus sp.</i> (Hyménoptère <i>Torymidae</i> )	Liban
<i>Cedrus Brevifolia</i>	- <i>Megastigmus schimitschekii</i> Novitz. (Hyménoptère, <i>Torymidae</i> )	Chypre

### 6.2- Les maladies cryptogamiques (Champignon) :

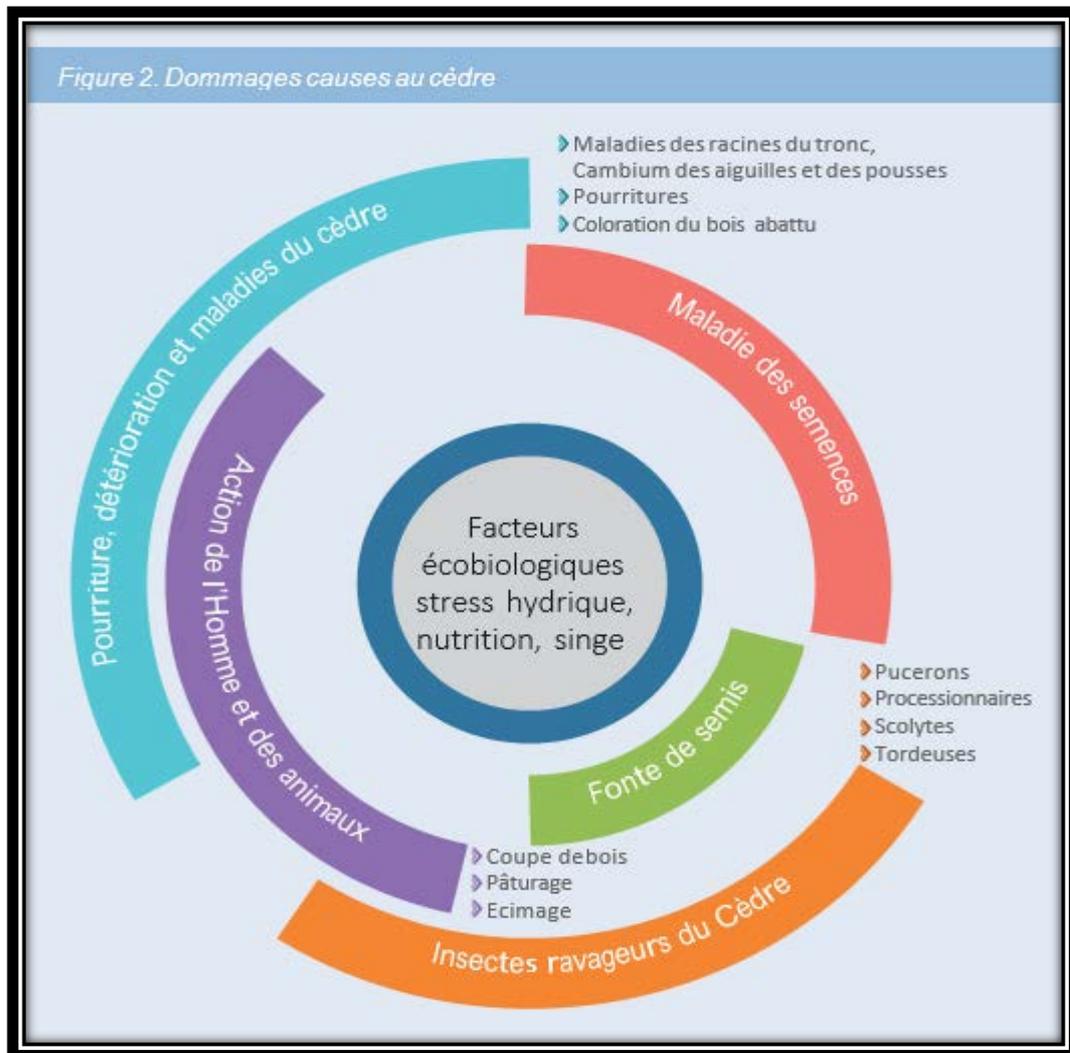
Parmi les champignons qui causent des dégâts redoutables au cèdre on cite :

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

**6.3- Les incendies :** En peuplement dense, le cèdre élimine toute végétation herbacée, de ce fait il est peu propice au feu (Toth, 1970). Donc, sont infiniment moins fréquents et moins graves que dans les Yves et n'entraînent jamais la destruction complète des peuplements (Toth, 1970).

**6.4- Les animaux :** Surtout les bovins et les caprins lâché en liberté dans la forêt cause, de terribles dégâts en piétinant et compactant le sol et en broutant les parties terminales des jeunes pousses (Belkhiri, 1993).

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



**Figure 8 :** Dommages causés au cèdre (livre Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, 7)

### 9- Association végétale :

Selon Boudy (1952) la cédraie se présente sous deux faciès :

- **Faciès humide :** Localisé aux monts de Chrèa, dans les Babor et au moyen Atlas marocain caractérisé par le chêne vert, le chêne Zeen de l'if et par l'absence de genévrier thurifère et de nombreuses autres espèces.
- **Faciès relativement sec :** Qui est celui de l'Aurès, des Monts des Hodna, Theniet El Had et du grand Atlas orientale marocain.

Selon Boudy, 1952 Les espèces les plus caractéristiques de ce faciès sont : *Pinus halepensis Mill* et Le pin d'Alep.

### 10- Utilisation du cèdre : intérêt

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

Selon M'hirit (2006), La qualité du bois du cèdre est supérieure à celle de tous les pins dans le méditerrané, Elle lui assure toutes sorte d'utilisation, fabrication de chalets de Montagne, menuiserie, charpente poteaux, placage intérieur, meubles rustiques les produits d'éclaircie peuvent être utilisés

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

également en papeterie, mélanges en faible quantité avec pins. Aussi, il sert également à la fabrication des sarcophages et du cercueil de certains papes (De Vilmorin, 2003)

Peut même fournir de la térébenthine (Becker et al, 1983). Aussi, maintien d'un équilibre biologique en protégeant et en améliorant le sol (Toth, 1980). A la capacité de, protection contre l'incendie, feuillage peut inflammable (Alexandrian et Gouiran, 1992).

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

Le cèdre considère par Toth (1980), Arbre de grande valeur esthétique.

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

### **11- Résistance du cèdre à la sécheresse :**

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

D'après Ducery (1993) aussi, le cèdre résiste à des stress hydriques très important, Il peut supporter des dessèchements atteignant -40 bars. Mais d'autres dit que, le stress hydrique se manifeste à partir de -16 bars, puis vers le taux d'humidité diminue jusqu'à la fermeture des stomates, vers -30 bars les tissus ne peuvent plus retenir leur eau de constitution intra-cellulaire et les arbres meurent rapidement (Ait Abderrahman, 2007).

Le cèdre se trouve dans les zones recevant des précipitations annuelles allant de 600 à 2000 mm avec ou sans sécheresse estivale prononcée avec des températures moyennes annuelles de 7.5°C à 15°C et extrêmes de -25°C et +40°C (Ducrey, 1994). Parce que, la présence de champignons ectomycorhiziens dans plusieurs sites de la cédraie peut conférer aux jeunes semis une tolérance à la sécheresse (Lamhameadi et Chbouki, 1994).

Selon Abdessemed (1981), en comparant nos cédraies avec le reste des cédraies méditerranéennes, on constate qu'elles comptent parmi les plus sèches du bassin méditerranéen.

### **12- La régénération du cèdre :**

La cédraie algérienne fractionnée en îlots dispersés représente 1,2% de la superficie forestière, Elle est localisée dans les étages bioclimatiques allant du semi-aride supérieur (Monts des Aurès et du Hodna) au perhumide (Monts des Babors et de Chréa) (Nedjahi Abdellah, Département Sylviculture I.N.R.F Algérie BP 37 Chéraga Alger).

La Cédraie subit une pression humaine et pastorale importante, cela a par conséquence une dégradation progressive des peuplements avec une régénération naturelle compromise (Nedjahi Abdellah, Département Sylviculture I.N.R.F Algérie BP 37 Chérag à Alger). D'ailleurs, Le problème des cédraies naturelles est le manque de régénération, qui serait lié au surpâturage (Pujos, 1964).

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

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

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

Selon Nedjahi Abdellah (Département Sylviculture I.N.R. F Algérie BP 37 Chéraga Alger), Pour préserver ce cèdre de l'atlas, il est nécessaire d'intensifier des efforts de protection et de recherches pour la mise au point des techniques performantes permettant la régénération et l'extension dans l'aire potentielle de l'espèce. En effet, la régénération est la condition fondamentale de la pérennité des peuplements. Elle comporte plusieurs phases :

- la fructification des semenciers,
- la germination des graines,
- le développement des semis.

Le forestier peut agir essentiellement sur le microclimat local, par l'intermédiaire de diverses interventions sylvicoles. La régénération du Cèdre de l'Atlas n'échappe pas à cette règle et dépend de nombreux facteurs écologiques (climat, biocénose, sol) et anthropiques.

Les difficultés et les contradictions du sujet ont été soulignées par plusieurs auteurs : Faurel(1974), Boudy (1950), Lepoutre (1964), Toth(1978), Quezel (1980), Abouray (1983), M'hirit (1987).

## II. Dépérissement.

### 1-Définition de dépérissement :

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

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

À cause des agressions de toute nature que subit la forêt, il est difficile d'isoler la part des accidents climatiques dans un environnement de plus en plus modifié par l'homme (Bastien et al.,2000).

D'après Sfea (2008), c'est surtout l'augmentation de la fréquence et de la durée des périodes sèches qui auraient un fort impact sur les arbres et la pullulation des parasites, ce qui provoqueraient le changement radical de la répartition des végétaux d'où le dépérissement de la strate arborée.

Par définition, le dépérissement des forêts est un phénomène complexe qui a affecté plusieurs régions du monde depuis les années 1970, en particulier l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Afrique du Nord (Allen et al., 2010).

Un dépérissement est un processus évolutif, faisant intervenir de multiples causes qui agissent en synergie (Fiot et al., 2007). Ils peuvent être de causes purement naturelles, humaines ou une combinaison des deux (Requardt et al., 2007 et Fiot et al., 2007).

Selon Manion (1991), « 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 ».

Selon Le Meignen et Micas (2008), Le dépérissement est avant tout un terme symptomatologique qui traduit une altération durable de l'aspect extérieur des arbres (mortalité des organes pérennes, réduction de la qualité et de la quantité des feuilles), et une diminution de la croissance. La mort d'un certain nombre d'individus n'est pas obligatoirement un signe de fatalité pour le peuplement, même si la situation est préoccupante.

Pour Badraoui et Assali(2007), en terme de symptomatologie, les dépérissements forestiers sont définis comme étant des phénomènes causes par un ensemble de facteurs interagissant et se succédant d'une façon particulière entraînant ainsi une détérioration générale et graduelle de la sante de l'arbre dont l'issue n'est pas toujours fatale.

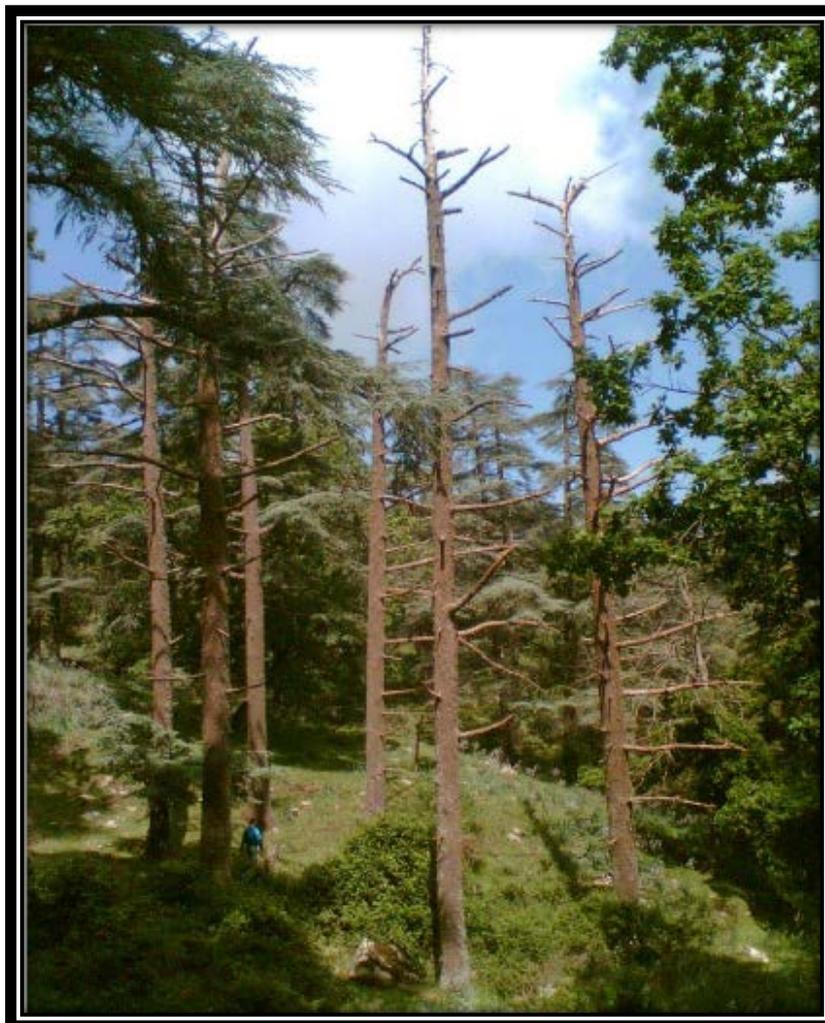
### 2.2-Les types de dépérissement :

Cite par Abdelhamid (1992), distingue trois types de dépérissement selon leur évolution : << brusque, rapide et lent>>.

**2.1-Le dépérissement brusque :** qui se développe en quelques semaines, se traduit par le dessèchement des feuilles qui restent pendantes.

**2.2-Le dépérissement rapide :** qui se développe en une à deux années, entraîne une mort brusque de l'arbre.

**2.3-Le dépérissement lent :** qui s'étale sur plusieurs années, affecte essentiellement les arbres âgés de 80 à 100 ans.



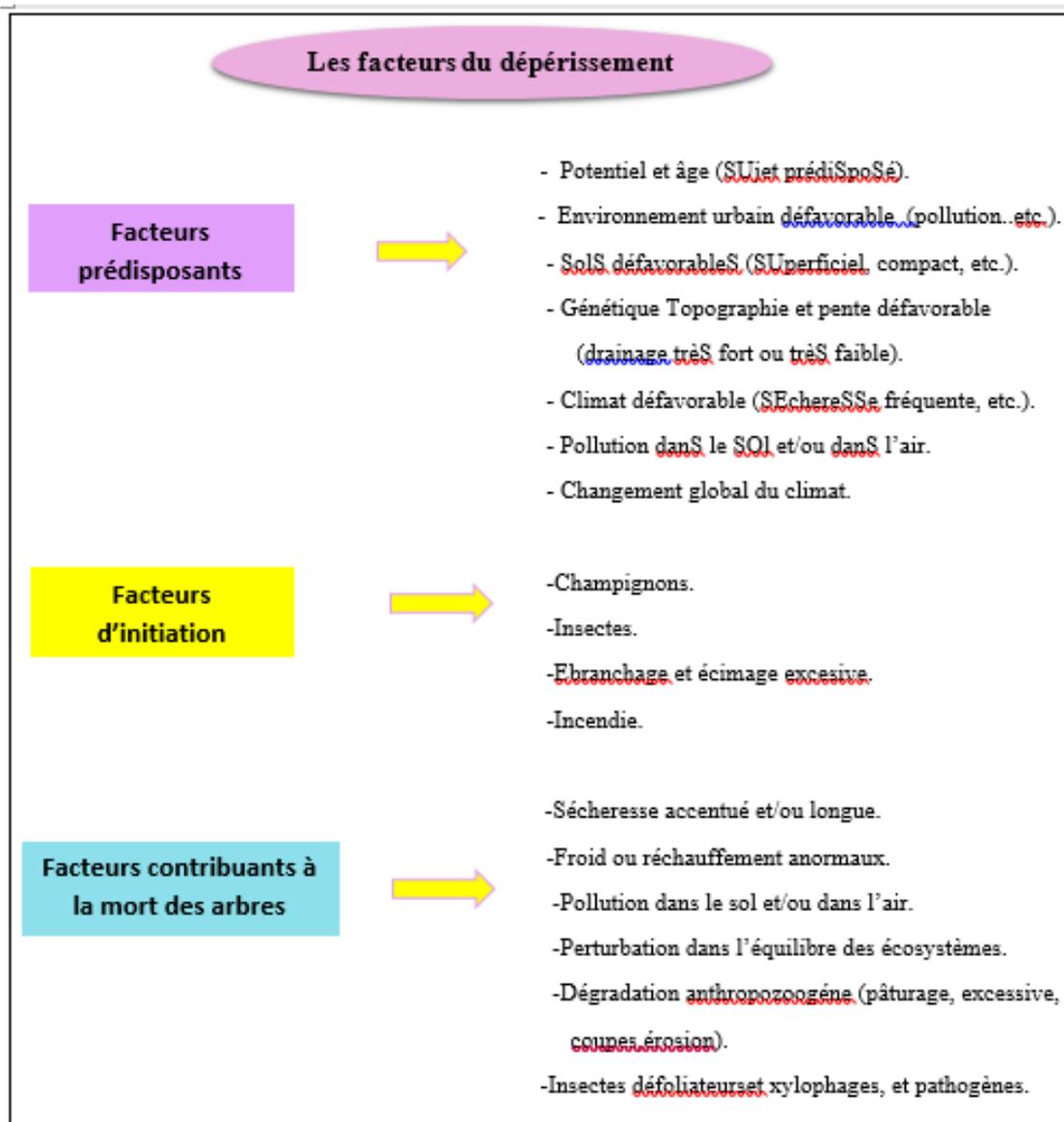
**Figure 9 :** Une photo représente des Taches de dépérissement dans six cèdres dépéris au niveau de la cédraie de Theniet el had.

### **3-Les facteurs du dépérissement :**

Trois principaux facteurs retenus être à l'origine du dépérissement (Guillaumin et al., 2005).

Comme le montre la figure (10), les facteurs du dépérissement peuvent être catégorisés en trois classes expriment les mécanismes et le fonctionnement du dépérissement, hiérarchisés comme suit : facteurs prédisposants, déclenchants et aggravants.

Les facteurs prédisposant, agissent de façon durable et pérenne sur le peuplement ; les facteurs déclenchant abiotiques ou biotiques, agissent sur une courte durée et les facteurs aggravants, conduisant souvent à une issue fatale (Boutte, 2007)



**Figure 10 :** les facteurs prédisposant, d'initiation et aggravants contribuant à la mort des arbres forestières (Zine El Abidine, 2003).

**3.1- Les facteurs prédisposants :** Les facteurs de prédisposition, ce sont des facteurs statiques agissant à long terme, qui rendre l'arbre sensibles à d'autres facteurs (Roy, 1998), il s'agit des facteurs environnementaux, (climat, sol, cortège floristique).

Ainsi que la faible fertilité des sols ou la qualité du drainage, provoquant des carences en eau pour l'arbre ce qui est due à la fanaison des feuilles, ou des aiguilles, provoquant une difficulté physiologique au niveau de l'arbre, du fait d'effet de la fonction photosynthétique dont dépend le métabolisme (Anonyme, 2008).

Selon Pradal (1979), l'âge avancé des peuplements de cèdre serait un facteur de vulnérabilité, l'hostilité climatique de la région des Aurès constituerait alors un important facteur de stress pour ces derniers dont l'âge moyen de 300 ans.

**3.2- Les facteurs déclenchants :** Ce sont des facteurs qui favorisent l'apparition des symptômes. Ils peuvent être d'origine abiotique (accidents climatiques) ou d'origine biotique (insectes défoliateurs ou agents cryptogamiques primaires) (Merouane, 2006).

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

Les facteurs incitatifs, se caractérisent par la courte durée de son action, contrairement à son effet ou stress qui est de forte intensité, dont leurs interventions sont indépendantes de l'état de santé de l'arbre (Anonyme, 2008).

Donc l'addition de ces facteurs avec les facteurs prédisposant entraînant le déclenchement du dépérissement (Roy, 1998). Il s'agit de facteur abiotique comprenant les facteurs climatiques et leurs effets, les accidents climatiques (sécheresse, gel, pollution), (Muhlemann, 1994). Ils se caractérisent par deux perturbations histologiques, foliaires, et minérales, concernant surtout les éléments K, Ca, Mg et les altérations des cires epicuticulaires. Ceux-ci résultent principalement de l'action de l'ozone et du dépôt acide sur les aiguilles (Adoui, 1991), cette hypothèse qui implique fortement la pollution atmosphérique (Adoui, 1991).

Dans plusieurs régions du monde, le dépérissement des forêts semble étroitement corrélé avec les changements climatiques (Gazol et al., 2017).

Cheddadi (2004) observait déjà au Maroc, que certains peuplements situés en zone bien alimentée en eau présentaient des dégâts plus importants que ceux installés sur sol superficiel. Il convient alors de faire la distinction entre une sécheresse édaphique (liée en général aux propriétés physiques du substrat ; la capacité de rétention en eau en particulier) et une sécheresse climatique (induite par les facteurs climatiques défavorables : augmentation de la température moyenne estimée par les scientifiques du climat research unit d'East Anglia), à un gain d'environ +0,7°C depuis 1830 dans l'hémisphère nord, diminution des précipitations...). Les facteurs biotiques comprenant les ravageurs primaires (insectes défoliateurs, certains scolytes, pucerons, chenilles, etc), et des pathogènes primaires (armillaire, fomes, collybie, ...), agents de maladies foliaires (Roy, 1998).

### **3.3--Les facteurs aggravants :**

(Ou contributeurs) sont des facteurs qui interviennent en phase terminale du déclin ; c'est à dire sur les arbres profondément stressés. Ils accélèrent donc leur dépérissement en entraînant le plus souvent leur mort (Moore, 1999). Ils sont essentiellement d'origine biotique, représentés par les xylophages secondaires et les champignons (Betrouche, 2012).

Ce sont des facteurs qui provoquent des symptômes relativement visibles et identifiables. Ils sont souvent soupçonnés d'être à l'origine du dépérissement alors qu'en réalité ils ne font partie que de la chaîne trophique de décomposition (insectes sous corticaux et champignons). Leur installation ne peut se réaliser que sur des arbres en début de dépérissement (Merouane, 2006).

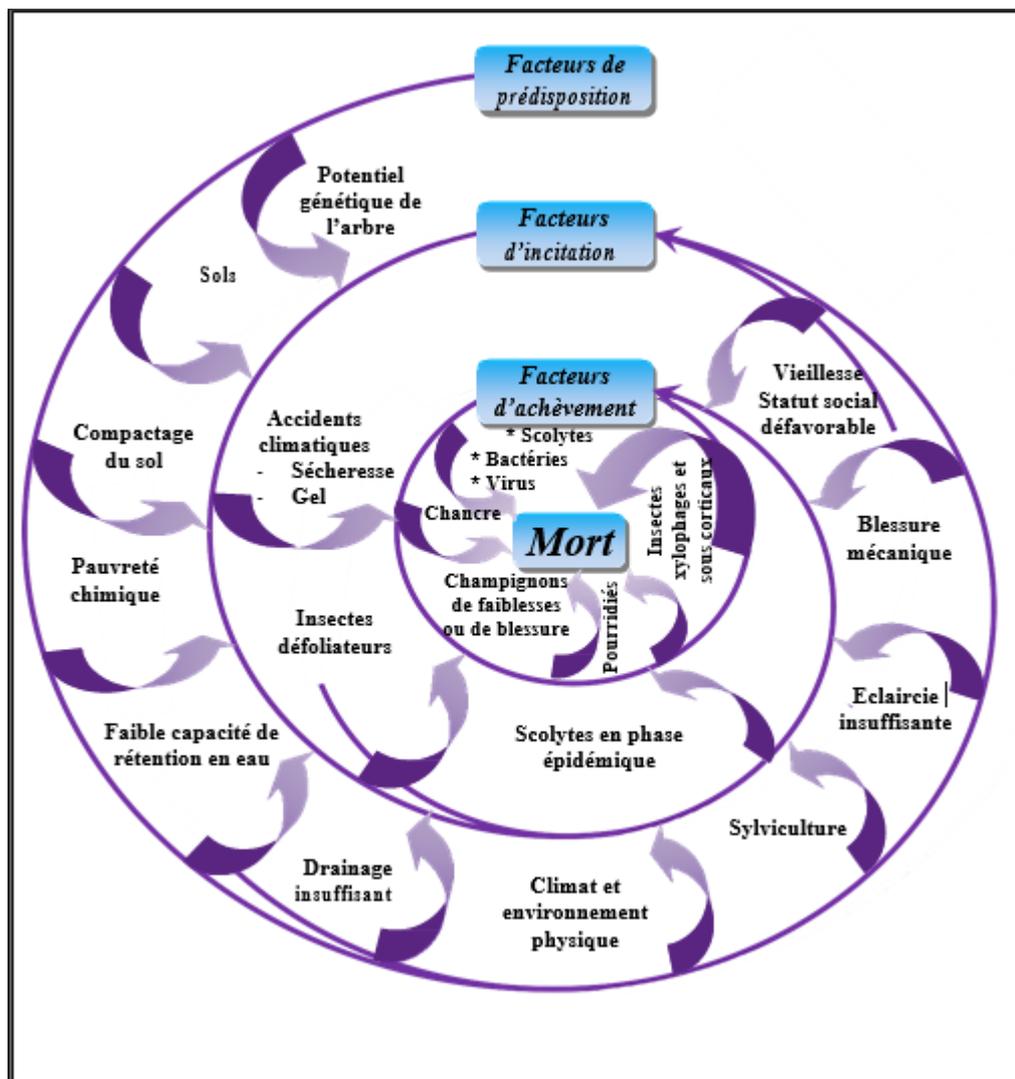


Figure 11 : La spirale du déclin (mécanisme de dépérissement) (M'hirit et Benzyane, 2006).

#### 4- La nature des facteurs de dépérissement :

Il existe plusieurs facteurs de stress, de nature biotique et abiotique agissant de façon indépendante, additive, synergique ou antagoniste.

##### 4.1-Les facteurs abiotiques :

-le stress climatique est le facteur écologique, le plus souvent impliqué à travers le monde dans la déstabilisation des écosystèmes forestiers et le déclenchement des phénomènes de dégradation de leur état sanitaire. Il intervient par la sécheresse qui peut sévir longtemps (Le Meignen et Micas, 2008).

-Le stress chimique se traduit par l'acidification des sols (Caspary, 1991). Le dépôt acide sec et humide, l'ozone et les micropolluants organiques (Walters et Mc Carthy, 1997). C'est d'autant un facteur contribuant à l'affaiblissement des arbres. À ces facteurs s'ajoute, mais rarement, le facteur « altitude » qui semble affecter parfois indirectement le fonctionnement physiologique de l'arbre (Thomas et al., 2002).

D'après Rice et Lewis (1988), les arbres des hautes altitudes (> 550m) sont plus exposés au dépérissement que ceux de basses altitudes (< 500m) généralement.

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

En altitude, les sols sont superficiels et bénéficient de quantités d'eau moins importantes, alors que ceux situés en basses altitudes profitent d'une réserve hydrique très importante (Thomas et al., 2002).

### 4.2-Les facteurs biotiques :

Représentés par les ravageurs aux régimes alimentaires variés, (défoliateurs, xylophages, séminiphages, etc.) et les maladies cryptogamiques (fongiques, bactériennes ou virales) sont parmi les agents qui interviennent dans l'altération physiologique des arbres forestiers (Walters et Mc Carthy, 1997).



Figure 12 : L'attaque de la *Thaumetopae pityocampa* sur un sujet de cèdre.

### 5-Symptômes du dépérissement :

Les symptômes de dépérissement diffèrent d'une essence forestière à une autre. Dans l'ensemble, les principaux symptômes de dépérissement peuvent être comme suit : détérioration de la cime, défoliation, perte d'écorce, perte de branches, perte de vigueur, dessèchement du houppier, jaunissement des feuilles et altération racinaire (Nageleisen et Reuter, 2007).

Selon Adoui (1991), Le dépérissement des peuplements forestiers, peut être connu à travers les symptômes suivant, répartis dans trois groupes de phénomènes. Comme le montre figure (12).

#### 5.1-Les symptômes des feuillages :

On y distingue quatre types :

-Comportement du feuillage : Des abscissions prématurées des feuilles ou des aiguilles. Le plus manifeste est la chute du feuillage qui donne souvent un aspect dégarni avec des touffes de feuilles.

-Rabougrissement : Il correspond à un état de dépérissement (d'étiollement) général et de déclin physique de l'arbre.

-Flétrissement : Perte de fraîcheur ou de vigueur de l'arbre par Effet de dessèchement.

-Changement de couleur du limbe : Généralement est le jaunissement des feuilles ou des aiguilles parfois on peut signaler une coloration rouge foncée ou brune de la couche cambiale des branches.

#### 5.2-Les symptômes des bourgeons, des pousses et des rameaux :

Chute et cassure de pousses, prennent une décoloration jaunâtre, ou un brunissement donnant un aspect de flétrissement, et encore des anomalies de croissance, avec un avortement total des bourgeons Latéraux ; qui laisse les petites branches périphériques dénudées et se portant qu'un bouquet de feuilles

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

aux extrémités chez les feuillus, par contre chez les résineux, l'arbre prend un aspect échevèle, du aux pousses principales qui ne portent que de courte ramification.

### 5.3-Les symptômes des troncs et des branches :

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

### 6-Le Dépérissement forestier en Algérie :

Le dépérissement des forêts s'accélère depuis 5 ans, principalement par accentuation de la sécheresse (Bariteau, 2003).

Selon (Bentouati, 2005 et 2008), ce phénomène massif a été constaté au niveau des Aurès en 1982, suite aux attaques sévères de (*Thaumetopoea bonjeani*) (lépidoptère) et actuellement il touche plus ou moins fortement l'ensemble des cédraies aurassiennes. Dans les Aurès, le cèdre de l'Atlas est sujet à un dépérissement qui s'est aggravé ces dernières années. Ce phénomène concerne l'ensemble des cédraies des Aurès (Beloula, 2010). La cédraie reste soumise à des pressions multiples conduisant à une évolution régressive des écosystèmes (Moussafir, 2007).

L'intensité du dépérissement varie selon la station. Les peuplements les plus touchés sont ceux situés à basse altitude où le cèdre est en mélange avec le chêne vert, il touche non seulement les cèdres âgés, mais aussi les jeunes bouquets d'arbres (Bentouati, 2007). Situés dans des conditions de mauvaise alimentation en eau comme les pentes abruptes, les sols superficiels, arbres déchaussés (Beloula, 2010).

Les cédraies les plus endommagées sont celles du Belezma en association avec le chêne vert, sur marne fortement accidentée et soumises aux influences sahariennes (Djebel Boumerzoug et Tuggurt en particulier) et celles plus méridionales situées à la limite sud des Aurès, comme la région de Taghda et Djebel Lazreg. Dans ce massif plus de 1/3 de la surface est touché (Bentouati, 2008).

Non seulement que Benssaci (2006), a constaté que la station de Boumerzoug est dans un état de dépérissement avancé, avec un dessèchement du peuplement estimé à plus de 95 % et que seuls quelques sujets éparpillés et localisés en basse altitude du versant Nord du djebel Boumerzoug sont encore à l'état physiologique normal.

Selon Sarmoum (2019), les résultats montrent que le phénomène de dépérissement du cèdre de l'Atlas a davantage marqué la cédraie de Theniet El Had vers sa limite inférieure, dans des stations situées à basse altitude, sur des terrains à forte pente et aux expositions ensoleillées et chaudes.

Au niveau de la cédraie du Chélia, Halitim (2006) évoque également un dessèchement massif des peuplements sur des dizaines, voire des centaines d'ha. Le phénomène est plus prononcé au niveau des crêtés et concerne en particulier les versants sud (Bentouati, 2005). Il est diffus et touche davantage pour le moment les sujets isolés et ceux âgés (Bentouati, 2008).

L'évolution du dessèchement et de quelques symptômes visibles du dépérissement au niveau de l'arbre sont confirmées par Bentouati (2005 et 2008), qui constatent que très souvent, ce phénomène commence par la cime de l'arbre directement exposé aux radiations solaires et s'étend progressivement vers l'has.

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.

---

En plus de ces symptômes Moukouri Djoumba (2007), note un écoulement abondant de résine chez les sujets affaiblis. Les arbres âgés et moins vigoureux en situation d'alimentation hydrique limitée sont en particulier plus vulnérables (Bentouati, 2005 et 2008). Cette situation pourrait être expliquée par le fait que, plus les arbres grandissent plus leurs besoins en eau augmentent et leur rivalité pour l'humidité s'intensifie.

Par conséquent, plus les arbres vieillissent et plus ils s'étendent et alors leur rivalité pour capter l'eau s'intensifie, ce qui expose les arbres à un plus fort stress (Ciesla, 1993).

La Cédraie algérienne, notamment celle des Aurès, a un avenir plus qu'incertain en raison des dépérissements observés (Bentouati et Michel Bariteau, 2006).



**Figure 13 :** Dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le Parc national de Theniet El Had (Algérie) (Sarmoum, 2019).

## **Chapitre 2 : Matériel et méthodes.**

**Chapitre 02 : Matériel et méthodes.**

**Tableau 3 : Récapitulatif de l'étude.**

	Article 1	Article 2	Article 3
<b>Titre d'article</b>	Bilan actuel et rétrospectif du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans le Parc national de Theniet El Had (Algérie).	Étude Eco-Dendrométrie Du Dépérissement Du Cèdre De l'Atlas Dans Le Parc National De Theniet El Had "Algérie"	La sécheresse et le dépérissement du cèdre de l'Atlas ( <i>Cedrus atlantica</i> Manetti) dans le massif du Belezma (Algérie)
<b>Auteur</b>	Mohamed Sarmoum.	Lamine, T. M., M'hamed, M., Blel, A., Mohamed, Z., & Benchabane, H.	Dalila Kherchouche, Mahdi Kalla, Emilia Gutierrez, Athmane Briki, Abdelhafid Hamchi
<b>Année</b>	15 Octobre 2019	31 October 2016	2013
<b>Zone d'étude</b>	-la cédraie de Theniet El Had (35°47'N et 35°54'N, 01°54'E et 02°02'E) rattachée au Djebel El Meddad et située dans le prolongement Est du massif de l'Ouarsenis (Sari, 1977).	-versant nord du parc national de Theniet El Had relevant de la wilaya de Tissemsilt.	Le Mont de Touggour (Parc national du Belezma), à une altitude de 1430 m, à 358 de latitude Nord et 68 de longitude Est.
<b>Climat de zone d'étude</b>	Varie selon l'altitude ; il est de type méditerranéen subhumide à hiver frais (< 1 500 m) et humide à hiver froid (> 1 500 m).	-soumis à l'étage bioclimatique Subhumide à hiver froid avec une période sèche de quatre mois du début juin jusqu'à la mi-octobre.	-est de type méditerranéen semi-aride avec une précipitation annuelle moyenne de 362 mm. La température moyenne annuelle est de 14,7 °C. Janvier est le mois le plus froid avec une moyenne des minima de 0,1 °C, juillet est le mois le plus chaud avec une moyenne des maxima de 35,8 °C. Les maxima de température peuvent atteindre 44 °C tandis que les minima peuvent aller jusqu'à - 9 °C.
<b>Matériel</b>	Le cèdre de l'Atlas	Le cèdre de l'Atlas	Le cèdre de l'Atlas
<b>Facteur de dépérissement</b>	-L'altitude. -L'exposition. -La pente. -Le déficit hydrique. -les agents pathogènes.	-l'altitudinal. -exposition. -la pente. -Le microrelief. -les propriétés physico-chimiques du sol.	-La sécheresse. -Facteur biotique (insecte défoliateur). -Facteur abiotique (climat).

## Chapitre 2 : Matériel et méthodes.

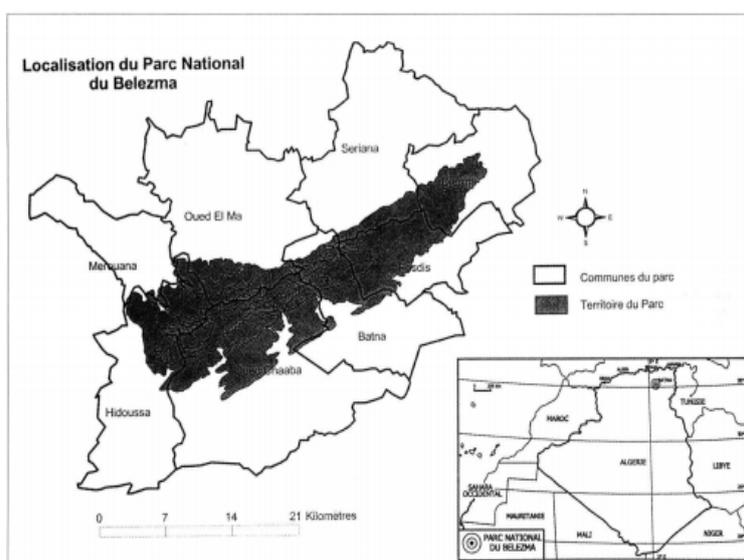
### 1-Présentation de la zone d'étude :

L'étude est basée sur une synthèse de 03 études de recherche dont les stations choisies des articles se situent : mont de Touggour (Parc national du Belezma), et Theniet El Had (dans la wilaya de Tissemsilt), ont pour trait commun la présence de Cèdre d'atlas.

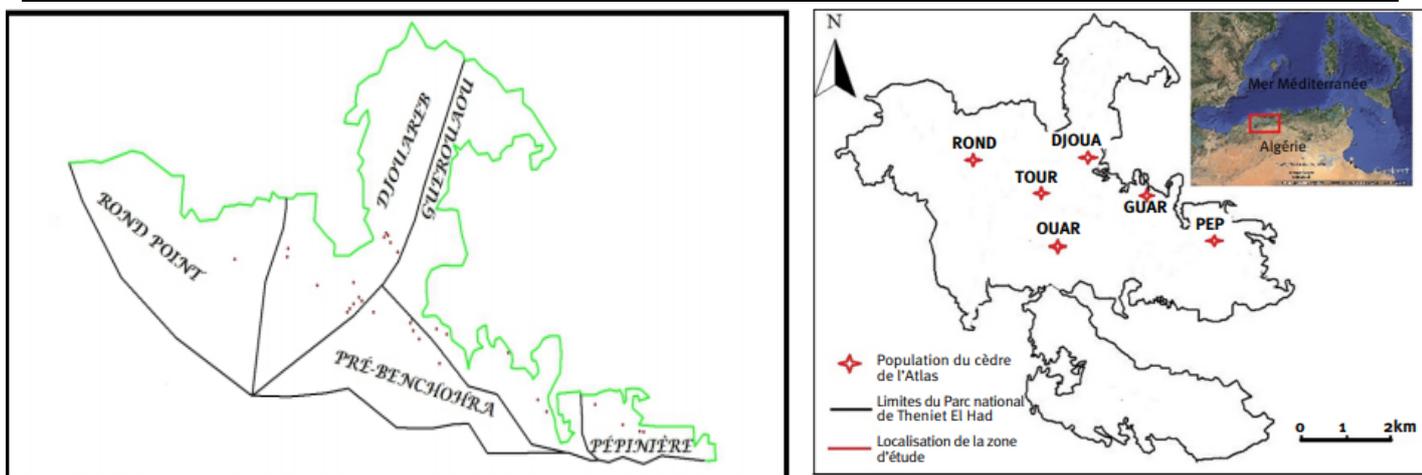
L'étude a été menée dans la cédraie de Theniet El Had rattachée au Djebel El Meddad et située dans le prolongement Est du massif de l'Ouarsenis. Sur le plan forestier, la cédraie est rattachée depuis 1983 au Parc national de Theniet El Had, d'une superficie totale de 3 460 ha. Le cèdre de l'Atlas se développe surtout sur le versant nord à des altitudes allant de 1 300 m à 1 700 m ; sur le versant sud, l'altitude des cédraies varie de 1 500 à 1 786 m (Sarmoum et al., 2018). La cédraie repose sur un substrat gréseux et marneux (Mattaer, 1958). Le climat de la zone d'étude varie selon l'altitude ; il est de type méditerranéen subhumide à hiver frais (< 1 500 m) et humide à hiver froid (> 1 500 m).

La zone d'étude correspond au Mont de Touggour (Parc national du Belezma) à une altitude de 1 430 m, à 35 ° de latitude Nord et 68 de longitude Est, dont un peuplement de *Cedrus atlantica* est touché par le phénomène de dépressement, avec un taux de 90%. Il se développe sur un substrat calcaire avec une pente > 25%, se prolonge sur une tranche altitudinale de 1300 m à 2100 m.

La cédraie du Bélézma est considérée parmi les plus sèches du bassin méditerranéen. Elle se trouve dans l'étage bioclimatique subhumide, voire même semi-aride. Elle est soumise à des conditions climatiques très sévères et est exposée aux influences du désert (Chennaf, 2009). Avec une précipitation annuelle moyenne de 362 mm.



**Figure14** : Localisation du Parc National du Belezma.



**Figure 15 :** Localisation géographique de la zone d'étude : Parc national de Theniet El Had et sites échantillonnés.

### 2-Méthode d'inventaire :

Pour la détermination de la valeur d'une forêt, l'estimation du volume sur pied par essence et catégorie est primordiale. Dans certains cas, l'inventaire s'impose pour une meilleure précision. Sur nos devis, nous indiquons « si nécessaire et possible », en expliquant que la « nécessité » de l'inventaire est liée à une bonne estimation du volume, surtout pour des forêts où la valeur par hectare risque d'être élevée, et que la « possibilité » est liée à la bonne connaissance des limites.

Le premier travail a procédé à la méthode d'inventaire d'arbres dépéris pied par pied dans toute la cédraie touchée. Pour ce faire, le découpage en cantons établi par le service forestier a été suivi, chaque canton étant subdivisé en parcelles et sous-parcelles de superficie souvent inégale. L'inventaire a été réalisé sur toutes les sous-parcelles qui présentent des arbres dépéris.

On progresse en ligne dans la parcelle, généralement en suivant une ligne de niveau, en marquant d'un point de peinture tous les arbres mesurés et enregistrés. De manière traditionnelle, les équipes d'inventaire sont constituées de plusieurs « compteurs », chacun armé d'un pied à coulisse, et d'un « pointeur » ; les compteurs mesurent les arbres et les marquent à la peinture, et appelle l'essence, la catégorie et le diamètre et éventuellement la hauteur. Le pointeur consigne l'appel sur une fiche de pointage et répète l'appel pour que le compteur soit sûr que son appel est bien enregistré.

Le calcul de volume est estimé à l'aide d'un barème que l'on détermine pour chaque parcelle, soit un barème dit « à une entrée », où le volume est donné uniquement en fonction du diamètre (c'est le cas des barèmes Algan), soit un barème dit « à deux entrées », où le cubage est déterminé en fonction du diamètre mesuré et de la hauteur estimée (cas des barèmes Chaudé).

Mais nous disposons maintenant de pieds à coulisse électroniques, qui sont munis d'un enregistreur automatique, le compteur déterminant alors au moment de chaque enregistrement l'essence et la catégorie en fonction de ce qui est prédéfini. Le cas échéant, il peut aussi entrer une hauteur, pour les inventaires où l'on utilise un barème à deux entrées.

L'inventaire en plein donne le nombre de pieds mesurés par catégorie de diamètre, et, en fonction du barème choisi, une estimation du volume sur pied dans sa globalité.

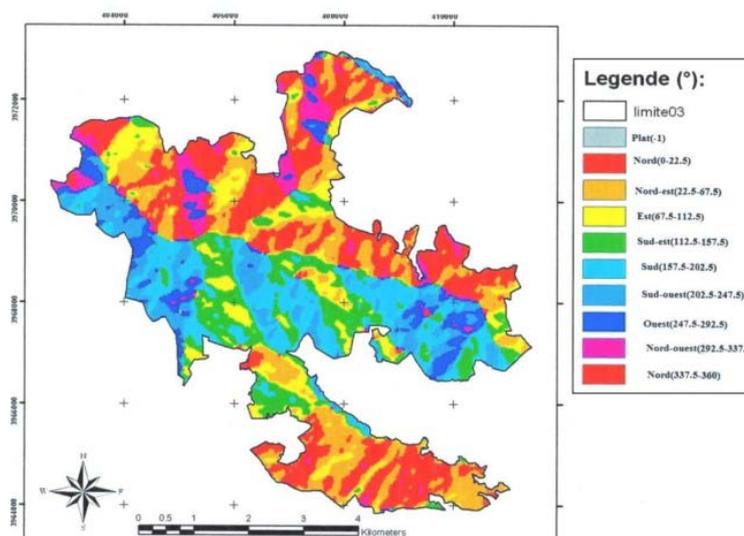


**Figure 16 :** Pour chaque arbre dépéri, les coordonnées géographiques, l'altitude, l'exposition, la pente et son taux de défoliation ont été relevés.

### 3-les études de caractères mésologiques :

#### 3.1-Expositions :

La zone englobe trois ramifications principales (Nord, Sud et Ouest). Selon (Dip et Zaiz ,2011),64,68% de la surface totale du PNTH possède des expositions Nord et Nord-est (Figure 17).



**Figure 17 :** Carte des expositions du Parc National de Theniet El Had (Zaiz et Dib, 2011)

#### 3.2- Pentes :

Suivant les deux versants du parc, les fortes pentes sont du côté nord, estimées en moyenne à 40° (83.9 %) d'inclinaison, à l'exception du canton pépinière où la pente ne dépasse guère 15° (26.7%) d'inclinaison (Figure 06). Le versant sud par contre présente des pentes plus ou moins fortes (25° d'inclinaison au maximum) (Figure 18).

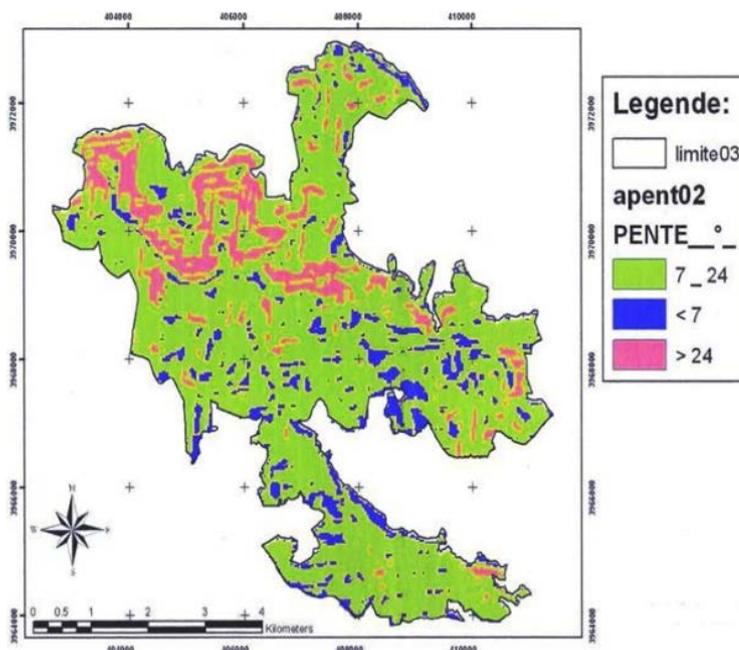


Figure 18 : Carte des pentes du Parc National de Theniet El Had (Zaiz et Dib, 2011)

**3.3- Altitudes :**

Le parc s’insère entre 858 et 1787 m d’altitude. Le point le plus haut dit « Ras El Braret » se localisant dans le conton Rond-Point à une altitude de 1787m. Le point le plus bas se trouve au versant nord à 858 m au canton Djouareb, l’altitude moyenne est de 1320 (PNTN,2006) (Figure 19).

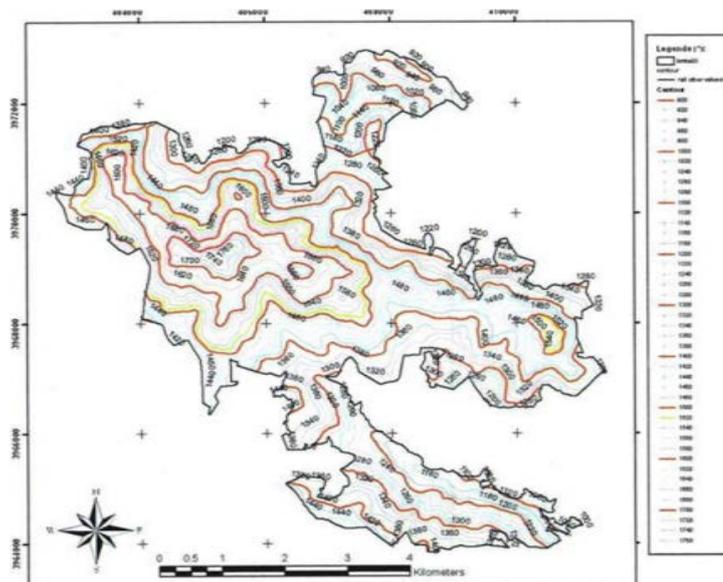


Figure 19 : Carte des altitudes du Parc National de Theniet El Had (Zaiz et Dib, 2011)

**3.4-Le taux de défoliation :**

Le taux de défoliation est décrit par le taux de perte de feuillage au niveau du houppier. Ce critère est souvent utilisé pour établir le bilan de santé des peuplements forestiers, appelé aussi indice de transparence du houppier (Thomas et al., 2002). Il est basé sur une observation visuelle après avoir divisé le houppier en quatre parties, de la partie supérieure « cime » jusqu’à la base du houppier vivant (D’Eon

## Chapitre 2 : Matériel et méthodes.

---

et al., 1995). La partie dépérie correspond à la partie transparente qui a perdu son feuillage. En se basant sur ce critère, cinq classes de défoliation sont définies : 0, arbre sain ; I, défoliation < 25 % ; II, 25 < défoliation < 50 % ; III, 50 < défoliation < 75 % ; IV, défoliation > 75 % ; V, arbre mort sur pied.

### **4-Concernant l'étude dendrochronologique et pour les critères d'échantillonnage :**

Le plan d'échantillonnage est élaboré en fonction des objectifs poursuivis. Classiquement, les dendroécologues cherchent toujours des sites marginaux et stressés avec des sujets relativement âgés. Cette stratégie d'échantillonnage est motivée par la qualité du signal climatique et la longueur des séries chronologiques (Ripert et Boisseau, 1994). Dans une étude dendroécologique, le plan d'échantillonnage se focalise sur les variations interannuelles de la croissance et donc, se base sur le choix d'individus pour lesquels le ratio signal climatique / bruit est supposé maximal. En conséquence, on ne retient que les sites les plus sensibles tout en privilégiant le choix des arbres se trouvant dans des situations où les conditions hydriques et / ou thermiques peuvent limiter le processus de croissance.

L'approche utilisée dans notre travail, suit les étapes définies par Strokes et Smiley (1968) dans le cadre de la dendrochronologie et Messaoudene (1989) dans le cadre de la dendroécologie.

### **5-Choix des stations :**

Cette méthode est adoptée dans les 3 régions spécifiquement deux au theniet el had et une à Belzma.

-Dans la première région de Thenieth el had qui correspond à la première étude : L'inventaire de dépérissement a permis de localiser six stations écologiques d'une surface de 0,3 ha (60 m x 50 m) (tableau I). Le choix des stations est dicté par la présence d'arbres dépéris (> 10 arbres) et de toutes les classes de défoliation. Le nom de la station porte les premières lettres du canton où elle se situe (tableau I). Pour chaque station, les mesures dendrométriques ont été prises pour l'ensemble des arbres, dépéris et sains, de la station :

- le diamètre, mesuré à l'aide d'un compas forestier à une hauteur de tronc de 1,30 m (Ron-deux, 1999)
- la hauteur totale de chaque arbre, mesurée à l'aide du dendromètre Blume-Leiss (Rondeux, 1999)

-Dans chaque station, une population de treize arbres a été choisie, dont dix arbres dépéris, répartis sur les différentes classes du dépérissement, et trois arbres sains, choisis parmi les arbres dominants et codominants et qui ne présentent aucune anomalie (Lanier et al., 1994).

Le deuxième article ou étude qui correspond à la deuxième région de theniet el had : Au total, trente placettes circulaires d'une superficie de 10 ares y sont installées au sein des taches du dépérissement à travers le versant nord du parc, particulièrement, dans les cantons de Guerouaou, Djouareb, Rond-point, Pré-Benchohra et Pépinière. Chaque placette a fait l'objet de mesures dendrométriques et la récolte des données stationnelles à savoir :

- Données dendrométriques : Circonférence à 1,30 m, hauteur totale, pour toutes les espèces, en plus, hauteur du houppier, hauteur jusqu'à la base du houppier, hauteur de la cime morte pour les arbres de cèdre.

- Données stationnelles : altitude, exposition, pente, microrelief et propriétés physico-chimiques du sol :

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

## Chapitre 2 : Matériel et méthodes.

Celles-ci étant déterminées sur la base de prélèvement d'échantillons par le biais de la tarière pédologique.

La 3ème région de Belzma du 3ème article ou étude le travail a été fait sur 14 arbres, dont 7 vivants et 7 morts.

### 6-Techniques de prélèvement :

#### 6.1-Prélèvement de carottes :

- Éviter les individus situés sur des situations micro stationnelles : Ravins, bas de pente, dépressions, à la lisière des cours d'eau et des routes afin d'obtenir uniquement les individus-échantillons les mieux sensibles du site.
- Le carottage a été fait de sorte à atteindre la moelle (Cœur) de l'arbre, et ce pour avoir l'âge absolu et obtenir des séries de cernes complètes.
- L'introduction de la tarière se fait perpendiculairement à l'axe de l'arbre.
- Une fois, la tarière introduite et à fond, une fine gouttière (tige-canal) est y glissée à l'intérieur pour extraire la carotte (Figure 20). Aussitôt prélevée, la carotte est fixée avec soins sur une réglette de bois rainurée.



**Figure 20** : Carottage d'un cèdre à la tarière de Pressler

Alors, au niveau de la 1ère région, trièses (13) arbres ont été carottés à raison de deux (02) carottes par arbre. Au niveau de la 3ème région, 27 carottes ont été récoltées sur 14 arbres dont 7 vivants et 7 morts. Le carottage a été fait à l'aide d'une tarière de Pressler de 5 mm de diamètre et 40 cm de longueur et de manière perpendiculaire à l'axe du tronc. Une hauteur préférentielle de 1.30 m est choisie pour le prélèvement. Toutefois, cette hauteur varie selon les contraintes dues à la physiologie du tronc (Branches, nœuds, blessures) (Peticola, 1998) et les contraintes de l'empatement à la base (Eglantine, 2007).

La collecte de plusieurs (02) carotte sur un même arbre permet de faire une interdatation facile avec repérage de cernes éventuellement absents sur une direction donnée.

Après chaque carottage, les trous ont été rebouchés hermétiquement avec des bouts de bois vivant pour éviter des infections parasitaires. Sur le terrain, les carottes ont été déposées et scotchées sur des rainures de bois (réglette rainurée) sur lesquelles, ont été portés le nom de la station, le numéro de l'arbre et la direction de prélèvement. Elles étaient collées de telle sorte que les trachéides soient perpendiculaires à la surface de la réglette afin d'obtenir une coupe transversale lors du ponçage.

## Chapitre 2 : Matériel et méthodes.

### 6.2-Préparation des échantillons :

Une fois prélevées, les carottes ont été mises à sécher sur un bois rainuré à l'air libre, évitant ainsi qu'elles se tordent. Après quelques temps de séchage, les carottes ont été soigneusement ponçées avec du papier abrasif de dimension de plus en plus petite, tout en prenant soin de ne pas les casser. Le ponçage est une opération indispensable pour faire apparaître les cernes de croissance sur le plan de la section transversale et obtenir une lecture parfaite de la structure anatomique des cernes (Eglantine, 2007).

### 6.3-Interdatation (Crossdating) :

Elle consiste en l'attribution d'une date à chaque cerne, en tenant compte des erreurs éventuelles de lecture et des malformations des cernes. Douglass (1946), propose d'utiliser des « Cernes caractéristiques » ou « années caractéristiques » auxquelles correspondent des conditions de croissance remarquables (Lebourgeois, 2002). Ainsi, pour des arbres soumis à un même environnement, les fluctuations climatiques interannuelles vont entraîner des variations synchrones de la croissance des cernes.

A la région du Belezma L'interdatation est réalisée en comparant les séquences de cernes des deux carottes d'un même arbre puis celles d'arbres différents. En plus de l'interdatation visuelle, les épaisseurs de cernes ont été traitées à l'aide du programme COFECHA.

### 6.4-Lecture des cernes :

La lecture des cernes consiste en l'identification de leurs largeurs qui sont perpendiculaires à leurs limites. Elle s'effectue sur une plate-forme de mesure (combinant à la fois un banc manuel (LINTAB5) et un microscope stéréoscopique (RINNTEK) à grossissement (x 50) et d'une précision de 0.01 mm, relié à un ordinateur équipé d'un logiciel d'enregistrement qui est le TSAPWIN (Time Series Analyses and Presentation windows). Ce logiciel est largement utilisé dans les études dendrochronologiques. On dépose ainsi la carotte sur le banc manuel et l'on visualise les cernes au travers du stéréo microscope (Figure 21).

Dans le cadre de l'interdatation, la lecture s'effectue de l'écorce vers le cœur ou la moelle, et ce pour identifier le dernier cerne formé sous l'écorce. Mais quand il s'agit de relever les largeurs des cernes, la lecture se fait dans le sens inverse, c'est-à-dire, de la moelle vers l'écorce pour mieux suivre le profil de croissance de l'arbre au fil des ans.

L'identification et la lecture se font en déplaçant le banc manuel à l'aide d'une mollette de droite à gauche. À chaque fois que l'on vise avec le repère de la loupe la fin du cerne, on presse un bouton presseur sur la table LINTAB pour que la valeur de l'épaisseur du cerne soit numérisée sur le microordinateur par le logiciel TSAPWIN.



**Figure 21** : Table de lecture LINTAB Et microscope RINNTEK

## Chapitre 2 : Matériel et méthodes.

---

### 6.5-Mensuration des largeurs des cernes :

Pour la mesure des largeurs de cernes, les échantillons sont dûment orientés sur un banc qui défile sous la loupe binoculaire. La mesure se fait de la moelle vers l'écorce en déplaçant ce chariot mobile qui est relié à un ordinateur.

### 6.6-Établissement des séries chronologiques :

Les séries chronologiques de mesures d'épaisseurs de cernes obtenues par échantillon, ont été représentées sous forme de courbes dendrochronologiques élémentaires où figurent les années successives et en ordonnée, l'épaisseur des cernes correspondants exprimée suivant une échelle logarithmique.

### 7-Traitement et analyse des données de la station de Theniet El Had (article 01) :

Les données dendrométriques et mésologiques récoltées ont été représentées graphiquement sous forme d'histogrammes pour mieux apprécier la distribution des arbres dépéris dans les différentes classes (altitude, pente, exposition, taux de défoliation, diamètre, hauteur).

#### 7.1-Calcul des paramètres statistiques dendrochronologiques :

Pour comparer les rythmes de la croissance radiale des arbres dépéris et sains de la première région de Theniet El Had (article 01), les séries maîtresses de chaque station ont été reportées sur le même graphique dont les années figurent en abscisses et l'épaisseur des cernes en ordonnées. Une analyse en composantes principales (ACP). En outre, les paramètres statistiques suivants ont été calculés :

#### 7.2-L'épaisseur moyenne des cernes (EMC) et son écart type :

l'EMC étant la somme de toutes les épaisseurs des cernes d'une chronologie divisée par le nombre de cernes :  $EMC = \sum C_i / N$  avec  $C_i$ , épaisseur de cerne de l'année  $n$  ;  $N$ , nombre total de cernes ; l'écart-type mesure la dispersion des valeurs de l'EMC autour de la moyenne.

Selon Le bourgeois (2002), sur chaque carotte et pour chaque année disponible, on calcule par la formule suivante :  $ERC_n = 100 * (L_n - L_{n-1}) / (L_n - 1)$  : L'évolution du rapport (ERC<sub>n</sub>) entre :

- La largeur du cerne de l'année  $n$  ( $L_n$ ).
- La largeur du cerne de l'année  $n-1$  ( $L_{n-1}$ )

#### 7.3-La sensibilité moyenne (SM) :

moyenne du rapport de la différence des épaisseurs de deux cernes successifs à leur moyenne, et calculée par la formule (Fritts, 1976) :

$SM = 1 / (N - 1) \sum 2 * (X_i - X_{i-1}) / (X_i + X_{i-1})$  avec :  $N$ , nombre de cernes ;  $X_i$ , épaisseur du cerne de l'année  $n$  ;  $X_{i-1}$ , épaisseur du cerne de l'année  $n - 1$ . Elle est utilisée pour caractériser la variation interannuelle des séries chronologiques de cernes.

#### 7.4-Le coefficient de corrélation (R) :

permet de mesurer le de ressemblance entre deux séries chronologiques (arbres sains et dépéris) ; un coefficient de corrélation élevé et significatif indique un bon synchronisme dans les variations des épaisseurs des cernes des deux séries et, par conséquent, des facteurs communs qui agissent sur la croissance des arbres (Fritts, 1976).

## Chapitre 2 : Matériel et méthodes.

---

- L'étude au niveau de la station de Tougourt a adaptée la procédure suivante :

### 7.5-Standardisation :

Cette procédure consiste à transformer chaque valeur brute de paramètre cerne en indice de croissance qui correspond au rapport de la valeur observée à la valeur théorique (courbe d'ajustement). L'indice de croissance  $I_c$ , exprimé en %, est calculé comme suit :

$$I_c = (\text{valeur observée} / \text{valeur théorique}) * 100$$

La série ainsi obtenue par le passage de l'épaisseur du cerne (mm) à l'indice de croissance (sans unité) est appelée chronologie standard

### 7.6-Coefficient d'autocorrélation et persistance :

Pour diminuer la persistance des effets non liés aux variations climatiques, les séries d'indices de croissance sont soumises à un traitement qui élimine les autocorrélations, c'est-à-dire l'effet des années antérieures sur la croissance de l'année en cours.

L'épaisseur du cerne correspondant à chaque année  $n$  peut être corrélée à l'épaisseur du cerne correspondant à l'année  $n-k$ . Il peut être calculé pour une série chronologique mais avec un décalage temporaire.  $K$ , étant ce décalage et le coefficient se calcule comme suit :

$$(R_s) = 1 - \frac{(x_t - m_x)(y_{t-k} - m_y)}{S^2} \times (n-k-1)$$

Cette opération est appelée chronologie résiduelle, Ainsi trois chronologies résiduelles ont été retenues pour cette étude : une chronologie pour les arbres morts, une chronologie pour les arbres vivants, et une chronologie pour l'ensemble.

### 7.7-Données climatiques :

Les données des précipitations retenues pour cette étude sont celles enregistrées à la station de Batna localisée à 1 050 m d'altitude pour une période de 80 ans (1930-2009).

## 8-Reconstitution du climat :

### 8.1-Fonctions de réponse :

Selon Fritts (1971), « La fonction de réponse est définie comme l'équation de calibration statistique exprimant les effets relatifs séparés de plusieurs facteurs climatiques sur l'épaisseur des cernes ». Le 1er objectif d'une fonction de réponse en dendroclimatologie est d'estimer l'influence moyenne du climat sur la croissance annuelle des arbres. Et plus exactement, de déterminer dans quelle mesure les paramètres climatiques peuvent influencer la croissance de l'arbre (Guiot et Nicault, 2010).

### 8.2-Fonction de transfert :

C'est une régression linéaire établie entre l'indice de croissance comme variable indépendante et les données climatiques saisonnières identifiées par la fonction de réponse comme variable dépendante. Avant d'élaborer le modèle de transfert final pour toute la période (1931-2009), il faut vérifier la stabilité du modèle en divisant cette période en deux : 1931-1970 et 1971-2009. Chaque période est utilisée pour la calibration (étalonnage) et pour la vérification, c'est-à-dire le modèle établi (calibre) pour une période doit être appliqué (vérifié) pour la seconde période en comparant les valeurs estimées et les valeurs observées.

## Chapitre 2 : Matériel et méthodes.

---

Cette technique est largement employée dans la reconstitution du climat (Meko et Graybill, 1995 ; Touchan et al., 2003, 2005, 2008a, 2008b). La validité du modèle est testée par le critère de précision usuel de régression ; coefficient de détermination ( $R^2$ ) et le critère de stabilité du modèle ; réduction d'erreur (RE) ; une RE positive indique un modèle stable. En plus de ces critères, la procédure de PRESS (somme des carrés de prédiction) est utilisée pour tester la validité du modèle de transfert final (Touchan et Hughes, 1999 ; Touchan et al., 1999, 2003, 2005). Cette technique repose sur la prédiction des observations non incluses dans la construction du modèle. Elle consiste à éliminer systématiquement chaque observation de l'échantillon, calculer la régression pour le reste des observations, puis appliquer cette régression pour prédire l'observation éliminée. La somme des carrés des écarts entre les valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle constitue un très bon critère à partir duquel on peut estimer le coefficient de détermination de prédiction, critère de validité.

### **9-Identification des années de sécheresses :**

Les années de sécheresses sont définies sur la base des précipitations estimées inférieures à un seuil de sécheresse fixe arbitrairement. Ce seuil de sécheresse doit être suffisamment sévère pour représenter une distinction significative des conditions moyennes. Les seuils de sécheresse arbitraires généralement utilisés varient entre 80 % (Touchan et Hughes, 1999 ; Touchan et al., 1999, 2003) et 90 % (Touchan et al., 2005 ; Hirche et al., 2007) de la moyenne des précipitations observées. Nous avons adopté le seuil de 80 % qui est généralement le plus utilisé.

## **Chapitre 3 : Résultats et discussion.**

### 1- Analyse et discussion des caractéristiques stationnelles et taux de défoliation :

#### 1.1-Pour la relation de dépérissement et pour les variables météorologiques :

L'inventaire de l'état actuel du dépérissement du cèdre de l'Atlas dans la cédraie de Theniet El Had montre que ce phénomène a davantage affecté la cédraie aux altitudes basses, sur les terrains à forte pente et aux expositions chaudes et ensoleillées (NNE, NE et SE), selon le diagramme à bandes qui étudie la répartition des arbres dépéris selon les conditions météorologiques qui sont l'altitudes, expositions et la pente par le taux de dépérissement. Il trouve que le taux de dépérissement augmente dans l'altitude 1400-1400%, dans l'exposition Nord-Nord-Est et Nord-Est et dans la pente 41-80%.

Selon le tableau qui met en évidence du dépérissement ( $F$  observé et  $F$  théorique) à travers les caractéristiques topographiques qui sont le microrelief, étage, pente du terrain et exposition le résultat de l'analyse de la variance émet une différence non significative ce qui signifie que la causalité du dépérissement ne réfère pas aux caractéristiques topographiques. En effet cette situation est dégagée du fait que la zone d'étude se localise en totalité dans le versant connu par une pluviométrie et une humidité importante à celle du versant sud.

L'étude des variations interannuelles des précipitations montre une tendance climatique actuelle dans la zone d'étude et cela affiche un synchronisme entre les variabilités des valeurs de précipitations (mm) enregistrées annuellement par station et une tendance à la sécheresse durant les dernières décennies (1980-2010) avec une baisse des précipitations de l'ordre de 25 % par rapport à la période 1913-1938 selon les variations des précipitations annuelles ( $P$ ) sur la période 1966-2010 avec la moyenne des précipitations. Cette baisse a marqué davantage la saison pluvieuse qui s'étend de l'hiver au printemps selon les variations de cumul des précipitations saisonnières (mm) sur les périodes 1913-1938 et 1966-2010. Elle a entraîné un allongement de la période sèche et cela s'explique par le diagramme ombrothermique de Bagnols et Gaussen sur les périodes 1913-1938 et 1980-2010 illustrant l'augmentation de la période sèche dans la zone d'étude.

- En effet, à basse altitude, elle reçoit des précipitations moins importantes qu'à des altitudes élevées, et elle est soumise à de fortes températures, notamment en exposition ensoleillée.

#### 1.2-Pour la relation dépérissement-caractéristiques édaphiques :

L'objet d'analyse physico-chimiques des échantillons prélevés du sol donne par l'étude de tableau qui met en évidence du dépérissement à travers les caractéristiques édaphiques qui sont le taux de calcaire, texture du sol, taux de la matière organique et PH du sol par rapport  $F$  observé et  $F$  théorique ou la  $F$  observé moins que  $F$  théorique.

Suite au résultat précédentes ; la faible variabilité de taux de calcaire inférieure de 2.09% déduit que le taux de dépérissement ne présente aucune différence significative. Les valeurs de pH de sol révèlent une homogénéité de valeurs variant entre 6.4 et 7, dont les échantillons de sols présentent une variabilité de matière organique variant entre 1% et 4,5%. Pour cela nous constatons que le dépérissement n'est significativement corrélé avec aucune de ces variables.

## Chapitre 3 : Résultats et discussion.

---

### 2-Concernant l'état sanitaire et taux de défoliation des peuplements de cèdre de Theniet El Had :

#### 2.1-L'état sanitaire :

L'état actuel du dépérissement dans la zone d'étude indique des situations variées, quant aux variations spatiales, le dépérissement se manifeste souvent par des arbres isolés ou des taches isolées et très rarement en dépérissement massif.

La vigueur des arbres est régie par la vitalité de leur feuillage (abondance et couleur). Afin de décrire le peuplement inventorié, sur la base des situations sanitaires des aiguilles, quatre critères qualitatifs sont mis en évidence : feuillage sain, chute des aiguilles, dommage physique et dépérissement des feuillages par un schéma qui étudie la distribution en fréquences relatives de l'état de santé du feuillage de peuplements de cèdre recensés. Et pour cela montre que 66% du feuillage présente un bon état sanitaire. La strate relative aux dommages des aiguilles est évaluée à 34% de l'ensemble des tiges inventoriées (27% chute des aiguilles, 3% dommage physique et 4% dépérissement des feuilles). Cette situation ne peut que signifier un souci de dégradation d'une ampleur.

L'état sanitaire du houppier d'un arbre est fortement corrélé avec sa croissance. Un houppier endommagé n'est autre qu'un indicateur de souffrance d'un arbre.

#### 2.2-Pour le Taux de défoliation :

L'appréciation du déficit foliaire s'est effectuée par l'évaluation de la fréquence de dégradation du houppier tel qu'il Ya 5 classe de notion des dégâts des huppier qui sont (O.N.F, 2010):

Nulle à très faible (0 à 5%), faible (6 à 25%), modérée (26 à 50%), importante (51 à 75%), très importante (76 à 95%) et totale (96 à 100%).

La distribution des arbres dépéris en fréquence relative (%) dans les différentes classes de défoliation : I : défoliation < 25 % ; II : 25 % < défoliation < 50 % ; III : 50 % < défoliation < 75 % ; IV : défoliation > 75 % ; V : arbre mort sur pied, montre une dominance de la classe V avec un taux de 49 %. La classe IV, représentant les sujets dépéris à 75 %, est située en deuxième position avec un taux de 28 %. Les autres classes (défoliation inférieure à 75 %) ne représentent que 23 % du total.

Après le schéma de distribution en fréquence relative des classes des dégâts du houppier des peuplements de cèdre recensés révèle que plus de 30% du peuplement recensé présente des dommages sur les huppier. Indication fort compromettante de sa croissance.

- Donc l'état sanitaire du houppier d'un arbre est fortement corrélé avec sa croissance. Un houppier endommagé n'est autre qu'un indicateur de souffrance d'un arbre.

### 3- Analyse et résultats des données dendrométriques :

-Dès lors une synthèse sur la variabilité dendrométrique serait d'une utilité importante pour décrire la nature des peuplements échantillonnés par :

-Une étude de variabilité dendrométriques des espèces inventoriées qui montre que le cèdre de l'Atlas est en mélange. Avec la présence d'une importante densité de chêne vert et très faible densité de chêne liège.

## Chapitre 3 : Résultats et discussion.

---

-Et par la 2<sup>ème</sup> étude qu'est la variabilité dendrométrique des peuplements de cèdre inventoriés et ce dernier montre que les peuplements de cèdre échantillonnés présentent une grande variabilité dendrométrique d'une placette à l'autre.

L'étude de la relation du dépérissement avec les caractéristiques dendrométriques est basée sur trois axes, selon que la variation dendrométrique influence sur l'état des peuplements échantillonnés, soit celle :

### **3.1-Variables dendrométriques liées à la fertilité stationnelle :**

Mise en évidence du dépérissement à travers les variables liées à la fertilité par l'étude de  $F_{\text{observé}}$  et  $F_{\text{théorique}}$  et ces paramètres édaphiques qui sont Circonférence dominante et Hauteur dominante, le résultat obtenu c'est  $F_{\text{observé}}$  et moins que  $F_{\text{théorique}}$ .

Donc ce dernier signifie que le dépérissement est loin d'être corrélé avec la fertilité stationnelle. Ce résultat confirme parfaitement celui de la relation entre le dépérissement et les facteurs stationnels.

### **3.2-Variables dendrométriques liées à la compétition des arbres :**

L'étude du dépérissement ( $F_{\text{observé}}$  et  $F_{\text{théorique}}$ ) à travers les variables liées à la compétition qui sont des Paramètres édaphiques (Surface terrière totale, densité totale et Circonférence moyenne à 1.30m).

La différence non significative est le résultat obtenu entre le dépérissement et chacune des variables liées à la compétition, par le biais de l'analyse de la variance, à l'exception de la relation dépérissement circonférence moyenne.

Cette situation mène à prédire que le dépérissement est influencé par une variable fort considérablement liée à la compétition entre les tiges voisines.

À l'aide de diagramme à barres qui étudie taux de dépérissement à travers la circonférence moyenne (0.9 à 2.4m) démontre que de plus en plus que les tiges sont grosses et comme elles ne sont soumises à aucune intervention sylvicole, plus le dépérissement augmente, faute d'espace vital compromettant.

Cela conclut que le taux de dépérissement augmente avec la circonférence moyenne.

### **3.3-Diamètre et Hauteur totale :**

-Par un diagramme à barres et l'étude des différentes stations écologiques ils ont fait la répartition des arbres dépéris (AD) et des arbres sains (AS) selon les classes de diamètre (cm).

Pour cela montre que les arbres appartenant aux classes de diamètre intermédiaires (20-60 cm) et élevée (> 60 cm) sont les plus touchés par le dépérissement.

-Et par un 2<sup>ème</sup> diagramme à barres on a étudié les répartitions des arbres dépéris et des arbres sains selon les classes de la hauteur totale (m), pour les différentes stations écologiques.

Alors que, l'analyse des paramètres dendrométriques montre que les arbres dépéris sont caractérisés par un diamètre et une hauteur élevés, ce qui suggère que ce phénomène touche des arbres adultes et/ou âgés, ces arbres se trouvant dans un stade de dépérissement avancé (défoliation > 75 %).

### 4-Analyse et résultats des données dendrochronologiques à Theniet El Had :

#### 4.1-La croissance radiale :

Après l'étude des variations interannuelles des épaisseurs des cernes chez les arbres dépéris et les arbres sains, pour les différentes stations écologiques par des courbes graphiques, l'analyse de la croissance radiale montre un bon synchronisme dans les variations des épaisseurs annuelles des cernes des différentes populations (arbres sains et dépéris), Comme le montrent les valeurs des coefficients de corrélation qui s'échelonnent entre 0,59 et 0,90. Ce résultat suggère la présence d'un facteur commun qui agit sur la croissance des arbres et pourrait être d'origine climatique.

La comparaison des chronologies de cernes des arbres dépéris et sains montre une faible activité cambiale chez les arbres dépéris, marquée par des cernes très minces, en particulier ces dernières décennies. L'analyse de la variance a révélé une différence très significative entre les épaisseurs des cernes des arbres dépéris et sains à l'intérieure de la même population et entre les différentes populations

Cette différence de croissance peut être constatée dès le début de la série chronologique pour les populations PEP, GUAR et DJOUA. Pour la population TOUR, cette différence est marquée depuis les années 1920 ; pour les populations OUAR et ROND, la différence de croissance radiale commence à apparaître, respectivement, dans les années 1960 et 1980. Pour l'ensemble des populations, cette différence de croissance devient plus nette après une chute de croissance qui affecte l'ensemble des populations lors des années 1920, 1945 et 1983.

#### 4.2-La sensibilité moyenne :

Pour la sensibilité moyenne cette dernière est plus élevée chez les arbres dépéris que chez les arbres sains, notamment pour les populations PEP, TOUR et ROND. La comparaison des valeurs de la sensibilité moyenne calculée sur les chronologies globales et sur la période 1980-2010 montre une élévation très marquée de la sensibilité moyenne pour la période récente.

Les valeurs pour la période 1980-2010 varient de 0,18 à 0,42. Hormis les populations OUAR et TOUR qui manifestent une faible sensibilité (0,18 et 0,22 respectivement) sur la période récente, les autres populations sont marquées par des valeurs très élevées allant de 0,34 à 0,42. Ceci indique une augmentation de la sensibilité du cèdre aux fluctuations climatiques au cours de ces dernières années, marquées par la persistance de la sécheresse.

Le déclin de la croissance radiale a en effet affecté également les arbres sains à partir des années 1980, ce qu'atteste la succession de cernes très minces durant les années 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1993, 1994, 1999, 2001, 2002, 2005 et 2006

La projection des populations dans les axes 1 et 2 qui sont expérimenté par une analyse en composantes principales des épaisseurs des cernes par rapport (a) Projections des observations (années). (b) Projections des variables (populations), qui représentées dans le plan factoriel principal (80 % de la variance totale.

## Chapitre 3 : Résultats et discussion.

---

Met en évidence deux groupes de populations :

- **le groupe 1**, formé par les populations GUAR, DJOUA et PEP, caractérisées par une sensibilité moyenne élevée ( $SM > 0,20$ ), et localisées à des altitudes faibles ( $< 1\ 500\ m$ ) et/ou croissant sur substrat marneux (PEP).
- **le groupe 2**, constitué des populations OUAR et TOUR, marquées au contraire par une sensibilité faible ( $SM < 0,20$ ), localisées à des altitudes relativement élevées ( $> 1\ 500\ m$ ) et installées sur substrat gréseux.



**Figure 32 :** Évolution du dépérissement du cèdre de l'Atlas exprimée par une perte progressive du feuillage (M. Sarmoum).

### 4.3-Discussion dendrochronologique :

Les populations soumises à ces conditions sont caractérisées par une sensibilité moyenne plus élevée que les populations de haute altitude. Selon Fritts (1976), c'est souvent au centre de son aire de répartition qu'une espèce est la moins limitée par les facteurs climatiques. En bordure de son aire de répartition, le climat est plus limitant.

L'analyse rétrospective de la croissance radiale a révélé que les arbres dépéris manifestaient des difficultés de croissance dès leur jeune âge. Cette variabilité individuelle dans le comportement écophysologique des arbres (potentiel hydrique négatif, déficience dans la croissance, l'absorption racinaire et le contrôle stomatique) paraît jouer un rôle important dans la réaction du cèdre à la variation des facteurs écologiques, notamment climatiques (Zine et Abidine et al., 2014 ; Aoubouazza, 2017). Cette difficulté, traduite dans la croissance des arbres dépéris, s'aggrave après les années de sécheresse, comme le montrent les observations aux années 1881, 1920, 1945, 1961, 1984 et 2002. Cela entraîne une perte progressive de vitalité qui se matérialise par une mortalité des arbres (Touchan et al., 2008).

Ces résultats corroborent ceux obtenus par Zine El Abidine (2003) et Rhanem (2011) au Maroc, et Bentouati et Bariteau (2006) dans les Aurès, qui concluent que le dépérissement est le résultat de plusieurs facteurs (évolution du climat, absence de sylviculture, conditions de milieu) ou de leur interaction. En effet, le fonctionnement physiologique du cèdre de l'Atlas dépend essentiellement de

## Chapitre 3 : Résultats et discussion.

---

l'approvisionnement en eau, qui est entravé depuis plus de 20 ans du fait de la récurrence des épisodes de sécheresse (Gaba-Chahboub et al., 2016). Les peuplements forestiers exposés à de telles situations sont constitués d'arbres affaiblis et sont le plus souvent attaqués par des agents pathogènes et des insectes xylophages (Rouault et al., 2006).

### **5-Concernant l'étude du parc de Belezma :**

Lors de l'interdatation, il a été localisé 19 cernes manquants entre 1840 et 2002, soit un pourcentage de 0,7 du total des cernes dont 17 cernes manquants ont été localisés entre 1950 et 2002. Quarante-neuf pour cent de cernes manquants ont été localisés sur des arbres encore vivants avec un maximum en 2001 et 2002. Et pendant ces deux années, si le cerne n'est pas absent, il a une épaisseur très réduite (micro-cerne).

La chronologie résiduelle qui l'étude de l'indice de croissance dans les arbres vivants et les arbres morts dans les années 1845 à 2005 dans un courbe graphique montre que les deux chronologies élaborées montrent une forte similarité entre elles avec des valeurs moyennes identiques d'indice de croissance : 0,977 et 0,976, respectivement, pour les arbres vivants et les arbres morts et un coefficient de corrélation de 0,91.

Ce résultat justifie la combinaison de tous les arbres en une seule chronologie d'une période de 164 ans (1845-2009), période largement suffisante pour reconstituer les précipitations de la période pendant laquelle la cédraie du Belezma a connu une forte mortalité des arbres (Delartigue, 1904 ; Boudy, 1952, 1955).

À l'aide des paramètres statistiques principaux des chronologies (chronologies et corrélations moyenne) et les résultats de la standardisation (standard et résiduelle) on peut tirer ce qui suit :

Les fortes valeurs du coefficient de sensibilité, 0,42 et 0,47 respectivement, pour la chronologie standard et celle résiduelle, traduisent le degré d'influence du facteur climatique annuel sur la croissance du cerne.

Les séries d'indices de croissance montrent une très forte similarité inter-arbres avec une corrélation de 0,59 et 0,69 ( $p < 0,0001$ ), respectivement, pour la chronologie standard et la chronologie résiduelle, traduisant ainsi une bonne synchronisation des fluctuations annuelles des individus du peuplement. Le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1 qui quantifie la corrélation entre deux épaisseurs successives de la même série est de 0,419, le coefficient d'ordre 2 est de 0,193. Cela nous permet de dire que les arbres semblent être soumis à une certaine rémanence des conditions antérieures de croissance. L'élimination de cet effet aboutissant à l'élaboration d'une chronologie résiduelle est justifiée par les faibles valeurs des coefficients d'autocorrélation de cette chronologie.

### **6-L'analyse de reconstitution des précipitations a révélé :**

#### **6.1-Fonction de réponse :**

Les résultats des analyses portant sur l'indice de croissance et 12 redresseurs (précipitations d'octobre de l'année t-1 à septembre de l'année t) sont présentes par un tableau qui étudie la fonction de réponse de l'indice de croissance aux précipitations d'octobre à septembre.

À l'exception du mois de septembre de l'année de croissance, les précipitations montrent un effet direct (positif) sur la croissance du cerne. Pour l'année t-1, seul le mois d'octobre montre un effet significatif.

## Chapitre 3 : Résultats et discussion.

---

Les précipitations hivernales et printanières semblent avoir une forte liaison avec la croissance du cerne. Ainsi, les précipitations cumulées d'octobre de l'année précédente à juin de l'année de croissance ont été retenues comme fonction de réponse pour l'élaboration de la fonction de transfert.

### 6.2-Fonction de transfert :

D'après l'étude de la courbe graphique des précipitations observées et estimées d'octobre à juin pour la période 1931-2009 et avant l'élaboration du modèle final de transfert, cette période a été divisée en deux : 1931-1970 et 1971-2009.

Chaque période a été utilisée une fois comme échantillon d'étalonnage et une autre comme échantillon de vérification par deux modèles : le premier est calibré pour la période 1971-2009 et vérifié pour la période 1931-1970, et le deuxième est calibré pour la période 1931-1970 et vérifié pour la période 1971-2009.

Les critères d'ajustement (les coefficients de déterminations) et de vérification (les coefficients de corrélations) sont hautement significatifs et témoignent de la robustesse du modèle.

La réduction d'erreur semble être très satisfaisante pour juger la stabilité de la relation dans la période des données observées disponibles, et ainsi toute la période (1931-2009) peut être utilisée pour la construction du modèle final.

La mise en relation entre les précipitations cumulées d'octobre à juin (variable dépendante) et l'indice de croissance (variable indépendante) a donné naissance au modèle linéaire suivant :

$P = 138 I - 165$  où : P = précipitations d'octobre à juin (mm) et I = indice de croissance.

Les critères statistiques obtenus pour le modèle final de régression sont hautement significatifs et construit pour la période 1931-2009. Le coefficient de corrélation de Pearson entre ces deux variables est de 0,77 ( $p < 0,0001$ ) ; l'indice de croissance explique 60 % des variations des précipitations.

Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) de prédiction de 57 %, déterminera partir de la valeur PRESS, indique la robustesse du modèle et donc sa valeur prédictive pour les années où on ne dispose pas de données climatiques.

### 7- Analyse identification des années sèches :

Les années ayant des précipitations inférieures au seuil de 80 % sont considérées comme des années sèches. Pour les précipitations estimées par le modèle pour la même période, le seuil de 80 % est presque le même (241 mm), ce qui valide la précision du modèle d'estimation.

Après l'étude des variations de précipitations reconstruites, seuil de sécheresse et moyenne dans la courbe graphique de mois d'octobre à juin durant la période 1845-2009, La corrélation entre les précipitations observées et les précipitations estimées est de 0,77 ( $n = 79$  ans).

La reconstitution des précipitations estimées d'octobre à juin pour la période 1845- 2009 contient 21 années sèches avec un intervalle moyen de 8 ans entre deux années sèches. Et l'année sèche 1867 été une année de cholera dans la région où on a enregistré 2 324 morts à Batna (Turin, 1983).

## Chapitre 3 : Résultats et discussion.

---

La ligne horizontale jaune représente la moyenne des précipitations observées d'octobre à juin pour la période 1931-2009 (302,6 mm). La ligne horizontale noire en tirets représente le seuil de sécheresse fixé à 80 % de cette moyenne (242 mm).

D'après la longue période de sécheresse depuis 1845 deux évènements secs ont été identifiés :

- le premier est celui de 1877-1878 qui précède la forte mortalité des arbres du cèdre dans les massifs des Aurès et du Belezma signalée par Delartigue (1904) et Boudy (1952, 1955) ;
- le second, celui de 2001-2002, coïncide avec le dépérissement observé la dernière décennie dans les mêmes massifs.

Si on définit la sévérité d'une année sèche par son déficit par rapport au seuil de sécheresse adopté dans cette étude (80 %), l'année 1978, définie comme l'année de sécheresse la plus sévère avec un déficit de 83,1 mm et une précipitation de 159 mm, semble précéder un troisième épisode de dépérissement observé dans ces massifs en 1979 (Abdessemed, 1981).

Pour cela cette étude a été réalisée par un diagramme à barres qui donne ces résultats suivant : La combinaison de fréquence, période et sévérité de sécheresse des années sèches représentée par la moyenne mobile de dix ans, la période 1993-2002 semble être la plus défavorable depuis 1845.

### **8-Discussion de la chronologie :**

La sécheresse ne peut être considérée comme cause unique de la mortalité observée dans les cédraies, La présence de cernes incomplets ou localement absents montre que les arbres ont souffert d'un stress d'origine abiotique (climat) ou biotique (insecte défoliateur).

Selon Filion et al. (2010), en plus de la formation de cernes incomplets ou localement absents, d'autres indicateurs peuvent caractériser une signature dendrochronologique propre à un épisode de défoliation. Ce sont :

- la présence d'un cerne pale sur les arbres défoliés en raison de la quasi absence de bois final résultant de la défoliation sévère. Malheureusement, ces cernes pales ne seraient pas caractéristiques d'une défoliation puisqu'ils peuvent se former suite à une contrainte climatique (Morin et al., 2010) ;
- une réduction de la croissance radiale pendant plusieurs années consécutives, qui peut être le résultat d'une défoliation.

Malheureusement, à l'inverse de ce qui était attendu, l'examen des deux chronologies ne montre pas de réduction marquée ni après les cernes manquants sur les arbres qui ont connu une récupération ni avant la mortalité subite des arbres qui a eu lieu entre 2001 et 2002, à moins que les défoliations n'aient pas été sévères.

Dans l'état actuel des connaissances, il est difficile d'attribuer ces signatures dendrochronologiques au climat ou à une défoliation d'insectes. Cependant, la comparaison de ces séries dendrochronologiques à des séries d'une espèce non hôte de l'insecte défoliateur provenant de sites voisins géographiquement (étude envisagée) peut répondre à cette question. Si les séries des deux espèces hôte et non hôte présentent les mêmes signatures, le stress peut être considéré d'origine climatique.

### Chapitre 3 : Résultats et discussion.

---

Cependant selon Filion et al. (2010), la mortalité plus ou moins immédiate et rapide des arbres – ce qui est notre cas – peut découler de nombreux facteurs liés à la qualité des arbres et aux conditions locales. Parmi ces facteurs, la position sociale de l'arbre peut constituer un facteur de prédisposition. Bien que les arbres échantillonnés soient tous de statut dominant, une étude portant sur les indices de compétition des arbres morts et des arbres vivants au sein du même peuplement est envisagée.

# Conclusion

## **Conclusion :**

La cédraie du Belezma et Theneit el had est considérée comme les plus importants cédraie dès l'Aurès.

À travers ce travail, qu'ils ont mené au sein Parc National du Belezma et Theneit el had, ils ont porté sur l'étude dendrochronologique et dendroclimatique du cèdre de l'Atlas, ils ont tiré quelques conclusions se rapportant, notamment à l'influence de facteurs biologiques sur le dépérissement de cèdre. Car ce phénomène touché la cédraie vers sa limite inférieure altitudinale, aux expositions ensoleillées et sur les sols à forte pente. L'analyse des paramètres dendrométriques montre que le dépérissement touche les sujets d'âges variés, mais que les arbres âgés sont plus touché. Les arbres touchés dans la zone d'étude présentent un stade de dépérissement avancé.

En effet, l'étude de l'intervention des différents facteurs climatiques sur la croissance radiale du cèdre, montre l'impact du déterminisme climatique dans la production annuelle de bois. Ce résultat est en parfaite concordance avec l'effet du paramètre pluviométrie considéré comme facteur limitant par les précipitations automnales et hivernales contribuent à la reconstitution des réserves hydriques du sol assurant ainsi une disponibilité en eau lors du démarrage de la mise en place du cerne. D'autre coté l'insuffisance et l'irrégularité des précipitations, couplées à l'élévation des températures qui enjointront à la sécheresse, constituent bel et bien une dérive climatique dont l'avènement s'est corsé davantage depuis la décennie quatre-vingt. Cette sécheresse climatique engendre indubitablement une sécheresse édaphique.

La conclusion retenue est que ce phénomène de dépérissement est le résultat de plusieurs facteurs qui peuvent agir soit en concomitance soit successivement provoquant l'affaiblissement, voire la mort, de l'arbre. Alors que, la formation de cernes incomplets ou localement absents sur des arbres encore vivants montre que le cèdre de l'Atlas est en mesure de récupérer et de reprendre son rythme normal de croissance après des périodes de contrainte biotique ou abiotique difficiles.

Cette situation n'engendre pas seulement des problèmes sociaux mais constitue également un handicap considérable pour l'économie nationale et met en danger un des patrimoines nationaux que représentent ces ressources forestières (Messaoudene et al., 2013). À cet égard, la mise en place d'un dispositif de surveillance et d'observation de la santé du cèdre est nécessaire pour une bonne gestion des peuplements.