

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Dr. MOULAY TAHAR - Saida-

Faculté des Sciences
Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme
De Master en biologie

Option : Protection et Gestion Écologique des Écosystèmes Naturels

Thème

Analyse de l'influence du climat sur les variations interannuelles de la croissance radiale du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) et thuya de berberie (*Tetraclinis articulata* Vahl.) dans le massif du Ben-Djloud
W.de Saïda

Présenté par : M^{elle} : **HENNI Mebarka**

Soutenue le : 16/12/2015

Devant la commission de jury, composée par :

President : Mr KEFIFA Abdelkrim (M.C.B)
Encadreur : Mr NASRALLAH Yahia (M.C.B)
Examineur : Mr ANTEUR Djamel (M.A.B)
Examineur : Mr NASRALAH Oussama (M.A.B)

Année universitaire : 2014 – 2015

REMERCIEMENTS

Je remercie le **DIEU**, le puissant de m'avoir accordé santé et courage pour accomplir
se modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon promoteur, M. Nasrallah Yahia, qui a
aimablement accepté de diriger ce travail, je le remercie très vivement pour les
connaissances que j'ai acquises tout au long de ce temps passé avec lui. Avec gentillesse, il
m'a permis de puiser de son expérience, de sa compétence et de ses connaissances très
variées, Pour ses conseils judicieux, sa disponibilité et sa bonté, j'en serai que reconnaissant.

J'aimerais exprimer ma gratitude aux. Membres de jury / Prof

D'avoir accepter d'examiner mon travail.

A Monsieur KFIFA qui m'a fait l'honneur de présider notre jury de thèse, Je respectueux
hommages.

A Monsieur NASRALAH Oussama *et* Monsieur ANTEUR pour qui m'honorent
d'examiner ce travail, Toute ma gratitude.

Je ne terminerai pas sans témoigner ma gratitude et sympathique envers mes enseignants, et
plus particulièrement Monsieur Terras.

Mes remerciements les plus chaleureux à tous les membres de ma familles "grands,
moins grands et petits",

Enfin je remercie tous les ami(e)s qui ont aidé et tous ceux qui ont contribué de près ou
de loin à la réalisation de cette étude.

Merci

-Résumé :

Les anneaux annuels de croissance de Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) et de Thuya de Berberie (*Tetraclinis articulata* Vahl.) ont été utilisés afin d'analyser la variabilité climatique passée, d'étudier la relation cerne-climat à long terme et de tester le potentiel de ces espèces pour la reconstruction de l'historique de la dendrochronologie au niveau d'un massif montagneux caractérisé par une végétation diversifiée.

L'échantillonnage a porté, d'une part, sur la collecte de carotte à la tarière de pressler sur les arbres vivants, et l'autre part, sur la réalisation de sections transversales à la tronçonneuse sur du bois mort dans quatre sites fragmentés le long d'un gradient altitudinal.

L'identification des relations cerne - climat s'appuie sur deux approches : l'une analytique, qui consiste à identifier les années de croissance les plus exceptionnelles et à en rechercher le déterminisme climatique, l'autre de type statistique, qui permet d'établir à travers la sensibilité moyenne le comportement moyen de l'essence vis-à-vis du climat.

L'analyse des accroissements moyens annuels révèle une croissance plus élevée pour le pin d'Alep, dont les cernes ont une largeur moyenne de 2.4 mm/an, contre 1.8 mm/an seulement pour Thuya de Berberie.

La sensibilité moyenne du Pin d'Alep aux aléas climatiques est plus forte que celle de Thuya de Berberie.

Mots clés : Les anneaux annuels, le pin d'Alep, le Thuya de Berberie, la dendrochronologie cerne, climat, la tarière de pressler

- **Abstract :**

Relation Tree rings analysis identifies with the precipitation and temperature-for two conifer species: pine of Aleppo (*Pinus halepensis* Mill.) and the Thuya of the Maghreb (*Tetraclinis articulata* Vahl.) in a biotope - original was conducted on gradient altitude between 900 and 1238 m in the massif of the Ben Djloud (Saida) whose magnitude corresponds to climatic variations.

Relation Tree rings -climate is observed through two methods: one consisting of analysis of the characteristics years, a second to reveal the answer to the climate through the sensitivity coefficient average.

Ring width analysis reveals a faster growth of Aleppo Pine which the ring have an average width of 2.4 mm/yr, against 1.8 mm/yr only for Thuya of the Maghreb.

Study of the climate interaction / growth highlights different responses to climatic conditions. It revealed that increments of Aleppo Pine trees are more related to precipitation changes to temperature variations. While Thuya is insensitive to the interannual climate fluctuations.

Medium sensitivity is high in both cases, with however a stronger response to Aleppo Pine inertia.

Keywords: Dendrochronology, the Aleppo pine, Thuya of the Maghreb, climate

• ملخص:

حلقات الأشجار السنوية للصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis* Mill.) وأشجار العرعار (*Tetraclinis articulata* Vahl) استخدمت لتحليل ودراسة وتحديد علاقة طويلة الأمد بين المناخ وحلقات نمو الأشجار اجري على طول ارتفاع المنطقة المدروسة المتميزة بسلسلة جبال تتميز بالغطاء النباتي المتنوع والذي يتوافق مع تغيرات مناخية.

العلاقة بين النمو والمناخ لوحظت من خلال طريقتان الأولى تتمثل في تحليل السنوات المؤشرة والثانية تتمثل في الكشف عن الإجابة على المناخ من خلال معامل الحساسية المتوسطة. تم أخذ العينات، أولاً، على مجموعة أساسية من الأشجار الحية، للصنوبر الحلبي والعرعار وبالمقابل، دراسة كميات الأمطار و درجة الحرارة الموزعة على أربعة أجزاء على طول المواقع التدرج الارتفاعي و بالتالي أجريت المقارنة بينهما.

تحليل الزيادات السنوية يكشف عن النمو العالي للصنوبر الحلبي، و حلقات الأشجار التي لديها متوسط عرض 2.مم / سنة، على عكس أشجار العرعار التي لديها متوسط عرض 1.8.مم / سنة. وحساسية الصنوبر الحلبي للأمطار هو أقوى من أشجار العرعار الذي يبدو غير حساس المناخ.

كلمات البحث: حلقات الأشجار، الصنوبر الحلبي، العرعار، المناخ، تعيين سن الشجرة.

TABLES DES MATIÈRES

SOMMAIRE

Liste des figures	IV
Liste des tableaux	V
Introduction générale	1
Chapitre I : Aperçu sur la bioécologie du pin d'alep et du thuya de berberie.....	5
1. Le pin d'Alep	6
1.1. Généralités	6
1.2. Systématique du genre Pinus	6
1.3. Systématique et critères d'identification du Pin d'Alep	8
1.4. Description de Pinus halepensis	9.
Exigences écologiques de l'espèce	13
1.6. Valeur écologique et syntaxonomique du Pin d'Alep	15
1.7. Phénologie de l'espèce	18
1.8. Régénération du Pin d'Alep.....	19
1.9. Intérêt économique de l'espèce.....	20
1.10. Répartition géographique.....	21
1.12. La croissance du Pin d'Alep :.....	27
2. Le Thuya de Berbérie :	29
2.1. Systématique du Tetraclinis articulata :	29
2.2. Origine de l'essence :	30
2.3. Les Caractères Botaniques :	30
2.4. Aire de répartition du Tetraclinis articulata :	32
2.5. Écologie du Thuya :	34
2.6. La régénération du thuya :	37
2.7. Utilisation de thuya :	38
2.8. Association du thuya :	39
2.9. Menace :	44
Chapitre II : La dendrochronologie	45
1. Introduction :	46
2. Définition :	46
3. Domaines d'étude de la dendrochronologie :	47
4. Introduction à l'anatomie du bois et à la formation des cernes de croissance :	48
5. Les méthodes de la dendrochronologie	52
5.1. Techniques de prélèvement des carottes.....	52
5.2. Les échantillons des rondelles et leur prélèvement	53
5.3. Préparation des échantillons et mesures des accroissements annuels	54
5.4. Représentation schématique :	56
5.5. Chronologies de référence :	56
6. Les principes de la dendrochronologie	57
6.1. Le principe d'uniformité.....	57
6.2. Le principe du facteur limitant	57
6.3. Le principe de l'amplitude écologique	57
6.4. Le modèle linéaire de croissance (Cook, 1987, 1990).....	57
Conclusion :	59

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude	61
1. Caractères écologiques de la zone d'étude :	62
1.1. Situation géographique :-	62
1.2. Topographie et géologie :	62
1.3. Pente :	63
1.4. Hydrologie :	64
1.5. Climat :	64
1.6. La végétation :	75
1.7. La faune :	76
2. Caractères écologiques de la forêt d'Oum Trif :	77
2.1. Situation Géographique :	77
2.2. Situation administrative :	78
2.3. Situation juridique :	78
2.4. Altitude :	78
2.5. Expositions :	79
2.6. Les pentes :	79
2.7. Hydrographie :	80
2.8. Climat :	80
2.9. Pédologie :	82
2.10. Végétation :	83
2.11. La faune :	84
Chapitre IV : Méthodologie adoptée	85
1. Le choix des stations :	86
2. Données cernes :	88
2.1. Matériel de travail utilisé:	88
2.2. Échantillonnage réalisé :	88
2.3. Données climatiques :	91
3. Relation cernes-climat :	92
3.1. Les années caractéristiques :	92
3.2. Le coefficient de la sensibilité moyenne :	93
Chapitre V : Résultats et discussion	94
1. Résultats :	95
1.1. Variabilité interannuelle du climat :	95
1.2. Analyse des largeurs de cernes :	96
1.3. Relation cernes-âge :	99
1.4. Relation cernes-climat :	101
2. Discussion :	111
3. Limites de l'étude de l'interaction climat / croissance :	118
Conclusion.....	121
Références	125
Annexes.....	140

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Pin d'Alep : (a) jeune sujet, (b) vieux sujet et (c) écorce	10
Figure 2 : Pin d'Alep : (a) Cône et aiguilles, (b) Cônes mâles et (c) Cônes femelles.....	11
Figure 3 : (a) Graine ailée de Pin d'Alep	12
Figure 4 : Aire de répartition du Pin d'Alep dans le monde	23
Figure 5 : Aire de répartition du Pin d'Alep en Algérie.....	26
Figure 6 : Tetraclinis articulata.	30
Figure 7 : La répartition du thuya de Berberie dans le bassin méditerranéen	34
Figure 8 : Cernes doubles de Genévrier Thurifère (Juniperus thurifera).	51
Figure 9 : Cerne discontinu ou incomplet.....	51
Figure 10 : Les deux types d'échantillons « La rondelle et les carottes ».....	54
Figure 11 : Les étapes d'analyses des éprouvettes de sondages de croissance	55
Figure 12 : Matériel de lecture de cernes.	55
Figure 13 : Localisation de la commune de Ain El Hadjar.	62
Figure 14 : Carte de localisation de la station de référence (Rebahia) par rapport à la zone étude	65
Figure 15 : Diagramme Ombrothermique de la station de Ain El Hadjar (1978-2007)	72
Figure 16 : Localisation de la zone d'étude	77
Figure 17 : La carte d'altitude de la zone d'étude	78
Figure 18 : La carte des pentes de la zone d'étude (versant nord du djebel de Bendjloud).	79
Figure 19 : La carte du réseau hydrique de la zone d'étude	80
Figure 20 : Diagramme Ombrothermique (1978-2007), selon la plus basse altitude de la forêt	81
Figure 21 : Diagramme Ombrothermique (1978-2007), selon la plus haute altitude de la forêt	82
Figure 22 : Localisation des stations d'étude	86
Figure 23 : Le matériel utilisé	88
Figure 24 : Coupe transversale d'un tronc du pin d'Alep faisant apparaître les cernes annuels.	89
Figure 25 : Variation des précipitations annuelles corrigées selon l'altitude des sites étudiés, en fonction du temps.....	95
Figure 26 : Variation des températures moyennes annuelles corrigées selon l'altitude des sites étudiés, en fonction du temps	95
Figure 27 : Chronologies moyennes de pin d'Alep dans les quatre stations	97
Figure 28 : Chronologies moyennes de Thuya de Berberie dans les trois stations	98
Figure 29 : Largeurs de cernes du Pin d'Alep en fonction de leur âge cambial.	100
Figure 30 : Largeurs de cernes du Thuya de Berberie en fonction de leur âge cambial.	100
Figure 31 : Années caractéristiques observées pour le pin d'Alep dans la station 1 sur la période 1957 – 2014.....	101
Figure 32 : Années caractéristiques observées pour le pin d'Alep dans la station 2 sur la période (1970- 2014).....	102
Figure 33 : Années caractéristiques observées pour le pin d'Alep dans la station 3 sur la période (1981- 2014).....	103
Figure 34 : Années caractéristiques observées pour le pin d'Alep dans la station 4 pour la période (1974 – 2014).....	103

Figure 35 : Années caractéristiques les plus fréquemment observées pour le pin d'Alep sur la période 1981-2009.	104
Figure 36 : Années caractéristiques observées pour le Thuya de Berberie dans la station 1 sur la période (1978 – 2014).....	105
Figure 37 : Années caractéristiques observées pour le Thuya de Berberie dans la station 02 sur la période (1984- 2014).....	106
Figure 38 : Années caractéristiques observées pour le Thuya de Berberie dans la station 3 sur la période (1992- 2014).....	106
Figure 39 : Années caractéristiques les plus fréquemment observées pour le Thuya de Berberie sur la période 1992 - 2014.	107
Figure 40 : La variation de la température moyenne annuelle et l'épaisseur des cernes de pin d'Alep dans les 4 stations en fonction du temps.	108
Figure 41 : La variation de la température moyenne annuelle et l'épaisseur des cernes de Thuya de Berberie dans les 3 stations en fonction du temps.....	109
Figure 42 : Comparaison de la sensibilité moyenne (SM) de pin d'Alep dans les 4 stations.....	110
Figure 43 : Comparaison de la sensibilité moyenne (SM) de Thuya de Berberie dans les 3 stations.....	111

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition du pin d'Alep dans quelques pays méditerranéens	23
Tableau 2 : Les domaines d'applications de la dendrochronologie	48
Tableau 3 : Répartition des classes des pentes dans la commune	64
Tableau 4 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles en mm (1978-2007).....	66
Tableau 5 : Les coordonnées géographiques pour les deux stations.....	67
Tableau 6 : Résultats des coefficients correcteurs	67
Tableau 7 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles en mm.....	68
Tableau 8 : Régime saisonnier des précipitations corrigées de la zone d'Ain El Hadjar.	68
Tableau 9 : Régime saisonnier des précipitations de la zone d'Ain El Hadjar.	69
Tableau 10 : T° moyenne, maximale, minimale (°C) (1978-2007)	70
Tableau 11 : Températures moyennes mensuelles minimales et maximales de la commune d'Ain El Hadjar (1978-2007).....	71
Tableau 12 : Vitesse du vent moyenne annuelle de la station d'Ain El Hadjar (1995-2006).....	73
Tableau 13 : Humidité atmosphérique moyenne mensuelle dans la commune d'Ain El Hadjar (1995-2006).	74
Tableau 14 : Précipitations mensuelles (mm) et températures moyennes mensuelles (°C) selon la plus basse altitude de la forêt (900m)	81
Tableau 15 : Précipitations mensuelles (mm) et températures moyennes mensuelles (°C) selon la plus haute altitude de la forêt (1238 m)	81
Tableau 16 : Caractéristiques environnementales des stations étudiées.	87
Tableau 17 : Résumé de la période des séries chronologiques moyennes pour les deux essences dans chaque station.	97
Tableau 18 : Accroissement moyen pour les deux essences dans chaque station.....	99

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction :

Comme la plus part des végétaux, la croissance des arbres dépend de nombreux facteurs environnementaux dont l'élément déterminant est le climat. La croissance de l'arbre s'effectue de manière concentrique, c'est à dire de l'extérieur vers l'intérieur. Elle est assurée par le cambium, fine couche de cellules primitives, située sous l'écorce. Dès sa première année de vie, l'arbre produit autour de sa moelle un anneau de cellules, appelé cerne de croissance. Cet anneau, constitué de cellules vivantes qui stockent la nourriture et transporte la sève, s'appelle le bois d'aubier ou bois vivant. L'année suivante, lors de la phase de croissance, les cellules se divisent et forment un nouvel anneau de bois d'aubier autour du précédent et ainsi de suite. Au bout de quelques années, le bois d'aubier le plus ancien meurt et devient le bois de cœur ou duramen (bois mort). A mesure que l'arbre grandit, le nombre de cernes correspondant au bois mort augmente alors que le nombre de cernes d'aubier reste à peu près constant. Chaque fois que l'arbre se développe, la couche externe ou écorce se fend et une nouvelle couche se constitue.

De manière générale le duramen est plus dur et plus dense, donc plus résistant aux attaques de parasites que le bois d'aubier. Les artisans du bois, menuisiers, charpentiers et ébénistes retirent l'aubier pour ne travailler que le bois mort.

La variabilité climatique est l'un des sujets de recherche d'actualité constituant des défis majeurs et urgents pour l'aménagement et la conservation des ressources naturelles (**Swetnam et al , 2009**). Prévoir leur évolution future repose sur la compréhension de leurs tendances passées. Malheureusement, les séries climatiques obtenues un niveau des stations météorologiques sont dans la plus part des cas, loin de couvrir des périodes permettant d'éteindre ces objectifs, C'est le cas en Algérie ou , malgré que les mesures de données climatiques aient commencé au début des années 1900 , elles se trouvent souvent entachées de lacunes et ne sont utilisables qu'à partir de la deuxième moitié du XX^e siècle (**Touchan et al, 2008**).

Dans le contexte des changements climatiques actuels, connaître les relations entre le climat et la croissance des arbres est primordial pour comprendre l'évolution des écosystèmes forestiers et élaborer des modèles mathématiques de croissance-climat. La présente étude vise à identifier les relations cerne-climat chez le pin d'Alep et

le thuya. Une reconstruction dendroclimatique sera réalisée en se basant sur les épaisseurs des cernes des carottes de ces essences. Ceci permettra d'améliorer la compréhension de la variabilité du climat. Ainsi, les résultats de cette étude auront un intérêt tout particulier dans le contexte de changement climatique actuel, dont les effets seront probablement forts en région méditerranéenne. La dendrochronologie se présente comme alternative très intéressante, pouvant palier les insuffisances sur le plan spatiotemporel (**Fritts, 1976**).

Il est relativement facile de connaître l'âge du bois en comptant les anneaux de croissance. Mais les cernes gardent aussi la trace des événements importants qui ont marqué la vie d'un l'arbre. Leur épaisseur témoigne notamment des variations climatiques qui ont affecté à un moment ou à un autre sa croissance : plus les conditions sont néfastes, plus les cernes sont étroits, plus les conditions sont favorables, plus les cernes sont larges.

Le principe de la dendrochronologie est l'utilisation de différentes propriétés des anneaux de croissance des arbres pour reconstituer l'historique des changements environnementaux et des phénomènes qui leurs sont associés (Touchan et Hughs, 2000) Ses applications à la climatologie (dendroclimatologie) et à l'écologie forestière (dendroécologie) sont très avancées. Cependant, la plus part des études réalisées à été mené au niveau du continent américain (**Biond et Qeadan, 2008**) et en Europe (**Drado Linan et al, 2012**).

De plus en plus la dendroécologie s'associe à des études anatomiques (**Vaganov, 1990 ; Jagels et al, 1990**), et écophysiological (**Carrer et al, 1998**), afin d'avoir des connaissances plus précises sur les facteurs intervenants dans l'élaboration du cerne et sur leur influence quant à ses caractéristiques. Ces connaissances permettent ensuite d'extraire un plus grand nombre d'informations écologiques et climatiques à partir de l'analyse des séquences de cernes. L'analyse climatique et l'analyse des variations intraannuelles de la croissance et de la structure, utilisée ici, permettent, par rapport à l'utilisation de la seule épaisseur de cerne, de prendre en compte un plus grand nombre de paramètres caractérisant plus finement la croissance radiale et donc augmentent les informations potentiellement extractibles du cerne

La majorité des études réalisées dans la région méditerranéenne a été effectuée au niveau de la rive nord. En Afrique du Nord, seul le Maroc possède un riche historique en dendrochronologie, dont un bon nombre de travaux de la dendroclimatologie (**Ilmen, 2014**), la dendrochronologie algérienne est au contraire, relativement récente

Les études dans ce domaine sont très rares et la plus part s'est limité à l'analyse de la relation cerne-climat (**Slimani et al., 2014**). A notre connaissance les seules études consacrées à la reconstruction dendroclimatiques dans notre pays sont celles publiées par (**Touchan et al., 2010**) et (**Kherchouche et al., 2012,2013**).

Le Massif du Ben Djloud a été choisi comme région d'étude, car c'est un massif montagneux caractérisé par une végétation diversifiée. La strate arborescente est occupée principalement par le pin d'Alep et d'autres essences secondaires constituant le cortège floristique, et jouant un rôle écologique important comme le Thuya (*Tétracelinis articulata* Vall). Ainsi que, les deux espèces sélectionnées se distribuent le long d'un gradient altitudinal.

La présente étude s'attache donc à compléter les connaissances sur les relations entre la croissance radiale de deux essences résineuses qui sont le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) et le Thuya de Berberie (*Tétracelinis articulata* Vahl) et le climat, dans la forêt d'oum trif. Elle mobilise deux approches complémentaires, l'une analytique qui consiste à identifier les années de croissance les plus exceptionnelles et à en rechercher le déterminisme climatique, l'autre de type statistique, qui permet d'établir à travers la sensibilité moyenne le comportement moyen de l'essence vis-à-vis du climat et prend en compte différents sites étudiés.

**CHAPITRE I : APERÇU SUR
LA BIOÉCOLOGIE DU PIN
D’ALEP ET DU THUYA DE
BERBERIE**

1. Le Pin d'Alep

1.1. Généralités

Le pin d'Alep est une espèce largement rependue dans le bassin méditerranéen. Cette essence est parmi les espèces caractéristiques de la forêt algérienne. Elle représente un capital forestier majeur. Ses exigences écologiques modestes ont incité les forestiers à l'introduire à grande échelle dans les stratégies nationales en matière de reboisement.

1.2. Systématique du genre *Pinus*

Le genre *Pinus* de la famille des Pinacées (Abiétacées) est divisé en 3 sous genres et les sous genres en sections (**Gaussen, 1960 In Nahal, 1962**).

Le sous genre *Pinus* est caractérisé par un nombre de feuilles variables, un cône ligneux à écailles dures est divisé en 5 sections. C'est la section des Halepensoïdes dans laquelle se trouve le Pin d'Alep qui nous intéresse.

Dans cette section, les trachéides des rayons ont une paroi sinueuse à dents peu nettes. Les punctuations sont de 1 à 4 chez *Pinus halepensis*.

La section des Halepensoïdes est divisée en 3 groupes :

Le groupe *halepensis* qui renferme le Pin d'Alep et le Pin brutia est caractérisé par des Pins à deux aiguilles et à cônes caduques ou sérotineux et renferme 5 espèces :

- *Pinus stankewiezii* SUKACZEW vit en Crimée méridionale, au Cap Aya (Sud de l'Ukraine) et près de Soukak (Maroc). Il fût décrit pour la première fois en 1906 comme une variété de *Pinus pithyusa* STEV.

- *Pinus eldarica* MEDW. C'est un Pin endémique de la Transcaucasie centrale, il occupe une aire naturelle très restreinte, il est considéré comme une espèce en voie d'extinction, cependant, il est largement utilisé dans les reboisements.

- *Pinus pithyusa* STEV. Décrit par STEVENSON (1838) près de Pitsunda sur la côte orientale de la mer noire, il existe aussi en Turquie (Ile Prinkipo), en Grèce (Thrace) et en Syrie.

- *Pinus brutia* TEN. Décrit en 1811 par l'italien TENORE. De nombreux auteurs le considèrent comme une variété du Pin d'Alep (**Lindberg 1946, Fitschen et Charman 1954, Gombault 1954, in Nahal, 1962 ; Boudy, 1950**). Par contre (**Nahal, 1962**), le considère comme une espèce distincte.

- (**Duhamel ,1755 In Nahal ,1962**), qui lui donne le nom de *Pinus hierosolimitana*, MILLER le redécrit en 1768 sous le nom de *Pinus halepensis* (**Kadik, 1987**).

Les pins du groupe *Halepensis* sont des pins à deux feuilles qui habitent la Région Méditerranéenne et sont souvent connus sous le nom de pins méditerranéens du groupe *Halepensis*. Ils appartiennent à la famille des *Pinacées (Abiétacées)*, au genre *Pinus*, au sous genre *Pinus (Eupinus)* à la section *Halepensis* et au sous-groupe *halepensis* qui renferme *Pinus halepensis* Mill. et *Pinus brutia*. Ces Pins sont les suivants :

Pinus halepensis Mill

Pinus brutia Ten.

Pinus eldarica Medw.

Pinus stankewiezii Sukaczew.

Pinus pithyusa Stevenson.

Certains botanistes ont vu dans ces pins des espèces distinctes, alors que d'autres ont abaissé certains d'entre eux au rang de variétés. Au sein de la famille des Pinaceae, *Pinus halepensis* Mill. et *Pinus brutia* Ten. Occupent une situation qui a souvent été discutée.

Une révision taxonomique de ces pins a été effectuée en invoquant, en plus des critères morphologiques et anatomiques classiques, ceux tirés de la biochimie (composition de l'essence de térébenthine), de la biogéographie, de l'écologie et de la palynologie (**Nahal, 1962**).

À partir des études biochimiques, palynologiques, anatomiques, phytogéographiques et morphologiques des Pins méditerranéens du groupe "*halepensis*" (**Nahal, 1986**) fait ressortir les conclusions suivantes:

- *Pinus brutia* Ten, est une espèce bien définie et nettement distincte de *P. halepensis* Mill.

- *Pinus halepensis* Mill, également n'est pas une espèce homogène dans toute son aire géographique. Il se présente sous des formes se distinguant par le port, le caractère des cônes et la morphologie des pollens. Les formes suivantes ont été distinguées :

- forme orientale (Liban)
- forme occidentale (France)
- forme nord-africaine (Algérie)

Il renferme également des races et des écotypes dont il faudra tenir compte pour le reboisement, en particulier les écotypes résistants à la sécheresse et au froid.

1.3. Systématique et critères d'identification du Pin d'Alep

Après plusieurs descriptions du pin d'Alep par différents auteurs, les botanistes ont retenu l'appellation donnée par Miller (**Kadik, 1987**).

Le pin d'Alep fut décrit par Miller en 1768 sous le nom de *Pinus halepensis*. Il appartient au groupe halepensis, c'est une espèce conifère de la famille des pinacées, genre *Pinus*, c'est l'essence résineuse la plus répandue en région méditerranéenne et constitue non seulement un vrai rempart naturel contre le désert mais aussi contribue à une production de bois non négligeable (**Quezel, 1986**).

Le pin d'Alep est connu sous le nom de pin blanc, pin de Jérusalem, en français, Senouber en arabe, Tayda en berbère (**Seigue, 1985**).

La classification complète de *Pinus halepensis* est donnée comme suit (Bouguenna, 2011) :

Règne : *Plantae*

Sous-règne : *Tracheobionta*

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Gymnospermes

Classe : *Pinopsida*

Ordre : *Coniferales*

Famille : *Pinaceae*

Sous-famille : *Pinoideae*

Genre : *Pinus*

Espèce : *Halepensis* Miller, 1768 subsp. *Halepensis*

L'identification de l'espèce se base sur les critères suivants (Nahal, 1986) :

- Cône largement pédonculé et réfléchi vers la base du rameau.
- Feuilles très fines, inférieures à 1 mm, molles, très finement serrutés sur les bords, 5 à 10 cm de long ; réunies par deux, rarement par trois dans une gaine ; groupées en pinceaux à l'extrémité des rameaux ; couleur vert jaunâtre.
- Cônes isolés ou par paires, rarement verticillés ; écusson de l'écaille portant au centre un ombilic relevé et muni d'un petit mucron saillant ; graine à aile allongée et droite des deux côtés.
- Encore adulte formée d'écailles minces et aplaties et non fissurée.

1.4. Description de *Pinus halepensis*

C'est un pin très commun dans les régions méditerranéennes où il peut former des forêts. Il se reconnaît de loin dans le paysage à son feuillage d'un vert clair. C'est un arbre souvent tortueux qui, quand il est âgé, prend le port du pin parasol avec lequel il ne faut pas le confondre (Bouguenna, 2011) (Figure 1(a)).

C'est un arbre toujours vert, vivace, de 5 à 20 mètres de haut, à écorce lisse, grise argentée au début puis épaisse et crevassée tournant au rouge-brun avec les années, à bourgeons non visqueux, au feuillage vert clair léger et aéré (Figure 1(b))

L'écorce et le bois contiennent des canaux contenant une substance visqueuse et collante: la résine (**Nahal, 1962**) (Figure 1(c)).

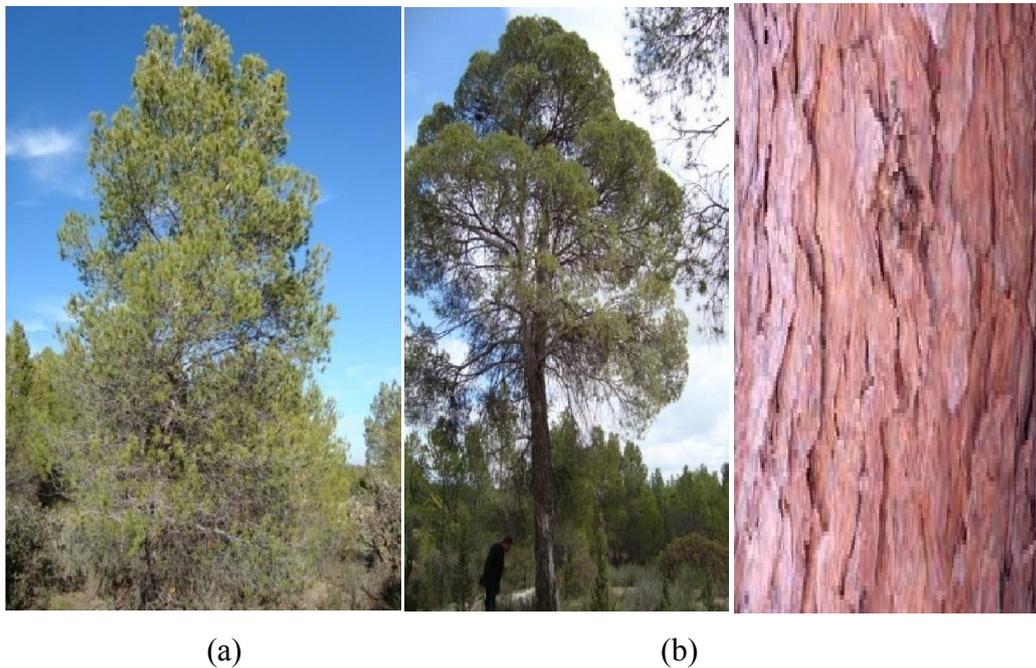


Figure 1 : Pin d'Alep : (a) jeune sujet, (b) vieux sujet et (c) écorce (**Bouguenna, 2011**)

Les feuilles ou aiguilles de 6-10 cm de long pour 1 mm de large, sont fines, molles, lisses et aiguës, groupées par 2 en pinceaux à l'extrémité des rameaux.

Le Pin d'Alep est une plante à fleurs mâles et femelles séparées (monoïque) situées sur le même individu ; elles sont groupées en épis. Les cônes violets de fleurs femelles apparaissent à l'extrémité des pousses de l'année (Figure 02(b)). Les Chatons mâles sont oblongs, jaunes roussâtres, 6-7 mm de long, les fleurs à étamines sont situées à la base des pousses de l'année. Secoués par le vent, les chatons d'étamines libèrent les grains de pollen très légers, munis de ballonnets pleins d'air qui sont entraînés sur de longues distances par le vent.

Le pollen pénètre entre les écailles d'un cône femelle, mûr à la fin de sa deuxième année, et féconde les 2 ovules nus non protégés par un ovaire (le Pin est une Gymnosperme) qui se trouvent à la face interne de chaque écaille constituant le cône (Figure 02 (c)).

Les fruits sont des cônes allongés, oblongs-coniques aigus de 8 à 12 cm de long ; rouge brun luisant, portés par un pédoncule très épais et recourbé de 1 à 2 cm : pendants et persistant plusieurs années sur les rameaux (Figure 3(a)) : écailles à écusson presque

plan, faiblement caréné en travers, muni au centre d'un ombilic généralement obtus ; graines d'environ 7 mm, mates, à aile 4 fois plus longue qu'elles (Figure 3(b)), cette aile persistante permet une dissémination rapide, éloignée et efficace et la colonisation de nombreux milieux (anémochorie).

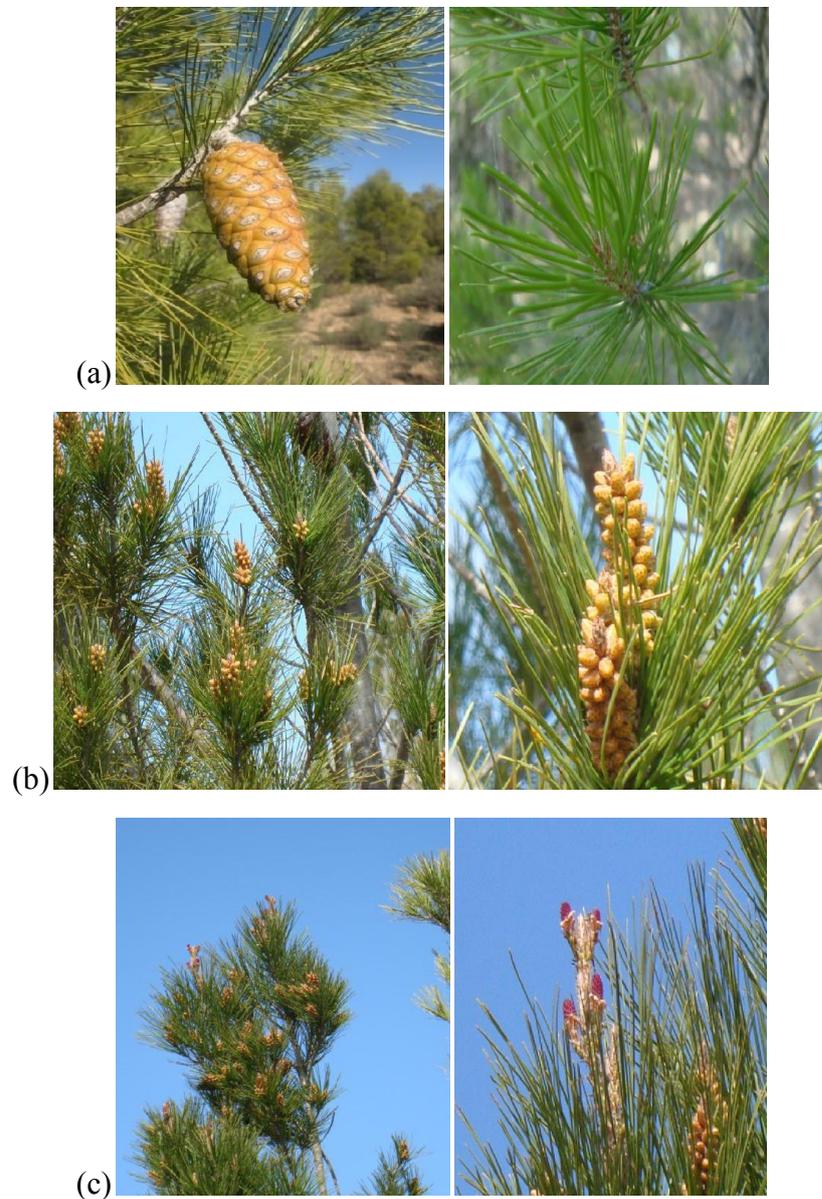


Figure 2 : Pin d'Alep : (a) Cône et aiguilles, (b) Cônes mâles et (c) Cônes femelles

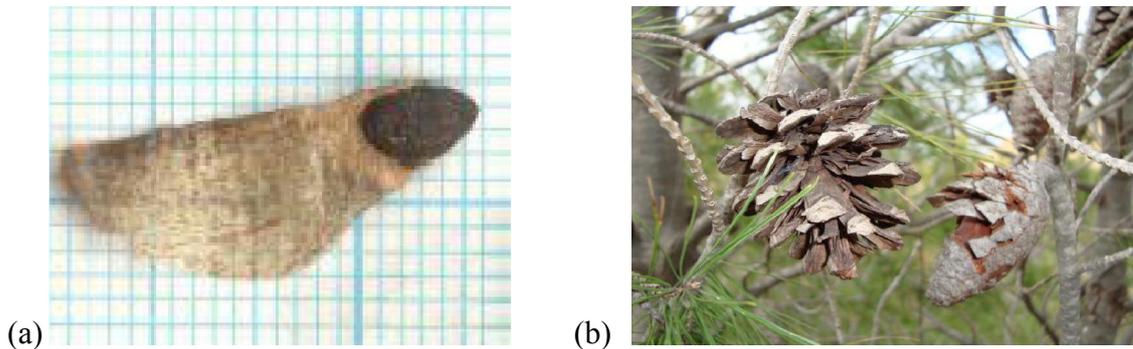


Figure 2 : (a) Graine ailée de Pin d'Alep (Bouguenna, 2011), (b) Cônes mûrs (Photo personnelle)

Les arbres jeunes ont une forme assez régulière. Les plus âgés, dégarnis à la base, ont un houppier plus dispersé, une cime irrégulière et peu dense.

Les fleurs mâles et femelles, encore appelées strobiles, ne sont pas réparties aléatoirement dans l'arbre. Il existe un gradient de sexualité au sein de la couronne, des branches et le long des rameaux (Bonnet-masimbert, 1991 in philippe et al, 2006).

D'une manière générale, les fleurs femelles sont portées par des pousses vigoureuses, dressées ou horizontales. Elles apparaissent sur les verticilles supérieurs de la cime, dans la partie distale des branches et donc sur des rameaux ayant un ordre de ramification peu élevé.

À l'inverse, les strobiles mâles se trouvent le plus souvent sur des pousses peu vigoureuses, horizontales ou pendantes. Ils se rencontrent de préférence dans le bas du houppier, dans la partie proximale des branches, sur des rameaux ayant un nombre de ramification élevé (philippe et al, 2006).

Quand des fleurs des deux sexes sont initiées sur une même pousse, les mâles occupent une position proximale tandis que les femelles se trouvent en position distale (philippe et al., 2006).

Le Pin d'Alep de la région circum-méditerranéenne est souvent un arbre de taille moyenne ne dépassant pas 30 m de hauteur, à tronc généralement sinueux, à écorce d'abord écailleuse d'un gris argenté ou rougeâtre puis à rhytidome crevassé. Les

aiguilles sont fasciculées par deux, fines de 1 mm environ d'épaisseur, souples, de 6 à 15 cm de longueur et de couleur vert clair ou foncé.

Les pousses vigoureuses sont polycycliques donnant à l'arbre une cime diffuse. Les cônes sont pédonculés, isolés ou par petits groupes, ovoïdes-coniques à écusson peu proéminent et toujours longuement persistants.

L'anatomie du bois est caractérisée par des parois minces et dépourvues d'ornementation et des trachéïdes horizontales (**Kadik, 1987**).

1.5. Exigences écologiques de l'espèce

Le Pin d'Alep est une essence méditerranéenne qui possède l'amplitude écologique la plus vaste (**Nahal, 1962**).

Il pousse dans des zones où les précipitations annuelles sont comprises entre 200 et 1500 mm. La pluviométrie ne semble pas être un facteur déterminant de la répartition de l'espèce, même si c'est entre 350 et 700 mm de précipitations annuelles qu'elle présente son développement optimal (**Quezel, 1986**).

Un des facteurs climatiques majeurs limitant l'expansion du pin d'Alep est la température. On le rencontre dans des gammes de températures moyennes annuelles allant de 11 à 19 °C, ce qui correspond à peu près à des moyennes des minima du mois le plus froid comprises entre -2 et 6 °C. Le pin d'Alep peut supporter des froids accidentels de -15 à -18 °C, à condition qu'ils restent exceptionnels et de courte durée (**Nahal, 1962**).

Le Pin d'Alep pousse sur des substrats tels que la marne, le calcaire les schistes ou les micaschistes ; on ne le trouve par contre pas sur les granites ou les gneiss. En fait, le Pin d'Alep semble indifférent à la nature de la roche-mère, mais semble s'installer préférentiellement sur les substrats meubles ou friables (**Loisel, 1976**).

On le trouve également sur des sols très variés qui vont de lithosols (recolonisation d'éboullis par exemple) aux sols évolués profonds (recolonisation de terrasses par exemple). Si la profondeur du sol est directement corrélée au niveau de production des peuplements, il n'existe par contre de relation entre cette profondeur et la présence ou l'absence de pin d'Alep (**Abbas et al., 1985**).

Les arbres qui se développent sur sol pauvre sont tout de même généralement chétifs et clairsemés (**Nahal, 1962**). Le Pin d'Alep supporte beaucoup mieux que la plupart des autres essences.

Un taux élevé de calcaire actif (**Loisel, 1976**). Il tolère très mal les sols sablonneux, sans doute en raison de l'assèchement trop intense qu'ils subissent durant l'été. Il ne tolère pas non plus la présence de nappes aquifères permanentes qui provoquent l'asphyxie de son système racinaire (**Quezel, 1986 B**).

Le Pin d'Alep s'observe, sur toute l'étendue de son aire, essentiellement sur les calcaires marneux et les marnes, qui lui sont le plus favorable. Malgré cette préférence, le Pin d'Alep colonise largement les substrats calcaires compacts fissurés au Maroc et en Algérie.

Même s'il laisse généralement la place à *Pinus pinaster* sur les substrats siliceux, le Pin d'Alep peut localement constituer des formations de belle venue sur sols acides en Provence et en Sardaigne, surtout en position sub-littorale (**Molinier, 1954 in Quezel et Medail, 2003**).

En Algérie, il est également présent sur grès, notamment dans l'Atlas saharien. En revanche, certains milieux l'excluent de façon absolue, notamment les substrats sablonneux, halo gypseux ou limoneux. C'est ainsi qu'en Afrique du Nord steppique, il colonise largement les steppes rocailleuses à *Stipa tenacissima*, alors qu'il est exclu des steppes limoneuses à *Artemisia* (**Le Houerou, 1995 in Quezel et Medail, 2003**).

Il est également absent des zones présentant des nappes aquifères superficielles, au moins pendant une partie de l'année. C'est une essence de lumière (espèce héliophile) qui supporte de forts éclaircissements et de longues périodes de sécheresse (espèce xérophile), mais ne supporte pas les gelées rigoureuses et des températures en dessous de -5°C plusieurs jours. Sa rusticité est limitée et tolère jusqu'à -10°C.

Les forêts de pin d'Alep peuvent se développer sur tous les substrats et presque tous les bioclimats de la région méditerranéenne. Il peut être trouvé aux altitudes de 0–600 m dans le nord méditerranéen et 0–1400 m dans le sud méditerranéen (thermo et méso niveaux méditerranéens). Il peut atteindre plus hautes altitudes, par exemple 2.600 m dans l'Atlas le plus haut du Maroc.

Le développement optimal des forêts de *Pinus halepensis* se produit à des précipitations annuelles de 350–700 millimètres et à des températures minimales absolues entre –2 et +10°C (bioclimats semi-aride et sub-humide) **(Bruno et al, 2003)**.

On le rencontre sur les sols argilo-calcaires, chauds et ensoleillés (espèce thermophile) des massifs littoraux, les éboulis ou même encore dans les fentes de rochers en bordure de mer.

Il s'adapte très bien sur sols pauvres, superficiels, ou caillouteux. Indifférent à la nature du sol (calcaire ou acide). La réserve utile minimale est de 50 mm d'eau/mètre. Sur le littoral, les pins d'Alep subissent des déformations ou anémomorphoses sous l'effet des vents chargés d'embruns; les rameaux exposés qui subissent des pertes d'eau importantes et les effets néfastes de substances toxiques écumées par les vents sur la surface de la mer, se nécrosent et meurent alors que les parties abritées persistent.

Comme tous les résineux, il est très sensible au feu mais sa dissémination est favorisée par le feu, les cônes éclatent et sont projetés à plusieurs mètres de l'arbre lors des incendies (espèce pyrophile). Il constitue des bois ou pinèdes dans le midi méditerranéen considéré comme des forêts de substitution à la forêt mixte de chêne vert et de chêne liège **(Nahal,1962)**

1.6. Valeur écologique et syntaxonomique du Pin d'Alep

Dans la partie méridionale du bassin méditerranéen, le Pin d'Alep contribue largement à la reforestation des zones dégradées, Dans cette partie, il constitue de véritables forêts climaciques. Il possède aussi une grande affinité avec le Pin brutia avec lequel il peut s'hybrider, C'est une espèce largement répandue dans le bassin méditerranéen et actuellement en pleine expansion en France. Cette essence résiste bien à la sécheresse et aux perturbations tout en étant d'une plasticité écologique remarquable **(Rathgeber, 2002)**.

Le rôle des pins dans la dynamique de la végétation méditerranéenne a longtemps été débattu. En se fondant sur des observations réalisées surtout au nord-ouest du bassin, divers auteurs notamment **(Braun-Blanquet, 1936 ; Molinier, 1937 in Quezel et Medail, 2003)** ont refusé à ces espèces toute valeur dans l'organisation de la végétation potentielle ou climacique, les considérant comme constituant de simples stades plus ou

moins bloqués de végétation (paraclimax), évoluant normalement vers la constitution de véritables climax à base de chênes, le plus souvent sclérophylles.

En fait, le développement des recherches notamment au sud et à l'est de la Méditerranée a confirmé que ces arbres, dans un certain nombre de situations écologiques, étaient parfaitement capables de constituer de véritables structures de végétation potentielle (**Nahal, 1962 ; Achhal et al., 1980 in Quezel et Medail, 2003**).

En bioclimats sub-humide et humide et aux étages méso- et localement supraméditerranéen, très généralement pour *Pinus halepensis* et beaucoup moins pour *Pinus brutia*, ils constituent en effet des stades transitoires de végétation, s'inscrivant dans les séries dynamiques de végétation bien connues sur le pourtour méditerranéen (**Quezel et Barbero, 1992**).

Pour *Pinus halepensis*, cette succession est devenue encore plus évidente depuis quelques décennies, à la suite des phénomènes de déprise agricole généralisée, survenus dans les pays du nord de la méditerranée (**Acherar et al, 1984 ; Barbero et al., 1990 in Quezel et Medail, 2003**), où la stratégie expansionniste de ce pin l'a conduit à occuper de vastes territoires, aux dépens des cultures abandonnées, mais aussi des matorrals et des anciennes zones de pâturage. Le passage progressif de ces pinèdes à des forêts dominées par les chênes sclérophylles (*Quercus ilex*), mais aussi par les essences caducifoliées sur sols profonds (*Quercus pubescens*) ou dans les secteurs à bioclimat humide –cas de la progression de l'*Ostrya carpinifolia* et du *Fraxinus ornus* en Ligurie et en Croatie- est en train de se produire actuellement (**Quezel et Medail, 2003**).

Au contraire, *Pinus brutia* dans les mêmes situations bioclimatiques que le Pin d'Alep, accuse d'une façon évidente une forte tendance à constituer des peuplements stables et qu'il est bien difficile de ne pas considérer comme potentiels notamment en Anatolie (**Quezel et Medail, 2003**) et au proche-orient (**Quezel et Medail, 2003**).

Toutefois, la faible représentation à ce niveau des espèces du genre *Quercus* permet l'individualisation de groupements climaciques à pins, comme **Loisel (1976)** l'a montré en particulier en Provence, situation qui se retrouve assez couramment au Maghreb pour *Pinus halepensis. turbinata* en position pré-saharienne (**Quezel et Barbero, 1990**).

C'est le cas notamment sur les Hauts-Plateaux et sur la dorsale tunisienne, où il forme des structures climaciques dans ces types de situation écologique.

En Algérie, **Kadik (1983)** et en Tunisie centro-méridionale **Long (1954)** et **Le Houérou (1969)**, *Pinus halepensis* constitue de véritables structures de végétation potentielle. C'est le cas en particulier à l'étage thermo-méditerranéen sur substrats marneux ou calcaro-marneux, essentiellement dans la majeure partie du semi-aride, voire de l'aride.

Sur l'Atlas saharien, les Aurès et la dorsale tunisienne, ses peuplements s'enrichissent notamment de diverses légumineuses : *Hedysarum pallidum*, *H. naudinianum*, *Genista microcephala*, *G. cinerea subsp. Speciosa*, *Erinacea anthyllis subsp. Shoenenbergeri*, etc. Il peut végéter en mélange avec le Thuya de Berbérie, en particulier dans l'Algérois (**Quezel et Medail, 2003**).

En bioclimat semi-aride, et à plus forte raison aride, aux étages thermo- et surtout mésoméditerranéens, le Pin d'Alep est susceptible de constituer de vastes peuplements de type préforestier, voire présteppique. Ici encore, en l'absence quasi-totale de toute autre essence forestière majeure, sauf de *Tetraclinis articulata* au Maroc et localement de *Juniperus* Sur le plan phytosociologique, les forêts de Pin d'Alep relèvent de la classe des *Querceta illicis* (**Maire, 1926 : Braun Blanquet, 1936 : Rivas-Martinez, 1975**).

Cette classe représentée sur le plan physiognomique par une végétation ligneuse xérique, traduit le plus fidèlement les conditions climatiques de la région méditerranéenne. Ce type de végétation est dominé par des formations à feuilles persistantes qui constituent la végétation climax d'une grande partie du cercle de groupements méditerranéens.

Malheureusement, le manteau forestier primitif presque disparu sauf dans quelques contrées montagnardes, reculées et éloignées des centres d'habitation.

La syntaxonomie des groupements à Pin d'Alep est la suivante (**Bentouati, 2006**)

:

Classe : *Querceta illicis*. (**Braun Blanquet, 1936**)

Ordre : *Quercetalia illicis* (**Braun Blanquet, 1936 Et Rivas Martinez, 1975**)

Alliance : *Pinus halepensis* et *Quercus ilex* (**Djebaili, 1979**)

Association : *Pinetum halepensis* (**Maire, 1926**)

Cette association est répartie sur les sommets et hauts versants de l'Atlas saharien ainsi que sur les versants des Aurès.

1.7. Phénologie de l'espèce

Les observations phénologiques constituent la méthode la plus importante de l'étude de la relation entre le rythme de développement d'une espèce et les variations écologiques du milieu ambiant.

L'étude phénologique du Pin d'Alep entreprise par plusieurs auteurs permet de déceler les observations phénologiques suivantes :

- La reprise de la végétation chez le pin d'Alep est relativement tardive et se situe entre février et mars (**Serre 1976 a et b : Nicault et al, 2001**).
- Les mois de mai et juin correspondent à la période de croissance (radiale et apicale) maximale (**Serre 1976 a et b : Nicault et al, 2001**).
- La période de croissance est stoppée par la sécheresse vers le mois de juillet (**Serre 1976 a et b : Nicault et al, 2001**).
- En automne, les rameaux ne semblent s'allonger que très peu (SERRE, 1976 b), la croissance radiale par contre reprend de façon significative (**Nicault et al, 2001**).
- Le Pin d'Alep est un arbre polycyclique, susceptible d'effectuer plusieurs pousses par an et de produire des faux cernes (**Serre, 1973**).

- Les cônes mûrissent au cours de la deuxième année et laisse le plus souvent échapper leurs graines au cours de la troisième année (**Nahal, 1962 ; Francelet, 1970**).
- La dissémination naturelle des graines a lieu entre la fin du mois d'août et la fin du mois d'octobre. Le cône doit avoir subi de fortes chaleurs, qui détruisent les joints de résine entre les écailles, pour pouvoir s'ouvrir (**Francelet, 1970**).
- La germination peut avoir lieu, soit à la fin de l'automne, soit au début du printemps (**Calamassi et al, 1984**).
- Le Pin d'Alep fructifie dès l'âge de 10 à 12 ans, mais les graines qu'il produit ne sont aptes à germer que lorsqu'il a atteint l'âge de 18 à 20 ans (**Nahal, 1962**).
- D'après NAHAL (1962), 100 kg de cônes produisent à peu près 50 kg de graines ailées, 1 kg de graines comptant environ 50.000 graines. De plus, les graines conservent leur pouvoir germinatif pendant au moins deux ans.

1.8. Régénération du Pin d'Alep

La colonisation par le Pin d'Alep est limitée par la distance assez faible de dissémination des graines : seulement 3 % des graines tombent à plus de 24 m du semencier (**Acherar et al, 1984**).

Les graines germent rapidement et en masse, à la lumière, pendant la saison humide. La mortalité est forte chez les jeunes semis, notamment au cours des deux premières années, mais la grande production de semences et leur taux de germination élevé permettent de compenser ces pertes (**Nahal 1962 ; Acherar et al, 1984**).

Les semis ont besoin de lumière, mais un léger couvert leur est plutôt favorable (**Acherar et al., 1984**).

Ils sont capables de s'installer sur la plupart des types de sol, mais un recouvrement important des herbacées leur est très défavorable. **Trabaud (1976), in Quezel et Medail (2003)**, rapporte que la régénération sous pinèdes, même dense, ne pose aucun problème car l'éclairement reste suffisant. Ce point de vue n'est pas partagé par (**Acherar ,1981**) qui affirme que le Pin d'Alep ne se régénère que difficilement sous son propre couvert où il est le plus souvent remplacé par *Quercus ilex pubescens*.

Le Pin d'Alep possède une banque de graines aériennes constituée par certains cônes sérotineux qui ne s'ouvrent que lorsqu'ils sont soumis à de très fortes températures (**Acherar, 1981**).

Le feu provoque l'éclatement de ces cônes et favorise la dispersion des graines grâce au déplacement turbulent de masses d'air chaud qui peuvent transporter les graines sur des distances importantes. Les graines de pin d'Alep peuvent supporter des températures comprises entre 130 et 150 °C (**Acherar, 1981**).

Le feu ouvre le couvert végétal, supprimant ainsi pour un temps la compétition avec le reste de la végétation (**Acherar, 1981**).

Le Pin d'Alep n'atteint pourtant sa pleine maturité que vers 20 ans, et ses graines sont, de surcroît, assez peu mobiles. Si, sur une zone donnée, la fréquence des incendies devient supérieure à 20 ans, le Pin d'Alep ne sera pas capable ni de s'y maintenir, ni de la recoloniser et en sera donc exclu (**Quezel et Medail, 2003**).

1.9. Intérêt économique de l'espèce

Le bois du Pin d'Alep est recherché tant pour les usages industriels (pâte à papier) que comme bois d'oeuvre, pour l'ameublement, les parquets et lambris, bois de mine et poteaux télégraphiques, etc. Son bois souple et dur fut utilisé pour l'étayage des mines, la construction navale et la charpenterie (**Bouguenna, 2011**).

Le Pin d'Alep donne environ 3 Kg de résine (la gemme) par arbre et par an (**Parajoannou, 1954 in Kadik, 1987**).

La gemme pure contient 20 à 24 % d'essence de térébenthine et 75 à 80 % de cellophane. Son essence est plus appréciée que celle du Pin maritime et des autres Pins d'Amérique ou d'Europe. Cette gemme a aussi des usages médicaux (**Kadik, 1987**).

Les bourgeons de pin, très résineux, ont aussi une utilisation médicinale, comme balsamiques et diurétiques, transformés notamment en sirops et pastilles. Du bois, on extrait aussi par distillation le goudron de Norvège, à propriétés balsamiques et antiseptiques. C'est une essence de reboisement, utilisée aussi pour l'ornement (**Bouguenna, 2011**).

Les pignons de pins sont comestibles et utilisés en pâtisserie et confiserie ou peuvent être mangés cru en cassant leur coque (**Bouguenna, 2011**)

1.10. Répartition géographique

1.10.1. Dans le monde

La répartition du Pin d'Alep, dont les peuplements atteignent environ 3,5 millions d'hectares, est actuellement de type essentiellement méditerranéen-occidental, mais il est localement présent dans les portions méridionales du bassin oriental (**Nahal, 1962 ; Quezel, 1980**). (**Figure 4**).

Le choix discutable de son épithète spécifique a amené divers auteurs à contester son indigénat, en méditerranée nord-occidentale en particulier, jusqu'à ce que l'accumulation des données historiques viennent infirmer ces allégations (**Pons, 1992 in Quezel et Medail, 2003**).

Il est intéressant de signaler que ce Pin n'existe pas à l'état naturel dans la région d'Alep, au nord de la Syrie. Le pin qu'on trouve à l'état spontané dans cette région est un pin voisin, le Pin brutia, avec lequel il a été confondu (**Nahal, 1986**).

C'est incontestablement au Maghreb qu'il offre son développement maximal puisqu'il peut être présent pratiquement partout, des bords de mer jusque sur les massifs présahariens.

Toutefois, pour des raisons écologiques, il fait défaut au Maroc atlantique et sur le littoral humide de Kabylie et de Khroumirie (Tunisie).

En Espagne, le Pin d'Alep est cantonné sur la côte méditerranéenne où il forme des peuplements assez importants, notamment dans les chaînes littorales de Catalogne, de la région de Valence et de Murcie ; il est moins fréquent en Andalousie. Vers l'intérieur, il se trouve en colonie disjointe dans la haute vallée du Tage et sur le pourtour de la vallée de l'Ebre. Aux îles Baléares, il monte jusqu'à 1.200 m d'altitude (**Kadik, 1987**).

En France, il est fréquent en Provence et assez peu répandu et épars à l'Ouest du Rhône qu'il remonte jusqu'aux environs de Montélimar. En Corse, sa spontanéité est douteuse (région de Saint Florent) (**Kadik, 1987**).

En Italie, le Pin d'Alep est peu abondant ; il se rencontre sous forme de massifs dans la province de Tarente. Il occupe quelques localités en Sardaigne et en Sicile.

Dans les Balkans, il est présent sur le littoral adriatique surtout au sud de Split et réapparaît abondamment dans certaines zones de la péninsule hellénique notamment en Péloponèse nord occidental, en Attique, en Eubée et en Chalcidique occidentale **(Kadik, 1987)**.

Au proche orient, en Turquie, il n'a été signalé avec certitude qu'au nord-est d'Adana **(Quezel Et Pamuckcuoglu, 1973)**.

En Syrie, quelques peuplements existent sur le revers Ouest de la chaîne des Alaouites **(Barbero et al, 1976)**.

Sur le littoral libanais, il se trouve çà et là **(Abisaleh et al, 1976)**. En Palestine et en Jordanie, il forme quelques massifs importants.

En Lybie, il existe quelques localités en Cyrénaïque littoral.

Au Maroc, le Pin d'Alep est rare, son aire est disjointe, il constitue néanmoins quelques peuplements généralement isolés sur le pourtour des grands massifs montagneux et en particulier du Rif où il est relativement fréquent sur le versant méditerranéen du Moyen Atlas (région d'Azrou, Ahermoumou des hautes Chaînes orientales) et aussi du Haut Atlas où il est assez répandu dans les vallées internes du versant septentrional jusqu'au sud ouest de Marrakech. Il existe aussi quelques colonies sur les versants subsahariens de la chaîne, enfin le Pin d'Alep forme quelques peuplements dans le Maroc oriental et en particulier sur les monts de Debdou. **(Emberger 1939, boudy, 1954 in kadik, 1987)**.

Emberger (1939) in Kadik (1987), pense que le Pin d'Alep est une espèce relique au Maroc où, à une époque plus ou moins lointaine, il avait une aire beaucoup plus étendue.

En Tunisie, le Pin d'Alep est très fréquent sur tous les massifs montagneux, il est concentré notamment sur la Dorsale tunisienne et l'Oued Mellègue **(Kadik, 1987)**.

L'importance des surfaces occupées par *Pinus halepensis* dans quelques pays méditerranéens est mentionnée dans le tableau 01 :

Tableau 1 : Répartition du pin d'Alep dans quelques pays méditerranéens (**Bentouati, 2006**).

Pays	Superficie (ha)	Source
Algérie	852.000	MEZALI (2003)
Maroc	65.000	BAKHIYI (2000)
Tunisie	170.000 à 370.000	CHAKROUN (1986), AMMARI <i>et al.</i> (2001)
France	202.000	COUHERT et DUPLAT (1993)
Espagne	1.046.978	MONTÉRO <i>et al.</i> (2001)
Italie	20.000	SEIGUE (1985)
Grèce	330.000	SEIGUE (1985)

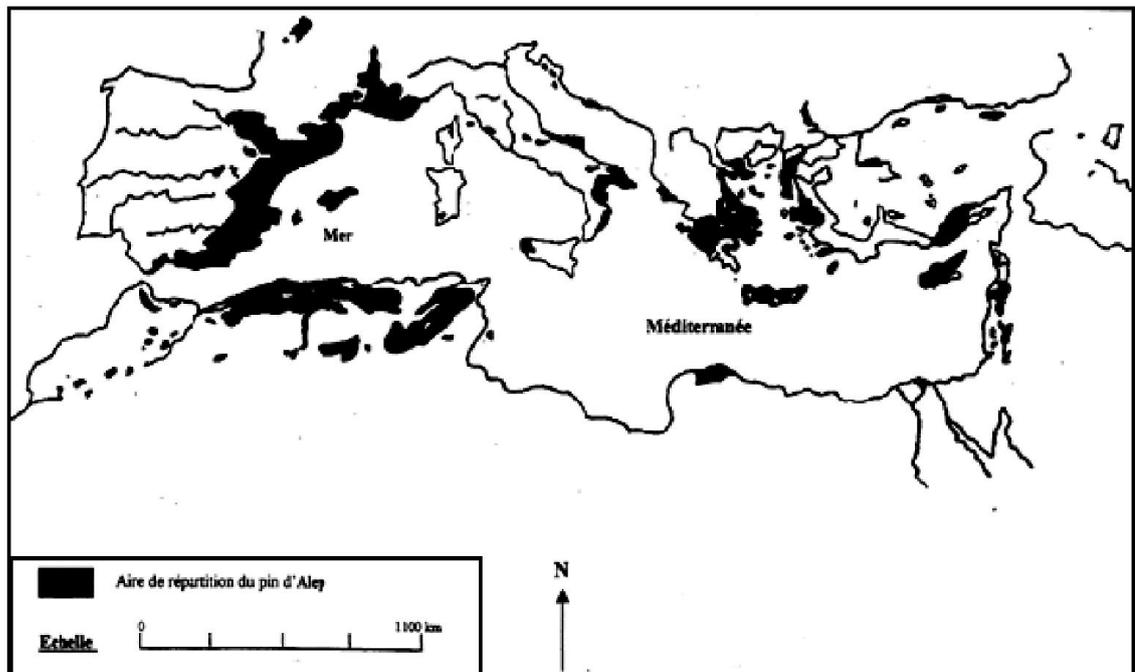


Figure 4 : Aire de répartition du pin d'Alep dans le monde (**Quezel;1986**)

1.10.2. En Algérie

En l'Algérie, l'aire de répartition de *Pinus halepensis* qui couvre 850.000 (ha) s'étend essentiellement dans la partie septentrionale du pays, exception faite de la région Nord orientale. C'est ainsi qu'il occupe de vastes peuplements en Oranie (Sidi-Bel-Abbes, Saida, Tlemcen, Tiaret, Ouarsenis) sur le Tell algérois (Médéa, Bibans), sur l'Atlas saharien (Monts des Ouleds Nails). Dans le Constantinois, il est surtout localisé

dans les Aurès et les Monts de Tébessa où il rejoint la Tunisie par la dorsale (**Kadik, 1987**) (**Figure 5**).

Nous énumérons ci-dessous les principales régions de répartition de l'espèce en Algérie (**Kadik, 1987**).

– Les forêts littorales

Le Pin d'Alep sur le littoral algérois et le littoral oranais occupe une faible étendue. Le sahel d'Alger fait la transition avec la zone de chêne liège proprement dite et les zones forestières à Pin d'Alep, Thuya et Chêne vert.

– Les forêts du Tell

Les espèces forestières les plus répandues sont le Pin d'Alep, le Chêne vert, le Thuya et le Genévrier de Phénicie. Les forêts de Pin d'Alep sont constituées par trois blocs :

- Les forêts des Monts de Tlemcen : Le Pin d'Alep occupe surtout le Tell méridional et les Monts de Slissen.
- Les forêts des Monts de Daïa : C'est une région fortement boisée, domaine par excellence du Pin d'Alep qui constitue un ensemble allant jusqu'aux portes de Sidi-Bel-Abbes. Les principaux massifs sont ceux de Tenira, Zegla, Touazizine, Guetarnia.
- Les forêts de Saida comprennent des futaies bien venantes, notamment celles de Fenouane, Djaâfra, Doui-Tabet, Tafrent.

– Le Tell algérois

L'Atlas tellien part de l'Ouarsenis aux Bibans, il est dominé par les formations à Pin d'Alep et Chêne vert. Les massifs de l'Ouarsenis sont recouverts en grande partie par des futaies de Pin d'Alep et des taillis de chêne vert, le Thuya et le Genévrier oxycedre accompagnent ces deux espèces principales. Au Ouarsenis, se rattachent les forêts de Médéa, Berrouaghia et d'Ain- Boucif qui en sont le prolongement.

Les forêts des Bibans comprennent principalement des peuplements des Ouled Okhriss et des Ksenna qui sont constitués de futaies renfermant 9/10 de Pin d'Alep.

-Le Tell constantinois ne comporte pas de massifs étendus de Pin d'Alep, il est en mélange au Chêne vert.

– Les Pinèdes de l'Atlas saharien

Les forêts de Pin d'Alep sont surtout localisées sur les montagnes jurassiques et crétacées des Monts des Ouled Nails. Les plus beaux peuplements sont situés sur les montagnes de Djelfa (Ain-Gotaia, Sénalba, Sahary). Près de Bou-Saada se trouve le peuplement forestier de Messaad. Les autres massifs sont ceux des Djellal, de Medjedel, Zemra et le Bou-Denzir.

– Les forêts des Aurès Nememcha

Les massifs du Hodna sont constitués de forêts mélangées à Pin d'Alep et Chêne vert. Les forêts des Aurès sont dominées par le Pin d'Alep sur les versants Sud, ailleurs, cette essence est en mélange avec d'autres espèces (Chêne vert, Genévrier de Phénicie,...).

Les plus beaux peuplements de Pin d'Alep sont situés entre 1000 et 1400 mm d'altitude dans les massifs des Beni-Melloul, Beni-Oudjana et des Ouled yagoub. Alors que le massif des Ouled Fedhala est dominé par le chêne vert. À Tébessa, les pinaies sont assez clairiérées, notamment celles des Ouled Sidi-Abid et de Brarcha Allaouna. Le massif d'Ouled Sidi-Yahia Ben-Taleb est relativement bien venant.

Après une étude de l'écologie, la dendrométrie et la morphologie du Pin d'Alep en Algérie a conclu que cette essence apparait avec une fréquence et une vitalité très inégale suivant les régions. L'aire optimale du Pin d'Alep en Algérie est déterminée à la fois par les facteurs climatiques et les facteurs humains. Ces derniers paraissent néanmoins prépondérants et semblent à l'origine d'une translation de l'aire du Pin d'Alep du sud vers le nord. (Kadik ,1987)

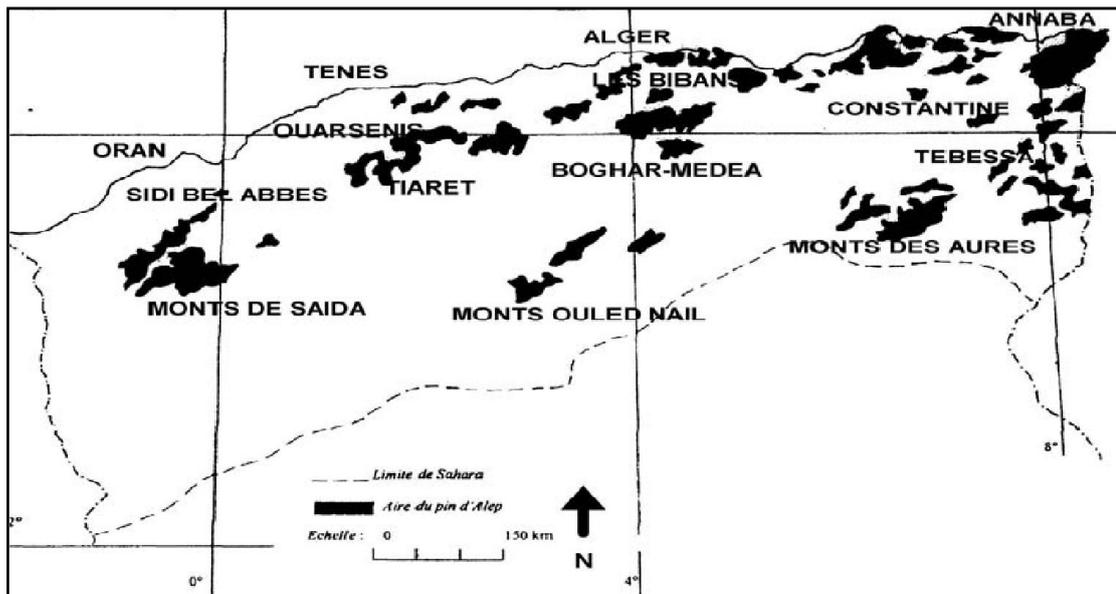


Figure 5 : Aire de répartition du Pin d'Alep en Algérie (Kadik, 1987)

1.11. Ravageurs et maladies :

1.11.1. Le contexte climatique :

Parmi les différents facteurs qui peuvent affecter le pin d'Alep, ce sont les facteurs climatiques qui jouent le rôle le plus important. Les accidents climatiques ont des conséquences directes sur l'essence et favorisent souvent l'intervention de facteurs entomologiques ou pathologiques aggravants.

1.11.2. Les facteurs entomologiques :

Selon (Brochiero 1997), Ils ne représentent pas un facteur limitant de pin d'Alep, mais peuvent périodiquement et localement affaiblir les peuplements. Les ravageurs cités cidessous ne sont pas spécifiés du pin d'Alep.

- **La processionnaire du pin** (*Thaumetopoea pityocampa*). Lors de ses pullulations cycliques, elle peut provoquer des défoliations importantes sur pin d'Alep. Toutefois, ces dégâts qui entraînent une perte de production menacent que très rarement la pérennité des peuplements.
- **Les cochenilles des aiguilles** (*Leucaspis sp*). Ces insectes piqueurs-suceurs s'observent sur les aiguilles. Leurs pullulations, généralement observées en période sèche, ne causent que rarement des dégâts spectaculaires.

- **L'hylésine des pins** (*Tomicus pinierda* ou *destruens*). Ce scolyte peut représenter une menace pour les peuplements de pin d'Alep affaiblis par le gel, la sécheresse ou le passage du feu. Généralement, ces insectes sous-corticaux se multiplient sur des arbres abattus ou blessés.
- **Autres scolytes** (*Tomicus minor*, *Orthotoicus erosus*). Ils peuvent également s'attaquer au pin d'Alep.
- **La tordeuse des pousses** (*Rhyacionia buoliana*). Les attaques les plus spectaculaires de ce lépidoptère, non spécifique du pin d'Alep, s'observent sur les peuplements affaiblis par des dessèchements de rameaux en cime des arbres.

1.11.3. Les facteurs fongiques :

L'incidence des facteurs fongiques est souvent moins spectaculaire que les attaques d'insectes. Ils peuvent cependant constituer à moyen terme des facteurs limitant plus préoccupants.

- **La rouille vésiculeuse de l'écorce** (*Conartium flaccidium*) est assez commune sur le pin d'Alep, n'occasionnant que peu de dégâts (dessèchement de rameaux).

- **Le chancre des rameaux** (*Crumenulopsis sororia*) peut contaminer de façon spectaculaire le pin d'Alep durant les périodes humides.

- **Le fomes** (*Heterobasidion annosum*). Ce champignon apparaît généralement dans les peuplements affaiblis par la sécheresse ou blessés par la grêle. Cet agent de dessèchement est souvent observé sur des rameaux desséchés. Il est souvent associé à *Crumenulopsis sororia* et à *Sclerophoma pithyophila* sur des arbres dépérissants.

1.12. La croissance du pin d'Alep :

Le pin d'Alep est un arbre polycyclique, susceptible d'effectuer plusieurs pousses par an et de produire des faux cernes (Serre-Bachet, 1973).

Les mois de mai et juin correspondent à la période de croissance (radiale et apicale) maximale. La période de croissance est stoppée par la sécheresse vers le mois de juillet. En automne les rameaux ne semblent s'allonger que très peu. La croissance radiale par contre reprend de façon significative (Nicault et al., 2001).

La croissance radiale annuelle d'un arbre dépend des caractéristiques physico-chimiques de la station où il est installé, des conditions climatiques et de la compétition au sein du peuplement dont il fait partie (**Becker, 1989**).

La croissance en hauteur se poursuit au-delà de 100 ans ; elle est en moyenne de 14 à 18 cm par an de 1 à 100 ans, mais est plus faible dans les 25 premières années (**Boudy, 1952**).

En Tunisie, un ralentissement de la hauteur est précoce vers l'âge de 50-70 ans (**Soulers, 1969**).

Par contre la croissance du pin d'Alep diminue à partir de 80 ans dans les pays européens (**Bedel, 1986**).

Alors qu'une étude faite par (**Bentouati ,2006**) à Ouled Yakoub révèle une diminution en hauteur au delà de 70 ans avec une hauteur moyenne de 15m.

En Algérie le volume atteint 1.20 m³ à 1.50 m³ dans de bonnes conditions de sol et végétation (**Boudy, 1952**).

L'accroissement annuel des peuplements ne peut être fixé qu'approximativement. Dans les forêts naturelles l'accroissement moyen est relativement faible de 0,5 à 3-4 m³/ha/an (**Boudy, 1952 : Soulers, 1969**). Ce qui a été affirmé par (**Bentouati ,2006**) en pinède d'Ouled Yakoub (de 0,5 m³/ha/an à 4,8 m³/ha/an avec une moyenne de 2 m³/ha/an pour un âge de 70 ans).

Au Maroc pour un âge de 60 ans l'accroissement moyen est chiffré entre 0,7 m³/ha/an et 1,4 m³/ha/an (**Belghazi et al, 2000**).

2. Le Thuya de Berbérie :

Le Thuya de Berberie est une espèce endémique de l'Afrique du nord. Elle compte parmi les essences caractéristiques de la forêt algérienne, capables de maintenir un bon taux de couverture face aux diverses agressions.

Ces particularités et ces caractères écologiques sont très importants et doivent être pris en considération, notamment pour l'aménagement et le traitement des forêts algériennes (**Adda-Hanifi et al., 2008**).

C'est un arbre très intéressant, par son histoire, puisque toute la Casbah d'Alger a été construite avec son bois (**Nasrallah, 2007**).

2.1. Systématique du *Tetraclinis articulata* :

Le Thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*), a été décrit par (**Vahl, 1791**), sous le nom de *Thuya articulata*, par la suite il a été reporté au genre *Tetraclinis* par **Maire (1926)**.

Le Thuya de Berberie est l'unique espèce du genre *callitris*, il est appelé également *callitris articulata*, *thuya articulata*, *tetraclinis articulata*, *thuya de l'Afrique du nord*.

En arabe il est appelé Arar comme le cyprès et les genévriers qui ont le même feuillage. En berbère : Azouka (**Seigue, 1985**)

Il fait partie de :

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous- Embranchement : Gymnospermes
- Classe : Conifères
- Ordre : Coniférales
- Sous- ordre : Taxales
- Famille : Cupressacées
- Genre : *Tetraclinis*
- Espèce : *Tetraclinis articulata*.

Synonymes :

- Nom latin : *Callitris quarivalvis* Vent ;
- Nom français : Thuya de Berbérie, Thuya de Maghreb ;
- Nom arabe : Arar. (Figure 6)

2.2. Origine de l'essence :

Tetraclinis articulata est un arbre isolé dans l'hémisphère septentrionale, alors qu'il a une trentaine de parents dans l'hémisphère Australe, il est le dernier survivant de forme qui s'étendaient jusqu'au Groenland à l'époque du jurassique, et qui peuplaient encore l'Europe occidentale au tertiaire (Maire, 1952).



Figure 6 : *Tetraclinis articulata* (Cherif, 2012)

2.3. Les caractères botaniques :

Les caractères botaniques du Thuya de Maghreb ont été décrits déjà par (Boudy ,1952) :« Le Thuya est un résineux à feuillage léger et persistant, dans sa jeunesse son port est pyramidal, les feuilles sont réduites en écailles opposées et imbriquées par deux, les fleurs en chaton, situées à l'extrémité des rameaux. Le fruit est un cône d'allure cubique s'ouvrant par quatre valves sous l'effet de la chaleur, libérant ainsi six graines ailés ».

Les tetrakènes fructifères ont 5 à 6 mm de diamètre, rouge brun à maturité. Son écorce est mince, lisse, sombre et riche en tanin.

Tetraclinis articulata est une essence monoïque qui dépasse rarement 6 à 8 m de haut et 0,30 m de diamètre en moyenne. Il existe néanmoins quelques peuplements

difficiles d'accès où les dimensions peuvent être plus importantes (12 m pour 0,50 m). Quelques vieux sujets allant jusqu'à 20 m de haut pour 1 m de diamètre, ont été observés, mais cela reste très rare (arbre marabout) (**Hadjadj, 2009**).

L'arbre fleurit en automne (octobre) et fructifie l'été suivant (juin-juillet). Cette fructification démarre vers l'âge de 15 ans et se répète tous les deux à trois ans jusqu'à un âge très avancé (**Boudy, 1952**).

L'ouverture des cônes, qui reste comme pour beaucoup d'espèces conditionnée par la chaleur, n'a lieu qu'à la fin de l'été. La production de graines de cette essence est relativement bonne voire très bonne (100 000 graines/kg) et le problème de sa régénération naturelle ne semble pas être freinée par la quantité de semences produites (**Hadjadj, 2009**).

La longévité des semences est d'après **Emberger (1938)** et **Greco (1966)** de 6 à 8 mois. Cependant, les graines stockées à l'obscurité et en ambiance sèche gardent une bonne capacité germinative allant jusqu'à 20 mois environ.

La dissémination de ces graines reste assez limitée et le plus gros des semences se retrouvent au pied même de l'arbre contrairement au Pin d'Alep beaucoup plus expansionniste (**Acherar, 1981**).

D'autre part, les plantules sont très semblables à celles du Pin d'Alep, avec lesquelles d'ailleurs elles peuvent être confondues. En effet, toutes deux présentent durant la première année de petites feuilles en aiguilles de un centimètre environ. Ce n'est que plus tard que les petites feuilles de la plantule du Thuya s'imbriquent telles des écailles par quatre pour donner de petits rameaux articulés caractéristiques. Cela donne un feuillage très léger et ainsi le couvert du thuya reste suffisamment lumineux.

Par ailleurs, nous rappelons que le *Tetraclinis articulata* est un des rares résineux à rejeter de souche et ce jusqu'à un âge très avancé, 400 ans environ selon (**Boudy, 1952**). C'est ce qui donne la physionomie de taillis à ses peuplements et a sans doute contribué de manière significative à son maintien dans les massifs boisés nord-africains.

2.4. Aire de répartition du *Tetraclinis articulata* :

Selon **Rikli (1943)** et **Quézel (1980)**, le Thuya est une espèce endémique de l'Afrique du Nord, et en particulier des pays du Maghreb.

Le *Tetraclinis articulata* est une essence à peu près exclusivement Nord-Africaine, dont l'intérêt écologique et économique est remarquable. (**Quézel, 2000**).

Le *Tetraclinis articulata* a une aire de distribution limitée à l'Afrique du Nord exception faite d'un petit peuplement à Malt et d'un autre dans l'extrême Sud- Est de l'Espagne (**White, 1986**).

Le *Tetraclinis articulata* est essentiellement présent au Maroc atlantique, où il occupe une vaste surface, mais aussi en Oranie, littorale et sur le Cap Bon en Tunisie, (**Quézel, 2000**).

Au Maroc :

D'après **Benabid (1976)** et **Fennane (1987)**, l'aire de répartition du Thuya est subdivisée en six grandes zones : zone Rifaine, zone du Maroc oriental, zone du moyen Atlas oriental, zone des vallées du plateau central, zone du moyen Atlas occidental et haut Atlas, (piémonts Nord Atlasique, Revers Sud du haut Atlas, région d'Essaouira, haut Atlas occidental), et zone de l'anti Atlas.

Au Maroc il occupe d'après **Benabid (1976)**, une superficie de 725000 ha, dont l'aire actuelle de répartition est d'environ 607900 ha. Le *Tetraclinis articulata* est généralement localisé dans les étages semi-arides océanique et maritime, entre le niveau de la mer et 1500 m.

On trouve de vastes forêts à *Tetraclinis articulata* dans l'inter land entre Essaouira et Agadir, au dessus de la formation broussailleuse à arganier et dans les vallées du cours supérieur des rivières dans l'arrière pays de Rabat et Casablanca. (**White, 1986**).

En Tunisie :

Les forêts naturelles sont composées essentiellement de Pin d'Alep, de Chêne liège, de Chêne zeen, et de Pin maritime, avec d'autres essences forestière, de grandes valeurs écologiques, telle que le Chêne vert, le Chêne kermès, le Thuya...etc.

En Tunisie, le *Tetraclinis articulata* ne couvre que 30000 ha (**Boudy, 1950**), depuis les collines du Nord- Est jusqu'à une ligne allant de Bizert au mont de Zaghouane et à Hammamat (**Maire, 1952**).

Il pousse sur le calcaire, la silice, et même sur les terrains gypseux à condition qu'il soit bien drainé (**Elhamrouni, 1978**).

Son aire bioclimatique semble plus étendu puisqu'on le trouve depuis l'étage aride dans ses variantes douce, tempérées ou fraîches jusqu'au niveau supérieur du subhumide tempéré et doux (**Fennane, 1987**).

En Algérie :

Il apparait ici dans le prolongement de son aire Marocaine. En effet il est surtout dans l'Algérie Nord- occidental.

Selon (**Quézel et al., 1962, 1963**), ont mentionné que le Thuya est très commun dans le secteur Oranais, assez commun dans le secteur Algérois et dans le sous secteur des hauts plateaux et il est très rare dans le grand Kabylie.

En Oranie, dans le tell occidental, il se substitue nettement au Pin d'Alep dans de nombreuses stations et forme des peuplements purs et homogènes (**Letrech Bellarouci, 1991**).

L'aire Algérienne du Thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*) évaluée à 161000 ha par (**Boudy, 1950 in Hadjadj, 2009**), a beaucoup reculé sans que ce recule soit clairement expliqué (**Figure 7**)

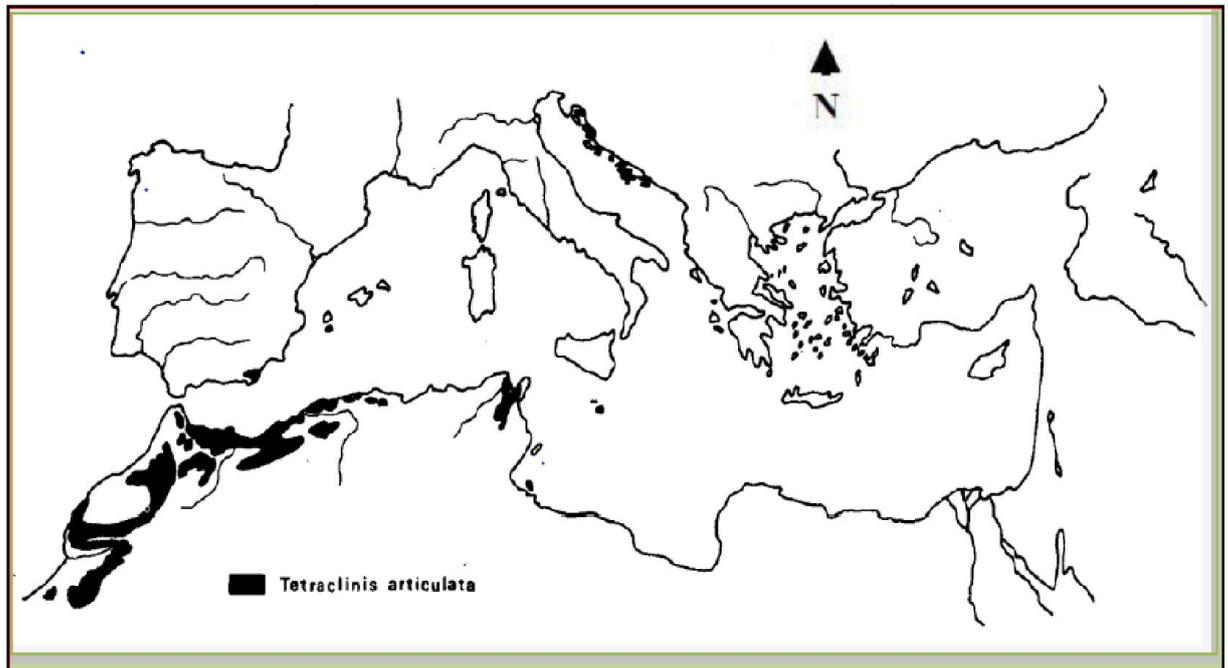


Figure 7 : La répartition du Thuya de Berberie dans le bassin méditerranéen (Arahou, 1986)

2.5. Écologie du Thuya :

Le Thuya a depuis longtemps été considéré comme essence forestière de second ordre, malgré sa vitalité physiologique et sa longévité, sa résistance remarquable aux différents facteurs de dégradation, sa faible exigence écologique vis-à-vis de la nature du sol et des précipitations.

2.5.1. Altitude :

C'est plutôt une espèce de plateaux de basse et moyenne montagne. En Algérie le thuya existe en altitude maximale de 1400 m en montagne sèche (Djebel Reouirat). Sa limite altitudinale supérieure est de 1800 m au Maroc. Cependant sa limite inférieure reste très variable, il peut descendre jusqu'au niveau de la mer (Mostaganem).

2.5.2. Conditions climatiques :

Le thuya est une essence de lumière thermophile et xérophile caractérisée par ses faibles exigences en eau 300 à 500 mm/an (Quézel, 2000).

Le froid, surtout le froid humide l'empêche de s'élever plus haut (White, 1986). Dans la partie occidentale de la région méditerranéenne, la forêt de Thuya est

certainement le groupement végétal le plus caractéristique de l'étage semi aride (**Emberger, 1930**).

D'après **Benabid (1976)**, le Thuya est une essence thermo- xérophile est liées aux bioclimats de types semi aride chaud, tempéré ou frais et subhumide tempéré ou frais.

Au Maroc, son aire bioclimatique semble plus étendue, puisqu'on le trouve depuis les niveaux de l'aride dans les variantes douce, tempéré, et fraîche jusqu'au subhumide doux et tempéré d'après **Fennane (1987)**, Il se trouve dans l'aire supérieure sous un état mal venant largement dominé par des espèces plus xérophiles : *Argania spinosa*, *Acacia gumnifera*, et *Stipa tenacissima*.

Si les influences océaniques favorisent le développement de cette essence, le froid l'élimine surtout avec l'augmentation de l'humidité de l'air. En effet, la situation géographique du Maroc est assez originale. Ses deux façades maritimes et ses altitudes nettement plus élevées, confèrent à ce pays un éventail de situation bioclimatique très diversifiées et favorable au Thuya.

En Tunisie, le Thuya s'observe dans la variante à hiver doux du semi aride inférieur jusqu'au subhumide (**Le Houerou,1995 ; El Hamrouni et al,1978**).

En Algérie, le Thuya occupe essentiellement l'étage semi aride, étage le plus répandu d'ailleurs en Oranie. Il peut déborder dans le subhumide à la faveur de l'altitude ou à latitude sensiblement plus élevée de l'Algérois plus humide (**Hadjadj,1988**).

Le Thuya de Berbérie a été observé dans différents secteurs où la pluviométrie se situe entre 300 et 700 mm /an. Du fait que les valeurs de 600-700 mm n'intéressent pas de grandes étendues (Algérois), (**Hadjadj,1995**) a signalé que son optimum devrait se situer entre 300 et 500 mm /an (valeur du littoral oranais).

2.5.3. Conditions édaphiques :

Le Thuya se rencontre sur les sols les plus secs et les plus pauvres, mais il semble cependant préférer le calcaire, plus sec, il redoute les sables mobiles mais pousse bien sur les dunes fixes (**Boudy,1952**).

En Tunisie, le Thuya pousse sur le calcaire, la silice et même les terrains gypseux à condition qu'il soit bien drainé (**El Hamrouni, 1978**).

Sur les sols calcaires, il est accompagné par *Rosmarinus officinalis*, *Gglobularia alypum*, sur les grès de l'oligocène, il vient avec *Lavandula stoeckas*, *Genista aspalatoides* et *Cistus salvifolus* (**El Hamrouni, 1978**).

En Algérie, on le rencontre sur tous les étages, sur le crétacé, dans les régions de l'Ouarsenis et ténès, sur le Jurassique dans celles de frenda, Saida et Tlemcen. Sur le quaternaire et pliocène dans celle de Mostaganem (**Boudy, 1950**).

-Les sols défavorables au *Tetraclinis articulata* :

Tout d'abord, le Thuya est nettement exclu des sols halomorphes très répandus en Oranie où ils viennent border les sebkhas. Ces zones n'accueillent qu'une végétation herbacée, le plus souvent une strate arbustive largement dominée par *Atriplex halimus* et le seul arbre qui supporte le sel reste le tamarix : *Tamarix gallica* et *Tamarix africana*. En dehors des conditions de salinité de ces milieux qui sélectionnent une végétation type, les conditions d'hydromorphie à leur tour ne permettent pas l'installation de thuya.

On peut distinguer trois types de peuplements du *Tetraclinis articulata* : la vieille futaie, les taillis et les peuplements mélangés.

La vieille futaie :

Ce sont des peuplements très clairs, renferment un certain nombre de vieux arbres isolés d'un diamètre de 40 à 60 cm âgés de 200 à 300 ans. (**Boudy ,1950**).

Les reboisements de cette catégorie sont rares en Algérie, où on trouve quelque un dans la région de Tlemcen, ils sont plus communs au Maroc.

Les taillis :

C'est la forme la plus commune en Algérie du Nord où d'après (**Boudy ,1952**), la plupart de ces taillis proviennent des incendies antérieurs, définissant des peuplements de type jeune ne dépassant pas 25 à 30 ans.

Les peuplements mélangés :

Le Thuya a toujours tendance à former des peuplements purs, lorsqu'il déborde de son aire, le pin d'Alep, le chêne liège et le chêne kermès. Le mélange le plus commun est celui du thuya et des essences secondaires comme le *Pistacia lentiscus*, *Olea europea*. (Boudy, 1952).

2.6. La régénération du Thuya :

La régénération est le mode de reproduction d'un peuplement forestier. Elle peut être naturelle à partir de semences ou de rejets, ou artificielle par semis ou plantations.

Pour toutes les espèces et en particulier pour les essences forestières, la régénération naturelle est d'une façon générale sous la dépendance de nombreux facteurs que nous pouvons regrouper en deux types : les facteurs endogènes et les facteurs exogènes.

Les facteurs endogènes sont ceux liés à l'essence elle-même et relèvent ainsi de l'ordre du vivant c'est-à-dire de ses qualités biologiques. Il s'agit là de la phénologie de l'arbre, le type de peuplement, la fructification, la quantité et la qualité des semences, le pouvoir de dissémination, la capacité de germination, ... etc. Ces facteurs sont du ressort des caractéristiques intrinsèques de l'espèce. Les facteurs exogènes sont ceux liés à l'environnement de l'espèce d'une manière générale. Ces facteurs peuvent être rangés en deux catégories : les facteurs abiotiques et les facteurs biotiques.

Parmi les facteurs abiotiques, nous citerons le climat régional, le substrat géologique, l'exposition, l'altitude, la pente ainsi que les conditions édaphiques (type de sol, litière, tassement, profondeur...). Enfin les facteurs biotiques de l'environnement sont représentés par les différents prédateurs dont les insectes, les oiseaux, les rongeurs, les mammifères sauvages, l'homme (coupe, incendie, délits, divers...) et ses troupeaux (broutage des semis, tassement du sol...). (Hadjadj, 2009).

Les peuplements du Thuya semblent ne se régénérer que par multiplication végétative c'est-à-dire par rejets (phénomène rare chez les gymnospermes) et seraient

donc caractérisés par une régénération naturelle déficiente en semis au vu de l'importante quantité de semences produites. (**Hadjadj ,2009**).

Malgré que la fructification de l'arbre est suffisamment abondante, la régénération par voie sexuée est irrégulière, cette irrégularité tient vraisemblablement à la nature de substratum (**Boudy ,1952**).

L'influence du pâturage est fort néfaste aux jeunes plants, ce qui rend la régénération naturelle par semis aléatoire et très faible. Tandis que, la régénération par voie végétative est importante, c'est l'un des rares résineux capables de rejeter des souches.

Selon **Boudy (1952)**, le Thuya a une faculté d'émettre vigoureusement des rejets des souches jusqu'à un âge très avancé, 250 ans.

Actuellement c'est l'unique mode de régénération appliqué aux tetracinais au Maroc (**Dref ,2002**). C'est ce qui donne la physionomie de taillis à ces peuplement et sans doute contribuer de manière significative à son maintien dans les massifs boisés Nord- Africains.

Dans les maquis de Thuya la très bonne régénération est due à l'abri qu'offrent les arbres et les arbustes au semis et qui permet d'atténuer le stress hydrique (**Hadjadj ,1995**). Entre les buissons (lavande, cistes, et romarin), la régénération du Thuya semble mieux se réaliser que dans les vides et les petites clairières où le sol est nu. En effet ce type de couvert vient atténuer sensiblement le dessèchement des surfaces et permet ainsi aux semences et aux jeunes plants de trouver une certaine humidité.

2.7.Utilisation de Thuya :

Le Thuya surnommé au XVIIème siècle « arbre de vie » en raison de la valeur médicinale attribuée à sa résine balsamique. L'extrait de cette résine augmente la tension artérielle et baisse la fièvre. Le feuillage a un parfum balsamique. (**Ayache ,2007**).

Boudy (1950) indique qu'au Maroc, les indigènes de la région de Hada (Sud-Ouest du Maroc) ont pratiqué le gemmage de Thuya, pour en tirer la sandaraque, employée en pharmacie et dans les vernis de luxe.

En effet, la sandaraque est un produit physiologique de Thuya de Maghreb, il est obtenu par incision dans le tronc et les branches, il se solidifie rapidement en contact de l'air, ce produit est utilisé dans la laque, vernis, tandis que de petites quantités sont utilisées dans la parfumerie.

Le taux de résine dépend des conditions édapho-climatique de son développement **(Maatoug ,2003)**.

Le goudron végétal de Thuya, préparé par distillation des racines, et du collet, utilisé en pharmacie vétérinaire **(Benabid ,1976)**.

Le Thuya est un bois résineux parfait, rouge, très lourd, dégageant une odeur vive **(Lapie et Maige,1914)**.

D'après **Boudy (1950)**, le Thuya par ses qualités exceptionnelles, fournit un excellent bois d'ébénisterie, il se travaille et se polit très bien.

Son utilisation dans les reboisements n'est pas très importante du fait de sa faible vitesse de croissance au cours des premières années. Il pourrait cependant convenir dans les travaux de D.R.S, car il peut s'accrocher à même la roche sur les pentes les plus fortes, grâce à son système racinaire sére et pivotant. **(Ayache,2007)**

Au Maroc, le Thuya joue un rôle considérable dans la protection des sols. En effet, cette espèce constitue des peuplements dans les conditions très difficiles comme les dunes d'Essaouira d'autres régions montagneuses où les peuplements du thuya assurent la protection contre l'érosion éolienne et pluviale **(Dref,2002)**.

La tetracinaie a un rôle important dans la production du miel, car la richesse de tetracinaie en lamiacées (*Thymus subsp*, *Artemisia subsp*, *Lavandula subsp*, ...etc) permet un rendement élevé en nectar, ce qui donne au miel qui en résulte une excellente qualité.

2.8.Association du Thuya :

L'appartenance des groupements forestiers et pré forestières, individualisés pour le Thuya de Berbérie à la classe des Quercetea ilicis ne pose aucun problème après les travaux de **(Achhal et al,1980)**, **(Barbero, Quezel, Rivas Martinez,1981)**, **(Benabid1982)** et **(Fennane, 1987)**.

A l'intérieure de cette classe, les formations à Thuya caractérisent essentiellement les aspects prés forestiers des paysages Ibero-Maghrebins (**Rivas Martinez,1974**).

A ce niveau, elles développent une grande variété de groupements potentiels (**Quezel et Barbaro, 1986**).

La callitraie est une association éminemment thermophile et xérophile. Elle se développe dans des conditions climatiques et édaphiques analogiques à celle du pinetum halpensis. Elle est toutefois moins résistante au froid surtout humide; ce qui l'élimine le plus souvent des montagnes de l'intérieur. Il lui faut des expositions chaudes (**Boudy, 1950**).

Les espèces caractéristiques de la Tétracлинаie sont essentiellement : *lavandula, multifida, Cistus Villosus, Teucrium, Ebennus pinata, Osyris lanceolata*.

Le même auteur cite les espèces les plus communes dans les plus communes dans le sous bois des callitraies :

Bloc oriental (Oranie et Maroc oriental et rifain) .

Pinus halepensis Rosmarinus tournefortii

Olea europea Rosmarinus officinalis

Ceratonia siliqua Globularia alypum

Pistacia lentiscus Cistus ladaniferus

Quercus coccifera Ampelodesma mauritanicum

Rhamnus alaternus Stipa tenacissima

Arbutus unedo Erica multiflora

Withania frutescens Lonicera implexa

Phillyrea Media Lavandula dentata

Calycotome intermedia Anthylis cytisoides

Bloc méridional et central :

Euphorbia resinifera Faxinus dimorpha

Genista ferox Cistus monspeliensis

Lavandula stoechas Rhus pentaphylla

Periploca laevigata Pistacia atlantica

Cistus salvifolius Stipa tenacissima

L'association du Thuya se rapproche beaucoup de celle du Pin d'Alep sauf par l'absence des plantes indicatrices aussi caractéristiques que le *Rosmarinus officinalis* et *Globularia alypum*.

Alcaraz (1982) et **Fennane (1988)** ont décrit deux groupements à Thuya sur la végétation de l'Ouest Algérienne :

- Groupement sur sols calcaires au semi-aride supérieur chaud, qui s'est distingué par leur richesse en *satureja fontanesii*, *Arisarum vulgare*, *Asparagus stipularis* et *Withania frutescens*.
- Groupement avec abondance de *Quercus coccifera*, *calycotome intermedia*, *Ampelodesma mauritanicum*, *Chamaerops humilis*, *Ceratonia siliqua*, *Lavandula steochas* et *Lavandula dentata*.

Au Maroc, des groupements locaux de la tétraclinaie de l'Amsittène ont été décrit par **(Benabid ,1976)**, Ces derniers sont caractérisés par une végétation très spéciales montrant un mélange d'éléments endémiques tropicaux, Macaronésiennes et Méditerranéens.

- Au niveau du sous- étage Eu –méditerranéen dans la série du chêne et du thuya :
- Un groupement *Quercus ilex* et *Arbutus unedo*,
- Un groupement à *Tetraclinis articulata* et *Cistus villosus*,
- Un groupement acidiphile à *Halimium halimifilium* et *Cistus salvifolius*.
- Un groupement à *Tetreclinis articulata* et *Salvia interructa*.

Ces quatre groupements appartiendraient aux *Pistacio-Rhamnetalia alaterni*.

- Au niveau du sous- étage Thermo –méditerranéen supérieur dans la série normale du Thuya :
- Un groupement à *Tetraclinis articulata*, *Olea europea* et *Pistacia lentiscus*,
- Un groupement à *Tetraclinis articulata* et à herbacées,
- Un groupement à *Tetraclinis articulata* et *Genista tricuspidata*.
- Un groupement à *Tetreclinis articulata* et *Globularia alypum*,
- Une association rupicole à *Teucrium rupestre* et *Sonchus pinnatifidus*.

– Au niveau du sous- étage Thermo –méditerranéen inférieur dans la série mixte du Thuya et de l'Arganier :

- Un groupement à *Tetraclinis articulata* avec *Gymnosporia senegalensis* et *Periploca laevigata*,
- Un groupement à *Tetraclinis articulata*, *Argania spinosa* et à herbacées,
- Une association à *Tetraclinis articulata*, *Argania spinosa* et *Lavandula dentata*,
- Un groupement saxicole à *Tetraclinis articulata*, *Argania spinosa* et *Warionia saharea*,

Ces communautés s'intégraient dans les éventuels *Tetraclinido-Arganietalia*.

– Au niveau du sous-étage Infra-méditerranéen supérieur dans la série du thuya et de l'arganier :

- Un groupement à *Tetraclinis articulata*, *Argania spinosa* avec *Genista tricuspidata* et *Lavandula dentata* Celui-ci appartiendrait aux *Tetraclinido-Arganietalia*.

Aime (1991) a lié les tetraclinaies du littoral Oranais à l'association calicotomo-*Tetraclinium articulata* (**Baebéro et al, 1981**) et plus précisément à la sous associations *Tetraclinetosum*, variante à *lavandula dentata* de (**Quezel et al, 1988**) qui s'intègre dans l'association. Quand à (**Hadjadj , 1995**), il distingue trois sous associations au sein de cette association :

– *Eriocetosum arborea* : qui se distingue par un cortège floristique à dominante calcifuge et en particulier *Erica arborea* et *Arbutus uneda* ; Il semble avoir des relations avec les quelques rares subéraies du littoral.

– *Daphnetosum gnidii* : s'individualise par *Daphne gnidium* et *Arisarum vulgare* et la présence quasi constante de *Brachypodium ramosum* qui est une excellente caractéristiques de la Tétracлинаie d'après **Alcarz (1969)**.

– *Oleetosum sylvestris* : le cortège floristique à peu près le même que celui des deux sous associations précédentes mis à part *Olea europea* var. *sylvestris* qui est plus fréquentes.

Une autre association *Erico arboreae-Myrtetum communis* (Quezel et al ,1988) se développe sur les substrats gréseux, sableux ou schisteux en majorité décarbonatées, situé principalement entre la région de Sidna Youchaa et Honaine.

Cette association est décrite par **Hadjadj (1995)** comme un maquis arboré ou la strate arborescente est occupé par le Thuya ou le Chêne liège à un degré moindre. La pénétration du Thuya est considérée comme signe de dégradation des chênaies du littoral.

L'originalité floristique de ce groupement réside dans la combinaison très particulière d'*Erica arborea* et *Tetraclinis articulata* et la coexistence pied à pied des espèces de bruyères de comportement écologique différentes, *Erica arborea*, (calcifuge stricte) et *Erica multiflora* (calcicole).

Ces associations montrent qu'on est dans l'air de la Tetraclinaie ou le Thuya trouve son optimum écologique

Cette dégradation engendre le plus souvent des matorrals ou dominant les chamaephytes et qui se rattachent à la classe des *Ononido Rasamrinetea* où s'individualise deux associations d'après les travaux de (Quezel et al ,1988), (Aime ,1991) et (Hadjadj ,1995).

– **Lavandulo dentata –Ericetum multiflora:** est représenté par des matorrals arborés où *Erica arborea* et *Lavandula dentata* sont constamment présentes et elle présente deux faciès (Hadjadj ,1995) :

- Faciès liés au substrat marnocalcaire : il est différencié par *Genista tricuspiata*, au sein de laquelle, *Rosmarinus tournefortii*, *Bupleurum balansae* et *Cistus sericeus* sont les mieux représentées.
- Faciès sur substrat sableux et siliceux : se différencié par un aspect pré forestiers avec *Juniperus phoenicea*, *Arisarum vulgare*, *Ampelodesma mauritanicum* et *Quercus coccifera*.

– *Ruto chalepensis –Cistetum heterophylli:* ce groupement présente une physionomie de matorral arboré, piqueté de *Tetraclinis articulata* et *pistacia lentiscus* accompagnées des espèces suivantes : *Cistus heterophyllus* ,*Rosmarinus*

officinalis, *Globularia alypum*, *Fumana thymifolia* et *Stipa tenacissima* (**Hadjadj, 1995**)

Hadjadj (1995), a distingué quatre faciès dont un seul présent au niveau du littoral des Traras. Ce faciès est différencié par *Genista umbellata* et *Juniperus phoenicea* indiquant la proximité de la mer.

Il s'agit de *Helianthemo caput -felis-Cistetum heterphyllie*, Cette cistaie occupe essentiellement les substrats carbonatés à encroûtement peu compact et elle dérive du *Calicotomo intermedia-tetraclinetum articulatae* et semble représenter le faciès de dégradation de toutes les Tetraclinaie du littoral Oranais (**Quezel et al, 1988**).

Sur les versants sud littoraux oranais mais aussi dans l'Algérois, (**Hadjadj, 1991**) a décrit une association *Rhuo pentaphyllae -Tetraclinetum articulatae* qui réunit côte à côte le thuya et le pistachier de l'Atlas vers 700 m d'altitude à Ouled Mimoun et les monts de Tlemcen. Mais également, nous avons signalé cette association à Maghnia (400m d'altitude). Elle est considérée comme un groupement des plus xérophiiles et la vicariante de l'association Marocaine (*Rhuo pentaphylla -pistacietum atlanticae*).

2.9.Menace :

Le Thuya de Berberie reste une espèce menacée sous l'effet de la pression humaine et animale et surtout les incendies. Les formations qu'il constitue connaissent actuellement une régression alarmante, malgré le pouvoir de régénération exceptionnel par rejets de souche, de l'espèce (**Adda-Hanifi et al, 2008**).

CHAPITRE II :

LA DENDROCHRONOLOGIE

1. Introduction :

La croissance radiale de l'arbre intègre les variations climatiques annuelles à travers ce que l'on pourrait appeler le filtre environnemental. Ce concept est introduit très tôt en dendrochronologie (**Fritts, 1976**), pourtant peu de travaux y sont consacrés.

Il est relativement facile de connaître l'âge du bois en comptant les anneaux de croissance. Mais les cernes gardent aussi la trace des événements importants qui ont marqué la vie d'un l'arbre. Leur épaisseur témoigne notamment des variations climatiques qui ont affecté à un moment ou à un autre sa croissance : plus les conditions sont néfastes, plus les cernes sont étroits, plus les conditions sont favorables, plus les cernes sont larges.

L'épaisseur des cernes dépend des conditions climatiques, environnementales et saisonnières (par exemple : crues, sécheresses, attaques parasitiques, disponibilité d'eau et de lumière, foudres, et même tremblements de terre. On peut donc reconstituer les conditions climatiques en étudiant l'épaisseur relative des cernes: c'est le principe de la dendrochronologie.

La dendrochronologie est une méthode scientifique qui utilise ces fluctuations dans la croissance des arbres pour faire des datations. Elle peut être utilisée dans toutes les régions où la croissance des arbres est rythmée par les saisons. Ainsi, toutes les essences d'arbres produisant des cernes annuels de croissance sont analysables (**Berger et al, 2007**).

En général, les résineux sont des espèces sensibles aux variations des conditions de croissance, alors que les feuillus, comme le chêne, produisent plutôt des cernes de largeur peu variable (**Schweingruber, 1988 in Dagneau et al, 2007**).

L'application de la dendrochronologie intéresse non seulement les historiens, historiens de l'art, archéologues et architectes, mais aussi les acteurs des études paléo-environnementales, tels que les forestiers, les écologues, les géologues et les climatologues (**Munaut, 1979**).

2. Définition :

Le terme dendrochronologie vient du grec dendron (arbre), kronos (temps) et logos (discours).

La dendrochronologie est une science qui repose sur la mesure des largeurs de cernes annuels de croissance des arbres et sur leur datation précise., c'est-à-dire sur un critère facilement mesurable du taux annuel de croissance de l'arbre. C'est la science qui utilise les fluctuations de la croissance des arbres pour mesurer le temps (Stokes et Smiley, 1968 ; Fritts 1976 in Pérignon, 2006).

Donc les cernes annuels de croissance des arbres constituent le point de départ de la dendrochronologie.

En règle générale, l'arbre produit chaque année un anneau dont la largeur de croissance est influencée, selon l'espèce, par le degré de précipitation, l'ensoleillement, la température, la nature du sol et toutes les conditions ambiantes (concurrence, attaques de ravageurs, action de l'homme, etc.) (Schweingruber, 1993 ; Fritts, 1976 in Dagneau *et al*, 2007).

3. Domaines d'étude de la dendrochronologie :

Bien qu'au XV^{ème} siècle, Léonard de Vinci s'intéressât déjà aux cernes, c'est le physicien et astronome américain A.E. Douglass qui, au début du siècle, posa les bases de la dendrochronologie moderne. (Lebourgeois, 1997)

D'abord principalement utilisé dans des disciplines telles que l'archéologie ou la climatologie pour la datation précise d'arbres « fossiles » ou la reconstruction du climat passé, cet outil est de plus en plus utilisé pour étudier l'environnement et détecter ses changements. Cette approche a d'ailleurs été essentielle dans la compréhension des dépérissements forestiers observés dans les années 1990 aussi bien en Europe qu'en Amérique du Nord.

A l'heure actuelle, sous le terme dendrochronologie sont regroupées toutes les disciplines qui utilisent directement ou indirectement l'information « date » contenue dans une série chronologique de cernes. Ces disciplines concernent aussi bien la climatologie (on parle alors de dendroclimatologie) que l'écologie (dendroécologie) ou encore la chimie (dendrochimie), et sont étroitement liées les unes aux autres... (Lebourgeois, 1997).

Selon Berger *et al* (2007) la dendrochronologie est une science interdisciplinaire, et sa théorie et ses techniques peuvent être appliquées à de nombreuses applications, elle englobe plusieurs disciplines (tableau 2).

Tableau 2 : Les domaines d'applications de la dendrochronologie. (Lebourgeois, 1997)

Domaine	Discipline	Applications
Écologie	Dendro-écologie	Historique des feux, dépérissement des forêts, dynamique et croissance...
Climatologie	Dendroclimatologie	Périodes de froid et de sécheresse, reconstruction du climat passé, analyse du climat présent...
Géologie	Dendrogéomorphologie	Eruptions volcaniques...
Anthropologie	Dendroarchéologie, Dendroglaciologie	Datation des constructions anciennes, arbres fossiles, monuments historiques...

Toutes ces disciplines ont en commun d'utiliser le passé pour mieux comprendre le présent afin de mieux comprendre les processus environnementaux influençant le comportement des arbres et des peuplements et de mieux appréhender les évolutions futures. (Lebourgeois, 1997)

4. Introduction à l'anatomie du bois et à la formation des cernes de croissance :

Un rappel du principe de la croissance des arbres en diamètre est présenté en Annexe 1.

Dans les régions où le climat impose à la végétation une période d'activité et une période de repos au cours d'une même année solaire, les arbres élaborent, chaque année, au cours de la période d'activité, au niveau de leurs troncs, branches, rameaux et racines, un cerne de croissance. La formation des cernes se fait grâce au cambium, C'est une couche constituée de cellules génératrices et située sous l'écorce. Ce méristème secondaire produit le bois d'aubier vers l'intérieur et le liber vers l'extérieur du tronc (Guibal, 1998).

Un cerne de croissance est le résultat de la production de bois d'une saison de croissance. Il est *composé de deux régions de cellules plus ou moins distinctes :

- Le bois initial, plus pâle, se forme en début de saison lorsque la disponibilité de l'eau est à son maximum. Les cellules de xylème produites pendant cette période ont un large diamètre et une paroi cellulaire mince.
- Le bois final est produit plus tard dans la saison, et ses cellules plus petites, au lumen plus étroit et à la paroi cellulaire plus épaisse, lui donnent une couleur plus foncée.

À la fin de la saison de croissance, le cambium cesse sa production de cellules et l'arbre entre dans une période de dormance qui ne se terminera qu'au printemps suivant, lorsque le cambium reprendra son activité et produira de nouveau de larges cellules à paroi cellulaire mince. Le contraste entre ce nouveau bois et le bois final de l'année précédente est très évident et facilement identifiable chez les conifères, mais plus difficile à déceler chez les arbres décidus.

Les espèces décidues ne présentent généralement pas de différence marquée entre le bois final et le bois initial de l'année suivante, ce qui rend le discernement des cernes de croissance plus difficile. Il faut parfois avoir recours à l'observation des cellules elles-mêmes pour distinguer les limites des cernes annuels (**Marion, 2005**).

Selon **Guibal (1998)**, l'épaisseur du cerne varie au cours de la vie de l'arbre, en fonction de facteurs internes (génotype, âge) et de facteurs externes (climat, sol, altitude, exposition, topographie, dynamique du peuplement, concurrence, attaque de ravageurs, interventions humaines).

Les variations interannuelles d'épaisseur, reproduites de façon presque semblable sur tous les sujets d'une même essence qui vivent sous les mêmes conditions climatiques, sont surtout liées aux variations interannuelles du climat (précipitations, températures, hygrométrie, vent, enneigement, ...).

Il en résulte que des séquences de cernes particulièrement minces ou affectés de caractères anatomiques originaux, communes à plusieurs arbres, constituent des repères chronologiques capables de synchroniser des séries de cernes, donc de dater de façon relative différentes pièces de bois et de construire des chronologies moyennes de séries contemporaines dans lesquelles les particularités propres aux individus sont atténuées (**Schweingruber, 1988 in Guibal, 1998**). On peut alors, après avoir mesuré l'épaisseur des cernes sous la loupe binoculaire établir une courbe de référence pour une région climatique donnée.

4.1.Cernes diagnostiques :

La plupart des cernes de croissance se ressemblent, mais certains cernes, appelés cernes diagnostiques, se différencient des autres au niveau cellulaire ou macroscopique.

4.1.1. Définition :

Selon **Périgon (2006)**, les cernes caractéristiques sont le reflet de conditions environnementales particulières d'une année. Ils sont utilisés comme marqueur pour l'interdatation. Le terme « *pointer year* » ou cerne caractéristique a été introduit pour la première fois en 1969 par Huber et Giertz-Siebenlist.

Puis, la distinction est faite entre un cerne caractéristique qui est observé dans une seule série et est appelé « *event years* » et un cerne caractéristique qui apparaît fréquemment dans plusieurs séries d'une région particulière et est nommé « *pointer years* » (**Schweingruber et al. 1990 in Périgon, 2006**).

Ces cernes sont essentiels à l'interdatation des échantillons, et ils sont aussi souvent intéressants par eux-mêmes lorsqu'ils révèlent des phénomènes écologiques (**Marion, 2005**).

4.1.2. Exemples de cernes diagnostiques :

4.1.2.1. Cernes de gel :

Ces cernes sont le résultat d'un gel tardif au printemps ou d'un gel précoce à la fin de l'été. Le cambium se trouve affecté par le froid, et quelques rangées de cellules anormales sont produites avant que le cambium ne reprenne son activité normale.

Un cerne de gel est caractérisé par une ou plusieurs rangées de cellules désorganisées à l'intérieur d'un cerne autrement normal (**Marion, 2005**).

4.1.2.2. Faux cernes et cernes pâles :

La présence de faux cernes résulte souvent d'une courte période de croissance défavorable pendant la saison de croissance; l'arbre réagit en déposant quelques couches de cellules à paroi cellulaire plus épaisse, imitant la formation de bois final. Lorsque les conditions redeviennent plus clémentes, la croissance régulière reprend (**Figure 8**).

L'observation de ce cerne suspect par plus fort grossissement confirmera, quoique la paroi de ces quelques cellules soit plus épaisse, que le retour aux cellules à paroi plus mince est graduel, et non très contrasté tel qu'il le serait s'il s'agissait d'une nouvelle saison de croissance.

Pour leur part, les cernes pâles présentent une formation minimale de bois final, rendant la démarcation entre deux cernes plus difficile à détecter puisque la bande de bois final peut être très mince, très pâle, ou même non existante (**Marion, 2005**).

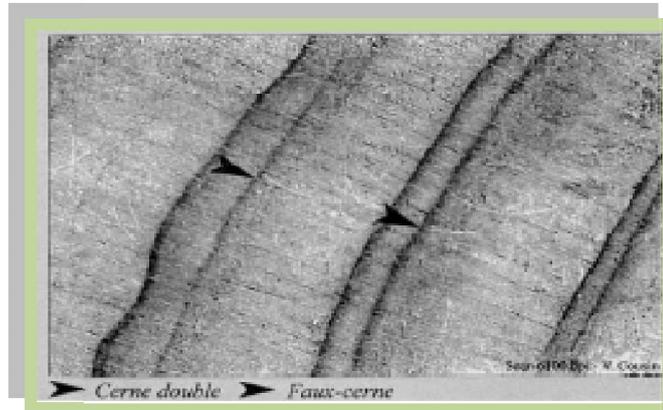


Figure 8 : Cernes doubles de Genévrier Thurifère (*Juniperus thurifera*) (**Bertaudière, 1999 in Lebourgeois, 2010**).

4.1.2.3. Cernes incomplets ou absents :

Selon **De Martin (1974)**, les cernes incomplets sont beaucoup plus énigmatiques encore que les cernes doubles. Il s'agit d'anneaux qui ne ceignent pas complètement le cerne précédent, prenant une forme de croissant (**Figure 9**).

Certaines espèces d'arbres, par exemple le mélèze, sont reconnues pour leur tendance à produire des cernes incomplets ou même absents, la plupart du temps en réaction à une défoliation importante par un insecte défoliateur. L'arbre ne produit alors du bois que sur le côté le moins touché de son feuillage, là où la photosynthèse est encore possible.

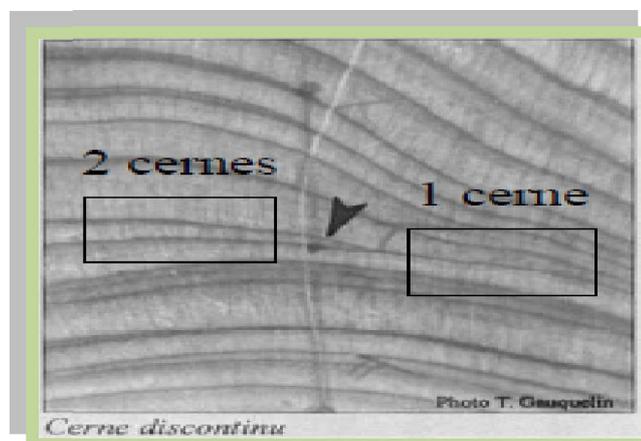


Figure 9: Cerne discontinu ou incomplet (Lebourgeois, 2010).

Les chronologies de référence sont particulièrement utiles pour permettre la détection de cernes manquants, puisque le seul indice qui nous permet de démasquer un cerne manquant est la désynchronisation des cernes diagnostiques qui lui succèdent par rapport à la chronologie de référence (Marion, 2005).

4.1.2.4. Cernes étroits :

Les cernes étroits sont les cernes diagnostiques les plus utiles en dendrochronologie. Cette situation est due à leur présence dans la plupart des arbres d'un même site, ou même d'une certaine région, ce qui permet l'interdatation des échantillons.

Ces cernes étroits étant généralement le résultat des conditions climatiques qui prévalent durant la saison de croissance, on peut déduire par leur observation que les conditions de croissance étaient plus humides/sèches ou chaudes/froides que les conditions optimales pour l'espèce. Par exemple, dans la forêt boréale un cerne étroit correspond habituellement à un été sec ou comportant de nombreux feux de forêt.

Une séquence de cernes étroits peut représenter quelques années de conditions de croissance défavorables, ou encore être le résultat d'une hausse de population d'un insecte defoliateur. Vu que l'insecte ne cause une baisse de croissance annuelle que pour l'espèce hôte, les cernes étroits ne seront présents que chez les espèces ciblées par l'insecte et non les autres espèces, ce qui permettra de distinguer un effet d'une signature d'insecte (Marion, 2005).

5. Les méthodes de la dendrochronologie

5.1. Techniques de prélèvement des carottes

L'analyse de la croissance radiale repose sur le prélèvement dans chaque arbre d'un (ou plusieurs) bâtonnet de bois ou « carotte » sur lequel les cernes annuels de croissance peuvent être identifiés. La représentativité de la chronologie moyenne repose sur le nombre de séries individuelles ayant servi à sa construction. Plus ce nombre est grand et plus les risques de biais relatifs aux variations individuelles et stationnelles sont réduits. (Munaut A.V.1978)

Les arbres échantillonnés sont carottés à coeur généralement à une hauteur de 1,30 m (c'est-à-dire à hauteur d'homme). Trois raisons essentielles pour le choix de cette hauteur :

facilité de prélèvement (par rapport à la base de l'arbre) ; diminution des biais relatifs à l'effet de l'empatement et aux effets de la concurrence initiale subit par les arbres. **(Lebourgeois, 1997)**

Les carottes sont prélevées à l'aide d'une tarière de Pressler (manuelle ou motorisée).. Le carottage est effectué le plus souvent dans une direction quelconque en évitant toutefois les défauts visibles sur le tronc (gélivures, blessures...) et le bois de réaction (compression - tension) dans le cas de forte pente. Dans ce dernier cas, le carottage se fait généralement parallèlement aux courbes de niveau. **(Lebourgeois, 1997)**

Après extraction, les trous de sondage peuvent être rebouchés par une baguette de hêtre préalablement désinfectée au mercurothiolate de sodium (fongicide) et la plaie de l'écorce étanchéifiée par un cicatrisant. Ceci évite l'attaque de parasites ou de champignons. Il est à noter que l'utilité d'un rebouchage est encore à l'heure actuelle discutée. **(Lebourgeois, 1997)**

La limite de l'aubier peut-être notée en observant par transparence la carotte juste après extraction du tronc. La lumière traverse la partie humide de l'aubier (partie du bois dans laquelle circule la sève brute), lui donnant un aspect translucide, et ne traverse pas le bois de coeur (biologiquement inactif).

La distance entre l'écorce et la marque indiquant la limite bois de cœur/bois d'aubier peut être mesurée en mm. Dans des nombreuses études, ce critère simple s'est révélé être un bon indicateur de la vitalité des peuplements. L'aubier peut être noté pour la majorité des espèces (chênes, sapin, pins, épicéa...) excepté pour le hêtre qui ne présente pas de différence nette et systématique de coloration du bois au moment de l'extraction. **(Munaut A.V.1978)**

5.2. Les échantillons des rondelles et leur prélèvement

Il s'agit de tranches découpées horizontalement dans un tronc d'arbre **(De Martin, 1974)**.

La rondelle est prélevée à l'aide d'une tronçonneuse après abattage de l'arbre, hors sève car la croissance annuelle est terminée, le bois est aussi plus sec.

On veillera à réaliser une coupe nette à l'aide d'une chaîne bien affûtée, perpendiculairement au fil du bois. En effet, une surface trop irrégulière demande beaucoup de travail de rabattage pour rectifier et aplanir la surface.

Une épaisseur de 8 à 10 cm de la rondelle est le meilleur compromis car elle est assez épaisse pour la tenir avec les mains lors du ponçage, mais pas trop pour passer sous la binoculaire lors de la lecture.

Cette méthode est destructive, mais lorsqu'elle est possible, elle donne le meilleur type d'échantillon car le cœur est toujours visible. Ainsi, on dispose de la surface maximale pour choisir sans difficulté un ou plusieurs rayons de lecture (**Burnel *et al*, 2009**). (**Figure 10**)



Figure 10 : Les deux types d'échantillons « La rondelle et les carottes » (**Burnel *et al*, 2009**).

5.3. Préparation des échantillons et mesures des accroissements annuels

Avant la mesure des cernes proprement dite, les échantillons doivent être préparés de façon à améliorer la lisibilité des cernes. Il existe plusieurs techniques allant du ponçage avec un papier de verre à grain très fin au planage avec un cutter (**Lebourgeois, 2010**) (**Figure 11**).

Une préparation soignée assure une parfaite observation des moindres détails de la structure du bois, et permet de mettre en évidence d'éventuels cernes très fins. Pour les carottes ne passant pas exactement à la moelle, l'estimation de l'âge de l'arbre est améliorée par une technique facile à mettre en œuvre.

La distance séparant le cœur de l'arbre et le bord interne du dernier cerne mesuré est estimée en superposant à la carotte une mire transparente sur laquelle des cernes concentriques ont été tracés. On recherche alors la position idéale de la carotte sous cette mire en faisant coïncider les rayons de courbure des cernes avec ceux des cercles de la mire

(technique utilisée par l'équipe Écologie e Écophysiologie Forestière, INRA-Nancy). (Figure 12)



Figure 11 : Les étapes d'analyses des éprouvettes de sondages de croissance (Lebourgeois).



Figure 12 : Matériel de lecture de cernes (Mdawar, 2009)

5.4. Représentation schématique :

Une représentation schématique est une représentation graphique, sur un axe des temps, des cernes diagnostiques. Les cernes les plus étroits sont représentés par une ligne verticale plus longue. Les cernes étroits sont les cernes diagnostiques les plus fiables et sont souvent les seuls cernes représentés sur une représentation schématique, mais la présence de faux cernes, de cernes pâles et de cernes de gel peut aussi être notée.

En général, il faut de 20 à 25 échantillons pour établir une chronologie de référence fiable (Marion, 2005).

5.5. Chronologies de référence :

En analysant les anneaux de croissance de nombreux bois, on peut reconstituer globalement pour chaque essence végétale et par région, des indices de croissance année par année pour établir un catalogue de références. Sur un arbre actuel, on part de l'écorce puis on remonte le temps en suivant les cernes.

On mesure chaque cerne et on représente ces mesures par rapport à une moyenne sous la forme d'une courbe pour obtenir une carte d'identité climatique du lieu sur une période donnée.

Les séries de cernes d'arbres différents d'un même site peuvent être combinées afin d'établir une série dendrochronologique. Des séries dendrochronologiques d'arbres morts, bien préservés, peuvent aussi être utilisées pour prolonger la série dendrochronologique vers le passé.

Des comparaisons statistiques entre les séries dendrochronologiques et les données climatiques permettent l'élaboration d'équations qui peuvent être utilisées pour reconstituer les conditions climatiques au-delà des données historiques.

Donc avec la dendrochronologie, des bases de données importantes permettent aux scientifiques de comparer les cernes de nombreux arbres, de construire des cartes des paléoclimats régionaux et de mettre en évidence les dates, lieux et vitesses des changements du climat. Le décryptage de ces archives est indispensable pour pouvoir comprendre comment le climat peut changer dans l'avenir.

6. Les principes de la dendrochronologie

6.1. Le principe d'uniformité

Les processus physiques et biologiques qui gouvernent la croissance des arbres poussant actuellement sont les mêmes que ceux du passé et ont le même type d'action. Le présent est la clé du passé. Dans le cadre des changements actuels de l'environnement, certains chercheurs ont modifié cette phrase en disant « le passé est la clé du futur », c'est-à-dire que la connaissance des conditions environnementales qui ont opéré dans le passé peut permettre de prédire ces conditions dans le futur. **(Cook et Kairiukstis, 1990)**

Cependant, depuis le début des années 2000, certaines études montrent que la sensibilité et la réactivité des arbres aux facteurs environnementaux évoluent. Ainsi, les facteurs qui ont gouverné la croissance dans le passé ne seront peut-être pas les mêmes que ceux qui vont contrôler la croissance dans le futur. Ce problème est connu sous le nom de « Divergence » **(Büntgen *et al.*, 2008 : D'Arrigo *et al.*, 2008).**

6.2. Le principe du facteur limitant

Ce principe énonce que la croissance des arbres et des peuplements ne peut dépasser le niveau permis par le facteur le plus limitant. Ainsi, dans un contexte montagnard de haute altitude, la croissance sera essentiellement limitée par les températures et la longueur de la saison de végétation. Dans les régions arides, ce sont les précipitations qui gouverneront la croissance des peuplements. **(Cook et Kairiukstis, 1990).**

6.3. Le principe de l'amplitude écologique

Une espèce peut pousser, se reproduire et se propager à travers une gamme d'habitats importante ou restreinte. Elle sera plus sensible aux facteurs du milieu en limite de son aire. **(Cook et Kairiukstis, 1990)**

6.4. Le modèle linéaire de croissance

Dans les régions où le climat impose à la végétation des saisons de croissance et des périodes de repos bien marquées, les arbres élaborent chaque année, dans leurs différents compartiments ligneux, un anneau de croissance ou cerne annuel, qui résulte de l'activité

d'une assise génératrice de cellules, le cambium. La largeur est un des principaux paramètres utilisés pour décrire un cerne. Celle-ci va dépendre d'un très grand nombre de facteurs liés à l'arbre lui-même (espèce, âge, concurrence intra- ou interspécifique...) ou à son environnement (type de station, climat, attaque parasitaire, interventions humaines...). **Les largeurs de cernes sont donc des intégrateurs complexes des caractéristiques intrinsèques de l'arbre et de ses conditions environnementales de croissance. (Cook.1987, 1990).**

Classiquement, le cerne élaboré au temps t est considéré comme la résultante d'une combinaison linéaire de plusieurs **signaux** :

$$R_t = A_t + C_t + D1_t + D2_t + E_t$$

- **R_t** représente la largeur mesurée du cerne ;
- **A_t** correspond à l'effet de l'âge d'élaboration du cerne (= âge cambial) sur son accroissement. D'une manière générale, l'arbre élabore des cernes larges dans son jeune âge. Par la suite, ses accroissements sont plus fins puis se stabilisent jusqu'à sa mort.
- **C_t** exprime les effets du climat régional ou local.
- **D1_t** correspond aux conditions stationnelles locales telles que la fertilité du milieu, la sylviculture, les attaques parasitaires, l'alimentation en eau... dont les effets ne sont pas obligatoirement identiques pour tous les arbres du même site (variations microstationnelles).
- **D2_t** intègre les perturbations régionales qui affectent l'ensemble des arbres du peuplement. Ce signal reflète les effets à plus long terme des changements (relativement lents) des conditions environnementales de croissance des arbres. Il prend en compte des modifications du type pollutions atmosphériques (dépôts azotés, pluies acidifiantes, concentrations en ozone...), augmentation de la teneur en CO₂, évolution des pratiques sylvicoles.
- **E_t** est le signal aléatoire caractérisant la variabilité propre à chaque arbre, ou celle non prise en compte par les autres signaux (potentiel génétique de l'arbre, erreurs de mesure...).

Conclusion :

La dendrochronologie par affinement des techniques et méthodes qu'elle utilise semble bien apte à s'intégrer dans différents domaines qui font l'objet des recherches scientifiques (Munaut, 1979).

C'est l'approche multi-espèces et multi-paramètres qui permet de reconstruire la variabilité du climat.

Le point fort de cette discipline étant de traiter des données pour lesquelles le temps et l'espace sont parfaitement contrôlés. Les séries dendrochronologiques peuvent, dans ce contexte, servir à la fois de témoins des variations passées et de référence pour simuler les variations futures.

Comme un livre d'histoire, le bois a consigné la trace des impacts de tout changement de l'environnement qui peut jouer un rôle sur la croissance des arbres.

CHAPITRE III :
PRÉSENTATION DE LA
ZONE D'ÉTUDE

1. Caractères écologiques de la zone d'étude :

1.1. Situation géographique :

La commune de Ain El Hadjar se situe dans les hauts plateaux telliens à 190 km du littoral oranais, et s'étend sur une superficie de 448 Km² ; Elle est encadrée au sud par les hautes plaines steppiques et au nord par l'Atlas du Tell oranais (**Figure13**). Cette commune est traversée dans sa partie Nord Ouest par quelques monts qui appartiennent à la chaîne de montagne de Daia (**Labani *et al*, 2006**).



Figure 13 : Localisation de la commune d'Ain El Hadjar (**Labani *et al*, 2006**, modifiée).

1.2. Topographie et géologie :

1.2.1. Orographie :

En matière d'orographie, deux grands ensembles topographiques dominent :

- Les plateaux qui se localisent à l'est sont représentés par une zone relativement vaste avec une altitude variant de 900 à 1 300 m. Le relief est peu accidenté, les valeurs des pentes sont inférieures à 15 %. Cette zone de plateaux

représente les zones agricoles les plus riches de la région. La céréaliculture représente l'activité la plus dominante.

- Une zone montagneuse à l'Ouest où culminent les djebels d'El Aoun (1 220 m), El Assa (1 228 m) et El Hadid (1 301 m). La région présente aussi un relief relativement accidenté à la forme molle entre coupée par de petits cours d'eau. Les valeurs des pentes varient en moyenne de 5-25 % ou plus. Cette zone montagneuse est caractérisée par la dominance de l'espace forestier où dominant des peuplements de Pin d'Alep et des formations dégradées de Chêne-vert et de Thuya (**Labani et al, 2006**)

1.2.2. Sols :

Les sols de la commune sont dépendants de la morphologie topographique et se classent comme suit (**Brule, 1986 in Labani et al, 2006**) :

- Versants : occupés par des sols minéraux bruts comportant très peu d'éléments friables, à l'origine de sols bruns calcaires ou rouges fersialitiques ainsi que par des sols à dominance argileuse, peu calcaires et isohumiques sur les versants à formation argilo-gréseuse .

- Dépressions et cuvettes : les sols calcimagnésiques dominant. Ils sont caractérisés par une forte proportion de sable dans leur horizon superficiel.

- Plateaux : sols assez diversifiés formant une mosaïque où se distinguent des sols calcimagnésiques, minéraux bruts, fersialitiques et bruns calcaires.

- Terrasses et plaines alluviales : sols peu évolués d'apport alluvial ou colluvial, localement hydromorphe et des sols bruns calcaires.

1.3.Pente :

Cinq classes de pentes ont été retenues pour caractériser le relief de la commune (**Tableau 3**), et définir un découpage pouvant servir de base pour d'éventuels aménagements (**B.N.D.E.R, 1992**).

Tableau 3 : Répartition des classes des pentes dans la commune (B.N.D.E.R, 1992 in Labani, 2006).

Commun	Classe des pentes										Total
	0 - 5%		5 - 10%		10 -15%		15 - 25%		> 25%		
	Superfici	%	Superfici	%	Superfici	%	Superfici	%	Superfici	%	
A. Hadjar	16268	4	12200	3	8134	2	2033	5	2033	5	4066

D'une manière générale, la topographie générale de la commune d'Ain El Hadjar est relativement plane car les classes de pentes inférieures à 10 % occupent environ 70 % de la superficie totale de la commune.

1.4. Hydrologie :

Les ressources en eau se caractérisent par la présence de deux principaux bassins versants avec un écoulement vers le nord, ceux des oueds Tebouda et Bouatrous. Les ressources en eau mobilisable pour la population et l'agriculture se résument à 16 sources naturelles réparties à travers le territoire de la commune avec un débit variant entre 0,5 et 30 L/s et de deux forages assurant un débit moyen de 42 L/s (**Labani et al, 2006**).

1.5. Climat :

Ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée intégrée dans le long terme. La nature des climats joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux. En réalité, il existe une interférence entre climats et composition des communautés, en particulier végétales, propres à un écosystème donné et la nature des sols, d'où le tryptique climat, sol, végétation (**Ramade, 1999 in Kherief, 2006**).

1.5.1. Généralités sur le climat de l'Algérie et de la zone d'étude :

La position géographique de l'Algérie, marquant la transition entre le Sahara et le continent Européen, lui confère un climat contrasté et variable.

Ce climat, relève du régime méditerranéen à deux saisons bien distinctes, une saison estivale sèche et une saison hivernale humide (**Kadik, 1987**).

Sa grande variabilité interannuelle se manifeste par l'alternance de périodes favorables et défavorables persistantes.

D'une manière générale le climat de l'Algérie est caractérisé par la fréquence des pluies durant la période froide de l'année. Il y a coïncidence de la saison sèche et de la saison chaude (Kadik, 1987).

1.5.1.1. Climat régional :

La région de Saida est soumise à l'influence du climat méditerranéen caractérisé par des précipitations irrégulières, et une longue période de sécheresse estivale (Labani, 2006).

1.5.1.2. Climat local :

L'étude du climat local nécessite des données climatiques proches de la zone d'étude. En absence des stations météorologiques plus fiables dans la région et assez représentatives de la commune d'Ain El Hadjar ; nos données proviennent de la station de référence (Rebahia) située à une altitude différente de la zone étude (Figure 14), ce qui nous a amener à faire des corrections de température et de pluviométrie afin de nous rapprocher le plus du climat local.

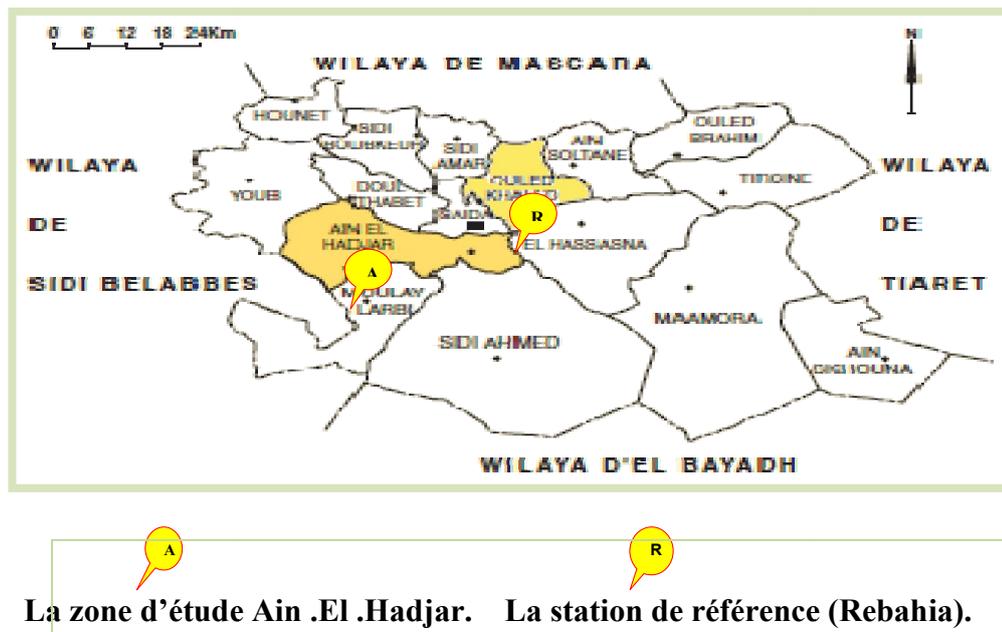


Figure 14 : Carte de localisation de la station de référence (Rebahia) par apport à la zone étude (Labani *et al*, 2006, modifiée).

L'analyse des principales variables climatiques (précipitation, températures...) est définie à l'aide des données fournies par **Seltzer (1946)**, sur une période allant de 1913 jusqu'à 1938 et les données climatiques recueillis au près de la station météorologique de Rebahia sur une période allant de 1978 jusqu'à 2007.

1.5.1.2.1. Corrections des données :

Avant d'entamer les corrections, il est nécessaire de rappeler que théoriquement on a :

- Pour la pluviométrie : une augmentation de 10-15 mm tous les 100 mètres pour la zone à étage bioclimatique semi aride.

- Pour la température : Une diminution de 0.7 °C pour (M) pour 100m d'élévation et une diminution de 0.4 °C pour (m) pour 100m d'élévation.

Ce qui donne un gradient altitudinal croissant pour les précipitations et décroissant pour les températures (**Kherief, 2006**).

1.5.1.2.1.1. Les précipitations :

Pour la grande partie du monde, les précipitations sont un des éléments les plus significatifs du climat et représentent la source principale d'eau : sans eau, la vie n'est pas possible. Elles sont caractérisées par trois principaux paramètres : leur volume, leur intensité, les mois et aussi les années (**Kherief, 2006**). L'unité de mesure utilisée est le millimètre de hauteur de pluie, qui correspond à un volume d'eau de 1 litre par mètre carré.

Les données climatiques ont été recueillis au près de la station météorologique (Rebahia). Pour la période allant de 1978-2007 qui sont représentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles en mm (1978-2007).

(**Station météorologique Rebahia, 2009**).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Total
P (mm)	22	31	35	36	34	36	45	32	25	13	5	13	327

• **Correction des précipitations :**

La station de Rebahia se trouve à 750 m d'altitude, l'altitude de la zone d'étude est à 1005 m (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Les coordonnées géographiques pour les deux stations (Station météorologique Rebahia, 2009).

Station	Latitude	Longitude	Altitude	Wilaya
Ain El-Hadjar	34°45'40"	0°7'14 "	1005 m	Saida
Rebahia	34°55'00"	00°09'00"	750 m	Saida

La différence d'altitude : $1005 - 750 = 255\text{m}$

100m → 15 mm

255m → x $x = 255 \times 15 / 100$

x = 38.25 mm

Pour calculer les précipitations dans la zone d'étude, il faut rajouter à la précipitation de la station de référence la valeur de x :

La précipitation annuelle de la station de référence : 327 mm

$327 + 38.25 = 365.25\text{ mm}$

-calcul de coefficient de correction K :

Pour les corrections des précipitations mensuelles, le calcul du coefficient correcteur (K) s'impose et il sera multiplié par les données mensuelles de la station de référence.

$K = \text{précipitations annuelles de la zone d'étude} / \text{précipitations annuelles de la station de référence.}$

$K = 365.25 / 327 = 1.11$

Les résultats des coefficients sont portés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Résultats des coefficients correcteurs

Moi	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Tota
P	24.	34.	38.	39.	37.	39.	49.	35.	27.	14.	5.	14.	362.

• Comparaison des précipitations moyennes mensuelles entre (1913-1938) et (1978-2007) :

Tableau 7 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles en mm.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Tota
Périod													l
AP	24	35	62	50	54	51	55	35	43	17	02	08	436
NP	24.	34.	38.	39.	37.	39.	49.	35.	27.	14.	5.	14.	362.

AP : Ancienne Période (**Seltzer, 1946**).

NP : Nouvelle Période (**Station météorologique Rebahia 1978-2007, corrigée**).

La comparaison des données pour la nouvelle période avec les données de **Seltzer (1946)**, pour la période ancienne (**Tableau 7**), montre qu'il y a une différence.

La commune reçoit environ 436 mm/ an entre 1913 et 1938 et seulement 362.5 mm/ an entre 1978 et 2007, l'analyse des cumuls pluviométriques des deux périodes, nous renseigne sur un recul. On remarque qu'il y a une différence négative de l'ordre de 73.5 mm entre les deux périodes.

Ainsi la distribution de cette tranche est irrégulière comme le montre le tableau 8.

Les maximums des pluies sont enregistrés dans le mois de décembre, Février et mars ; alors que le mois de juillet ne reçoit que de faibles quantités.

• Détermination du régime pluviométrique :

Tableau 8 : Régime saisonnier des précipitations corrigées de la zone d'Ain El Hadjar.

Mois	P (mm)	Saison	Précipitations Saisonnières	Régime Saisonnier
Septembre	24.4	Automne	97.6	A
Octobre	34.4			
Novembre	38.8			
Décembre	39.9	Hiver	117,5	H
Janvier	37.7			
Février	39.9			
Mars	49.9	Printemps	113,1	P
Avril	35.5			
Mai	27.7			
Juin	14.4	Été	34,3	E
Juillet	5.5			
Août	14.4			

Tableau 9 : Régime saisonnier des précipitations de la zone d'Ain El Hadjar pour les deux périodes.

Saison	H (D,J,F)	P (M,A,M)	E (J,Jt,A)	A (S,O,N)	Type
AP (mm)	155	133	27	121	HPAE
NP (mm)	117,5	113,1	34,3	97,6	HPAE

AP : Ancienne Période (**Seltzer, 1946**).

NP : Nouvelle Période (**Station météorologique Rebahia 1978-2007, corrigée**).

A partir du tableau 10, nous remarquons que la station d'Ain El Hadjar figure dans le régime saisonnier HP AE pour les deux périodes, avec une tranche pluviométrique saisonnière essentiellement hivernale, et l'été est la saison la plus sèche.

1.5.1.2.1.2. Températures :

La température est un facteur écologique fondamental et un élément vital pour la végétation. Elle représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espaces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (**Ramade, 2003**).

Les données climatiques de la température moyenne, maximale et minimale (°C) recueillis de la Station météorologique de Rebahia, sont représentées dans le tableau 10.

Tableau 10 : T° moyenne, maximale, minimale (°C) (1978-2007) (Station Météorologie Rebahia, Saida, 2009)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° moy max(°C)	30.3	24.4	18.1	14.5	13.6	15.3	18.1	20.5	25.3	31.5	36	35.5
T° moy min(°C)	15	11.4	7	4.2	2.9	3.7	5	6.5	10	14.5	17.9	18.4
T° moy (°C)	22.7	17.9	12.6	9.3	8.3	9.5	11.6	13.5	17.7	23	26.9	22.7

• **Corrections des températures :**

1. Températures moyennes maximales :

Différence d'altitude : 1005 - 750 = 255m

100m —————> -0,7 °C

255m —————> x

$$x = 255 \times -0,7 / 100 = -1,7$$

Pour calculer la moyenne annuelle des maxima de la zone d'étude on rajoute à la température de la station de référence la valeur de x :

La moyenne des maxima est : 23,6°C.

$$23,6 - 1,7 = 21,9$$

○ Calcul du coefficient de correction K :

K = Températures moyennes maximales de la zone d'étude / Températures moyennes maximales de la station de référence.

$$K = 21,9 / 23,6$$

$$K = 0,92$$

Les températures moyennes mensuelles maximales de la zone d'étude sont obtenues en multipliant celle de la station de référence par le coefficient k.

2. Températures moyennes minimales :

100m —————> -0,4°C

255m —————> x

$$x = 255 \times -0,4 / 100 = -1,02$$

Pour mesurer la moyenne annuelle des minimas de la zone d'étude on rajoute à la température de la station de référence la valeur x :

La moyenne annuelle des minimas est : $9,7\text{ °C}$

$$9,7 - 1,02 = 8,6$$

○ Calcule de coefficient de correction K :

$K = \text{Températures moyennes minimales de la zone d'étude} / \text{Températures moyennes minimales de la station de référence.}$

$$K = 8,6 / 9,7$$

$$K = 0,88$$

Les résultats des corrections des températures moyennes mensuelles minimales et maximales sont portés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Températures moyennes mensuelles minimales et maximales de la commune d'Ain El Hadjar (1978-2007) après correction.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T° moy	27,8	22,4	16,6	13,3	12,5	14,07	16,6	18,8	23,2	28,9	33,1	32,6
T° moy	13,2	10,03	6,1	3,6	2,5	3,2	4,4	5,7	8,8	12,7	15,7	16,1
T° moy (°C)	20,5	16,2	11,3	8,4	7,5	8,6	10,5	12,2	16	20,8	24,4	24,3

Le tableau 11, montre que la saison estivale (juin, juillet et août) est représentée par des valeurs relativement élevées, ce qui donne une saison extrêmement sèche. Le minimum des températures moyennes 7.5 °C est enregistré au mois de Janvier.

1.5.1.2.2. Synthèse climatique :

Les températures et les précipitations constituent les deux principaux paramètres des climats car l'ensoleillement est de façon générale, bien corrélé avec la température.

Divers types de diagrammes destinés à représenter graphiquement des paramètres majeurs du climat propre à une région donnée. Les principaux sont les climatogrammes et les diagrammes ombrothermiques de Gaussen (**Ramade, 1999 in Kherief, 2006**).

• Diagramme Ombrothermiques :

Il constitue un type de représentation très utilisé pour comparer les climats. (Bagnoul et Gausse, 1953 in Kadik, 1987), considèrent qu'un mois est sec si le total des précipitations exprimées en mm est égal ou inférieur au double de la température exprimée en °C.

Il consiste à figurer en ordonnée à gauche les températures moyennes mensuelles en °C à une échelle double de celle des précipitations ($P=2T$), en abscisse les mois de l'année et en ordonnée à droite les précipitations moyennes mensuelles en mm et de joindre les points ainsi obtenus. On obtient en fait deux courbes superposées.

Les périodes d'aridité sont celles où la courbe pluviométrique est au dessous de la courbe thermique (Ramade, 2003).

Selon l'échelle $P=2T$, les courbes ombrothermiques déterminent une humide, l'autre sèche.

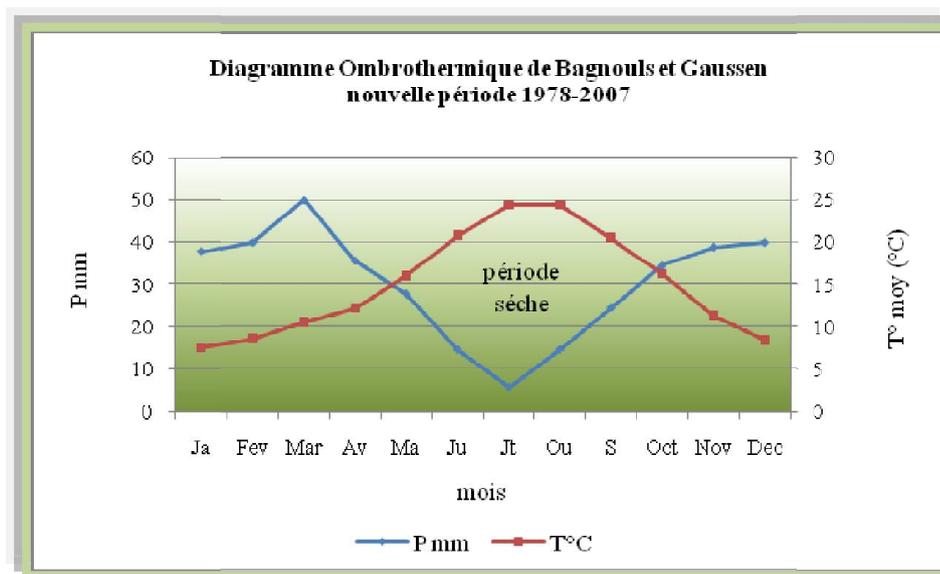


Figure 15 : Diagramme ombrothermique de la station d'Ain El Hadjar (1978-2007).

Le diagramme ombrothermique, fait apparaitre que la durée de la saison sèche est en moyenne de 6 mois, elle couvre la dernière semaine du mois de Mai jusqu'en début du mois d'Octobre.

• L'indice d'aridité de De Martonne :

Cet indice caractérise l'aridité du climat d'une région donnée. Il s'exprime comme suit :

$$I = P / (T + 10).$$

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

$$I = 362.5 / 10 + 15,07 = 14,45$$

Pour :

$20 < I < 30$: Climat tempéré

$10 < I < 20$: Climat semi - aride

$7.5 < I < 10$: Climat steppique

$5 < I < 7.5$: Climat désertique

$I < 5$: Climat hyper - aride.

La valeur trouvée de l'indice d'aridité pour la commune d'Ain El Hadjar se traduit par un climat semi-aride.

1.5.1.2.3. Autres facteurs climatiques :

1.5.1.2.3.1. Les vents :

Le vent constitue en certaines conditions un facteur écologique limitant, par leur fréquence, leur température, leurs degrés hygrométriques, les vents exercent sur la végétation forestière en place une influence considérable (**Letreuche Belarouci, 1991 in Kherief, 2006**).

Tableau 12 : Vitesse du vent moyenne annuelle de la station d'Ain El Hadjar (1995-2006)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août
Vent moy M/S	2.4	2.5	2.7	2.9	3.5	3.5	3.0	3.2	3.0	2.8	2.9	3.0

La région d'étude est soumise à des vents dominants avec une vitesse moyenne de 2.95 m/s (**tableau 12**). Les vents soufflent fréquemment dans des directions instables et à différentes intensités en fonction des saisons.

1.5.1.2.3.2. L'Humidité :

Désigne la teneur de l'air en vapeur d'eau. Dans la troposphère et selon les données de l'O.N.M, l'air n'est jamais sec et contient toujours une part plus au moins importante d'eau à l'état gazeux. Elle à une grande importance pour la végétation forestière ; elle réduit l'évaporation de l'eau du sol et l'intensité de la transpiration des végétaux ; donc elle permet la conservation de l'eau dans le sol et son utilisation par la plante (Kherief, 2006).

Tableau 13 : Humidité atmosphérique moyenne mensuelle dans la commune d'Ain El Hadjar (1995-2006).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	J	F	M	A	M	Jn	Jt	At	Moy annuelle
Humidité %	51	59	64	69	68	66	63	62	57	48	37	40	57%

Selon les données du tableau 13, l'humidité moyenne annuelle est de 57%. Le maximum est enregistré en saison hivernale (69%) alors que le minimum (37%) est observé en été.

Conclusion :

D'après les résultats obtenus de l'analyse des données climatiques, on constate une très grande variation des précipitations et des températures.

Le climat de la région de Ain El Hadjar est pratiquement du type méditerranéen caractérisé par :

- La concentration de pluies pendant la période froide (HPAE).
- Une sécheresse apparente pendant les mois les plus chauds (été).

La durée de la saison sèche est en moyenne de 6 mois, elle couvre la dernière semaine du mois de Mai jusqu'en début du mois d'Octobre. L'indice d'aridité de la région est estimé à 14.45 et détermine un régime semi aride.

En conclusion nous pouvons dire que le climat de la commune d'Ain El Hadjar est caractérisé par :

- Une pluviométrie faible et irrégulière (- 400 mm/an) ;
- Une période sèche assez longue (de la première semaine du mois de Mai jusqu'en début du mois d'Octobre) ;
- Des températures fortes en saison estivale et basse en saison hivernale.

1.6.La végétation :

L'espace forestier est essentiellement composé de forêts domaniales qui forment des surfaces occupées par des formations forestières de différentes composition et physiologie.

Les principales forêts domaniales de la commune d'Ain El Hadjar sont : la forêt domaniale de Djaafra Cheraga, Tendfelt et Fenouane. Elles totalisent plus de 15 000 ha, leur impact sur les autres espaces et sur la vocation de la commune est présent et ne peut être ignoré dans toute approche d'aménagement ou d'orientation globale du développement.

Les formations forestières sont dominées par des groupements à Pin d'Alep (*Pinus halpensis*). Il existe d'autres essences secondaires constituant le cortège floristique, et jouant un rôle écologique important comme le Thuya (*Tetraclinis articulata*) et le Chêne vert.

Selon la direction des forêts (2009), parmi les principales espèces qui caractérisent le sous bois du patrimoine forestier :

- Chêne vert (*Quercus ilex*) caractérise la partie Est de la commune (la forêt de Tiddernatine) ;
- Thuya de Berberie (*Tetraclinis articulata*) ;
- Chêne kermès (*Quercus Coceifera*) ;
- Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*) ;
- Genévrier oxycedre (*Juniperus oxycedrus*) ;
- Romarin (*Rosmarinus tourneforti*) ;

- Diss (*Ampelodesma mauritanicum*) ;
- Alfa (*Stipa tennacissima*).

1.7. La faune :

Selon la Direction des forêts, 2009, les principales espèces recensées dans la commune sont :

- Les Mammifères Carnivores : Chacal, renard, mangouste, lynx caracal, chat forestier.
- Les Mammifères de Chasse : sanglier, lapin de garenne, porc épic, hérisson.
- Les Reptiles : Couleuvre, vipère, lézard.
- Les oiseaux : Aigles, Eperviers, Buse féroce, Hiboux, Perdrix Gamba, Caille des blés, Pigeon biset, Merle noire, Grives, Chardonneret élégant, Pie bavarde, Moineau domestiques...
- Les Insectes : il existe de nombreux insectes vivants dans ces forêt, notons la présence de la chenille processionnaire (*Taumatopea pityocampa*).

2. Caractères écologiques de la forêt d'Oum Trif :

2.1. Situation Géographique :

La forêt d'Oum Trif est située au Sud de la wilaya de Saida, dans la commune d'Ain El Hadjar. Elle se trouve à une trentaine de km au Sud de la ville de Saida dans l'Ouest Algérien. Elle est située entre les longitudes $0^{\circ}10'$ Ouest et $0^{\circ}5'$ Est et latitudes : $34^{\circ}40'$ et $34^{\circ} 50'$ Nord (**Figure16**).

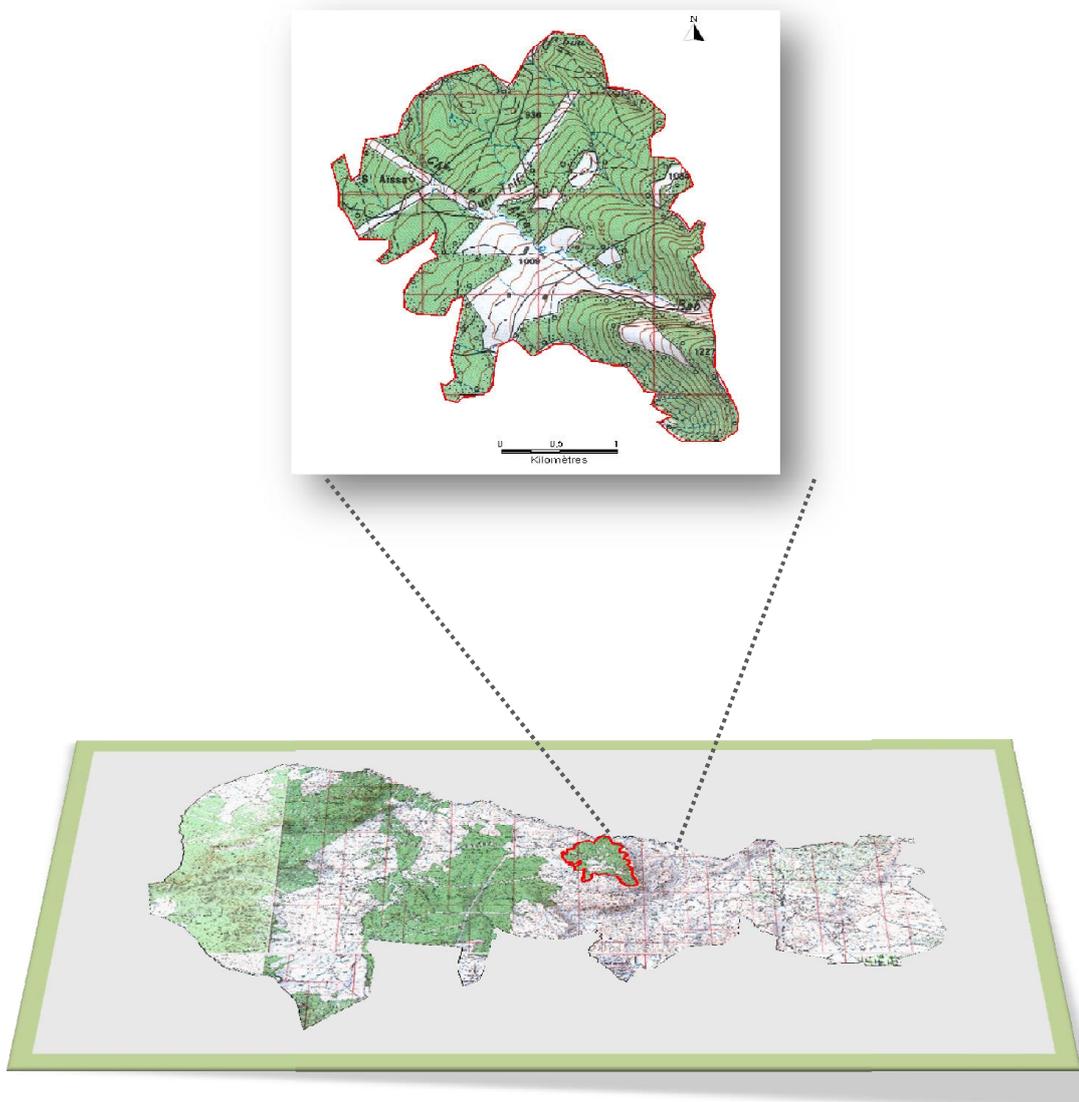


Figure16 : Localisation de la zone d'étude.

2.2. Situation administrative :

La forêt se situe entièrement dans la wilaya de Saida, Daïra et commune d'Ain El Hadjar.

2.3. Situation juridique :

La forêt est gérée par la conservation des forêts de Saida, circonscription et district d'Ain El Hadjar.

2.4. Altitude :

La forêt domaniale d'Oum Trif a un relief peu accidenté. Elle est constituée d'unités topographiques hétérogènes. Les altitudes varient plus ou moins selon que l'on est aux piémonts, ou en montagne (**Figure17**). Elles présentent des valeurs maximales au niveau des sommets de djebel El Assa (1238m).

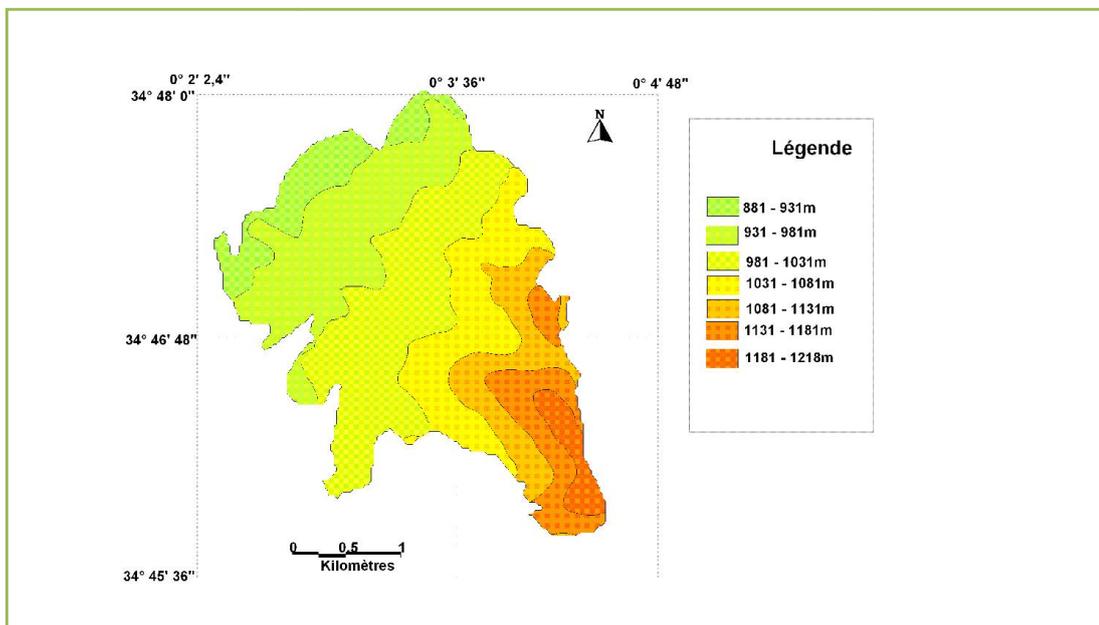


Figure17 : Carte d'altitude de la zone d'étude.

2.5. Expositions :

Conjugée à une altitude importante du point de vue impact sur les précipitations, l'exposition à un effet sur les conditions écologiques de la commune et de la forêt. Le versant sud souffre d'une sécheresse prolongée (plus de 6 mois) et de sols relativement dégradés. Selon **Benziane (2007)**, il est constitué essentiellement par les touffes de Palmier et d'Alfa, il représente un taux de recouvrement faible par rapport au versant nord, ce dernier bénéficie de conditions climatiques et édaphiques plus clémentes, une faible évaporation, des sols relativement équilibrés et une pluviométrie intéressante. Il est couvert essentiellement par : (*Pinus halepensis*), (*Tétracelinis articulata*), (*Quercus ilex*), (*Juniperus oxycedrus*), (*Quercus coccifera*), (*Phillyrea angustifolia*), (*Chamaerops humilis*) et (*Rosmarinus officinalis*)...

2.6. Les pentes :

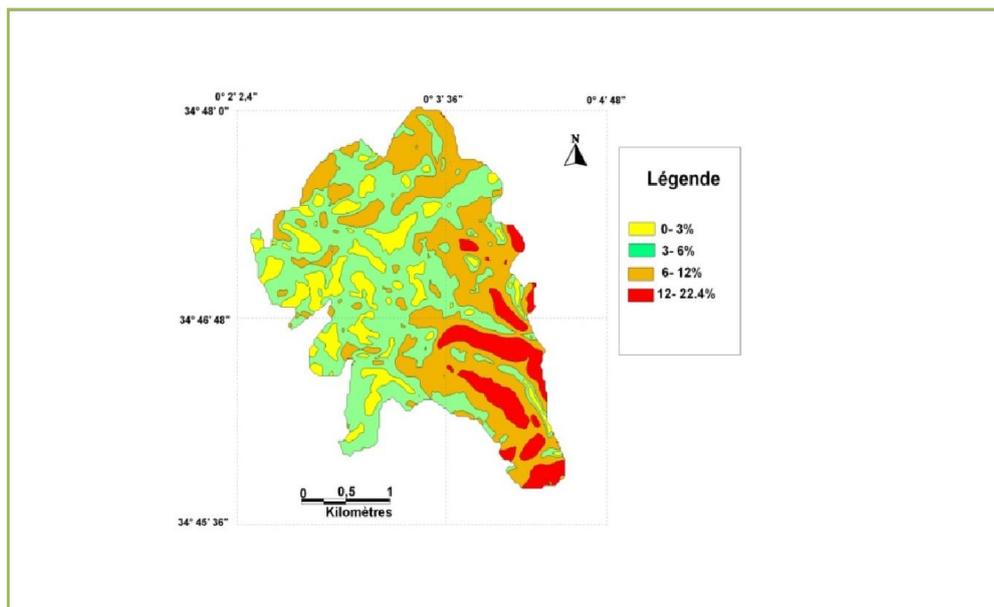


Figure 18 : Carte des pentes de la zone d'étude (versant nord du djebel de Bendjoud).

La Figure18 montre que la forêt d'Oum Trif est caractérisée par la forte présence des terrains de faible pente (0-6%).

La classe de pente de 12 à 24% reste localisée dans une série de petits massifs dont les pentes sont très accentuées, c'est le cas du djebel El Assa : 1238 m.

2.7. Hydrographie :

La forêt domaniale d'Oum Trif est drainée par deux principaux oueds : El Malah et Tamda, le dernier étant un affluent du premier (**Figure 19**). Ces des cours d'eau représentent un écoulement des eaux pluviales d'un réseau de chaabets assez dense et de faible importance. Le sens de l'écoulement des eaux est du sud vers le nord pour l'oued El Malah et du Sud Est vers le Nord Ouest pour l'Oued Tamda (**BNEF, 1994**).

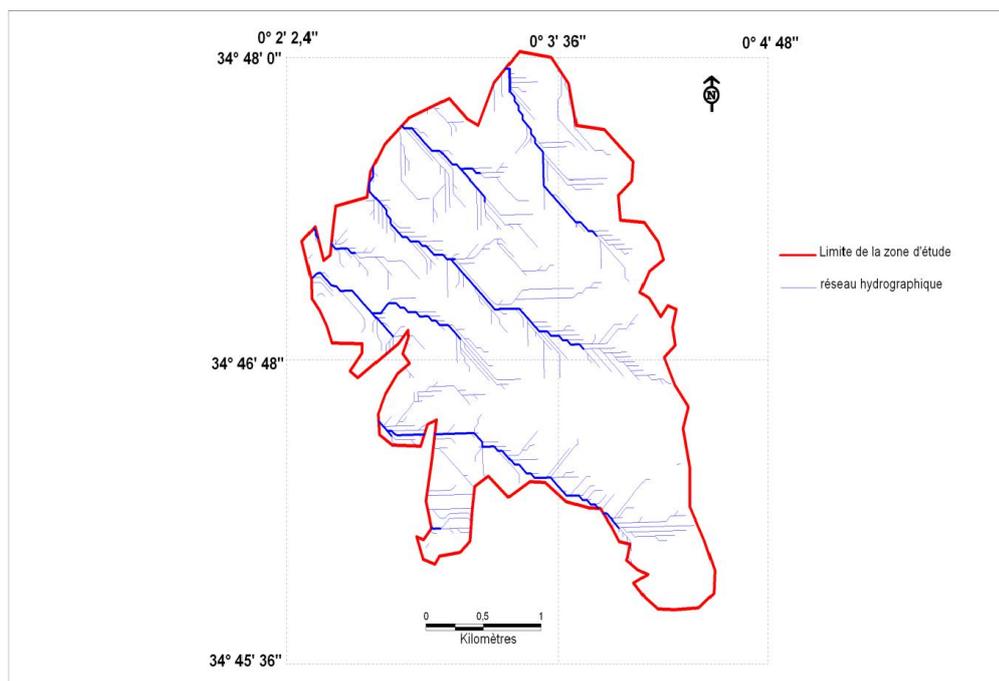


Figure 19 : Carte du réseau hydrique de la zone d'étude.

2.8. Climat :

Afin de nous rapprocher le plus du climat local et avoir une représentation synthétique des caractéristiques météorologiques de la forêt. Les précipitations mensuelles et les températures moyennes mensuelles pour la période (1978-2007) sont calculées suivant l'altitude maximale (1238m) et minimale (900m) de la forêt pour étudier l'impact des paramètres climatiques sur la végétation. Elles sont représentées sous forme de diagrammes ombrothermiques (**Figure 20 et 21**).

Tableau 14 : Précipitations mensuelles (mm) et températures moyennes mensuelles (°C) selon la plus basse altitude de la forêt (900m), après correction.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P mm	23.	32.	37.	38.	36.	38.	47.	33.	26.	13.	5.3	13.
T°moy(°C)	21.	17	11.	8.8	7.8	9	10.	12.	16.	21.	25.	25.

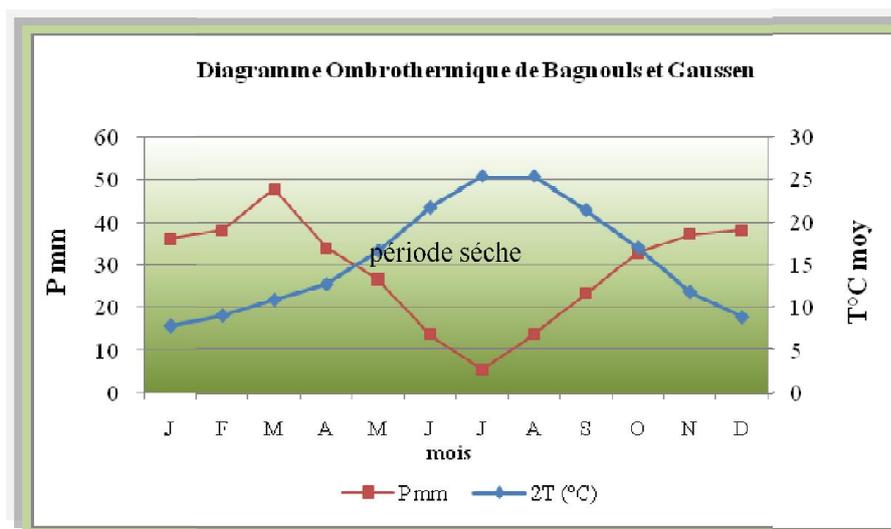


Figure 20 : Diagramme Ombrothermique (1978-2007), selon la plus basse altitude de la forêt (900m).

Tableau 15 : Précipitations mensuelles (mm) et températures moyennes mensuelles (°C) selon la plus haute altitude de la forêt (1238 m) après correction.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P mm	26.8	37.8	42.7	43.9	41.4	43.9	54.9	39.0	30.5	15.8	6.1	17.8
T°moy	18.1	14.3	10	7.4	6.5	7.5	9.2	10.8	14.1	18.4	23.05	21.5

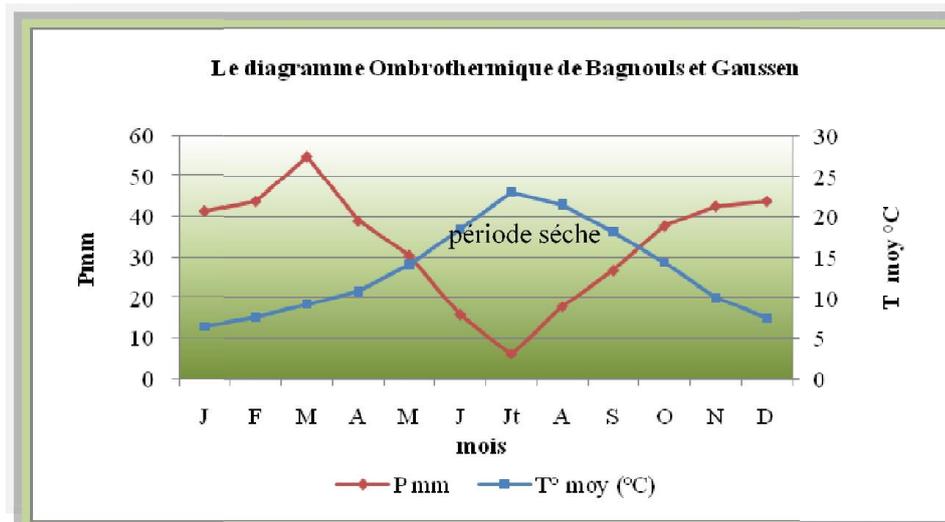


Figure 21 : Diagramme Ombrothermique (1978-2007), selon la plus haute altitude de la forêt (1238 m).

A partir des diagrammes ci-dessus, on déduit que l'année est partagée entre une période sec qui dure en bas de la forêt presque six mois, quelques jours du mois d'Avril jusqu'à la première semaine d'Octobre, et une période humide qui dure pendant les autres mois. Alors que, la période de sécheresse estival en haut, suivant le diagramme ombrothermique de Bangouls et Gausson dure presque 5 mois, de mi-mai à la fin du mois de Septembre. Par conséquent la période humide s'étale du mois d'Octobre jusqu'à la mi-mai.

2.9. Pédologie :

L'étude pédologique de la forêt montre la présence des classes de sols suivantes :

- classe des sols peu évolués
- classe des sols calcimagnésiques
- classe des sols à sesquioxydes de fer
- classe de sols isohumiques

Ces sols sont caractérisés par un manque de profondeur et une importante charge caillouteuse de surface (sols lithiques), la présence de calcaire actif (rendzines) et à un degré moindre chez les sols bruns calcaire et la présence de l'encroustement calcaire en profondeur.

Les espèces forestières pouvant s'adapter à ces conditions de sol sont très limitées (Pin d'Alep et Thuya). Le cyprès pouvant s'adapter aussi à condition toutefois de travailler le sol en profondeur (casser l'encroustement) pour permettre aux racines (pivots) de pénétrer en profondeur (BNEF, 1994).

2.10. Végétation :

La forêt d'Oum Trif est caractérisée par les groupements végétaux suivants :

- Groupement à Pin d'Alep – Diss-Chêne Kermès : formant des peuplements hauts à moyennement dense.

- Groupement de dégradation post-forestier, à base de Pin d'Alep – *Phylaria angustifolia* (filaire). Ce groupement est localisé sur quelques stations d'altitude (+ de 1000 mètres) à exposition Nord à Nord Ouest. Ce type de groupement a évolué sous forme de matorral arboré (Pin d'Alep) avec un sous bois assez dense.

- Groupement à Pin d'Alep-Romarin formant des peuplements jeunes de Pin d'Alep (perchis) denses, localisés généralement sur faibles pentes.

- Groupement à Pin d'Alep-Alfa et Thuya de berberie : Il forme des peuplements hauts, de densité moyenne. L'état sanitaire étant assez bon.

- Groupement de dégradation à base d'Alfa-Romarin et Pin d'Alep. Il caractérise un stade de dégradation assez avancé de la pinède. Cette formation peut s'améliorer si elle est stabilisée. Le principal facteur limitant étant le sol (encroustement calcaire en profondeur).

Les conditions écologiques peu favorables, font que la forêt d'Oum Trif est très sensible aux actions de l'homme. De ce fait toute proposition d'intervention doit être minutieusement étudiée sous risque de créer un déséquilibre irréversible (BNEF, 1994).

2.11. La faune :

Les espèces animales recensées dans la région sont :

- **Les mammifères carnivores** : Chacal, Renard, Mangouste, Lynx caracal, Chat forestier.

- **Les mammifères de chasse** : Sanglier, Lièvre, lapin de Garenne, Porc épic, Hérisson.

- **Les oiseaux** : Aigles, Faucons, Eperviers, Buse féroce, Hiboux, Perdrix Gamba, Caille des blés, Pigeon biset, Merle noire, Grives, Chardonneret élégant, Pie bavarde, Moineau domestiques ect...

- **Les insectes** : En plus des nombreux insectes vivants dans ces forêts, notons la présence de la chenille processionnaire (*Taumatopea*), qui cause des dégâts assez importants sur la pinède (La direction des forêts, 2009).

**CHAPITRE IV :
MÉTHODOLOGIE
ADOPTÉE**

1. Le choix des stations :

Le Massif de Ben Djloud a été choisi comme une zone d'étude, car c'est un massif montagneux caractérisé par une végétation diversifiée, La strate arborescente est occupée principalement par le Pin d'Alep (*Pinus halpensis* Mill.), avec d'autres essences secondaires constituant le cortège floristique, et jouant un rôle écologique important comme le Thuya (*Tétracelinis articulata* Vahl.).

La première étape consiste à stratifier l'échantillon sur la base des principaux facteurs environnementaux influençant a priori la croissance. La sélection des sites a pour objectif de maximiser le signal environnemental à étudier. Dans ce cas-ci, on s'intéresse au signal du climat, donc on échantillonnera les stations en limite altitudinale de la forêt afin d'amplifier le signal climatique des séries de cerne.

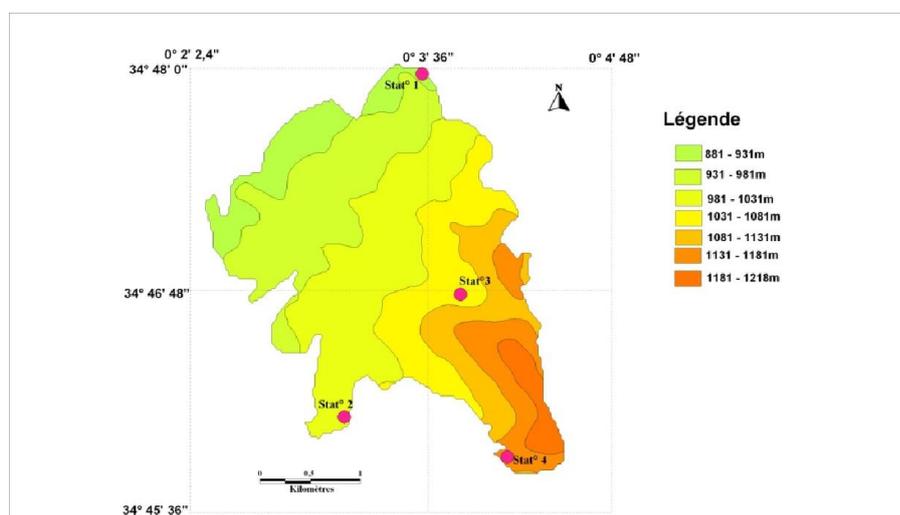


Figure22 : Localisation des stations d'étude.

La figure 22 permet de localiser les 4 sites sur lesquels nous avons effectués notre étude. Les placettes sont réparties dans l'ensemble du massif, elles ont été sélectionnées le long d'un gradient altitudinal. Entre niveaux altitudinaux, dans le but de représenter la distribution complète des deux espèces sélectionnées, et présentant ainsi un gradient croissant de précipitations et décroissant de températures.

Les caractéristiques générales des stations choisies sont fournies dans le tableau 16.

Tableau 16 : Caractéristiques environnementales des stations étudiées.

Station	cordonnées Lambert de la carte au 1/50000	Altitude (m)	Pente (%)	Nature de la roche	Végétation
01	x : 258,6 y : 170,5	900	0 –5	Argilo gréseuse	- <i>Pinus halpensis</i> - <i>Tetraclinis articulata</i> - <i>Quercus coccifera</i> - <i>Rosmarinis officinalis</i> - <i>Stipa tenacissima</i> - <i>Ampelodesma mauritanocum</i> - <i>Pistacia lentiscus</i> ...
02	x : 257,6 y : 167,3	960	5–10	Argilo gréseuse	- <i>Pinus halpensis</i> - <i>Tetraclinis articulata</i> - <i>Quercus coccifera</i> - <i>Rosmarinis officinalis</i> - <i>Stipa tenacissima</i> - <i>Ampelodesma mauritanocum</i> - <i>Pistacia lentiscus</i> - <i>Olea europea</i> ...
03	x : 258,7 y : 168	1007	10-15	Argilo gréseuse	- <i>Pinus halpensis</i> - <i>Tetraclinis articulata</i> - <i>Quercus coccifera</i> - <i>Olea europea</i> - <i>Rosmarinis officinalis</i> - <i>Stipa tenacissima</i> - <i>Ampelodesma mauritanocum</i> - <i>Pistacia lentiscus</i> ...
04	x : 259 y : 166 ,7	1227	10-15	Grés	- <i>Pinus halpensis</i> - <i>Juniperus oxycedrus</i> - <i>Quercus coccifera</i> - <i>Chamaerops humilis</i> - <i>Stipa tennacissima</i> ...

2. Données cernes :

2.1. Matériel de travail utilisé:

Le matériel utilisé pour ce travail (**figure 23**) est :

- Une carte d'état major au 1/50 000 ayant servi pour faire le zonage de la forêt ;
- Une tarière de Pressler et une tronçonneuse ;
- Des pailles ;
- Un micromètre ;
- Un crayon feutre pour étiqueter les pailles et les rondelles ;
- Ruban diamétrique (métrique) ;
- un carnet et des crayons pour l'enregistrement des données.

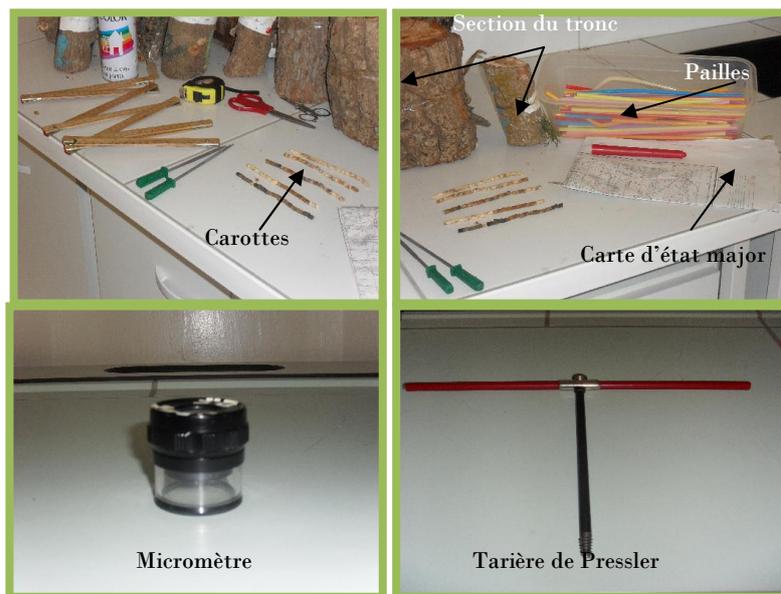


Figure 23 : Matériel utilisé pour la détermination de l'épaisseur des cernes.

2.2. Échantillonnage réalisé :

Le plan d'échantillonnage est établi, cas par cas, en fonction des objectifs assignés à l'étude, des spécificités de la zone d'étude, mais aussi en fonction des contraintes techniques et le temps disponible.

Afin de répondre au mieux aux objectifs fixés, L'échantillonnage comportait deux phases : identification et localisation des arbres à échantillonner. 10 arbres de chaque essence sont étudiés par placette. Les arbres analysés ont été choisis lors du protocole expérimental d'âges différents, afin de représenter l'ensemble des individus présents sur les sites.

Pour étudier en détail les couches des cernes annuels des arbres, des prélèvements ont été effectués à la tronçonneuse, sous forme de rondelles à des niveaux différents de l'arbre, en plus des carottes de petit diamètre ; des arbres de chaque essence étudiée par placette ont été carottés à la tarière de Pressler. Ces arbres ont été identifiés à l'aide d'une peinture.

Les carottes sont prises selon une orientation tirée dans le même sens de la courbe de niveau. Toutes les carottes sont prises à la hauteur de prélèvement de 1.30 m. L'écorce n'est pas enlevée avant le prélèvement.

Les trous seraient sensés être rebouchés mais des études réalisées ont montrées que cette précaution n'était pas nécessaire chez les résineux qui cicatrisent suffisamment et rapidement, grâce à la résine qu'ils fabriquent en grande quantité, permettant ainsi de se passer de cette précaution (**Schweingruber, 1996 in Marsaud et Paccard, 2006**).

Les carottes et les rondelles prélevées constituent les séries élémentaires à partir desquelles sont mesurées les épaisseurs annuelles des cernes de croissance (**Figure 24**).



Figure24 : Coupe transversale d'un tronc du pin d'Alep faisant apparaître les cernes annuels.

2.2.1. Préparation des échantillons :

Après l'extraction des carottes sur le terrain, vient ensuite la préparation des carottes. Elles sont protégées par des pailles de plastique, le tout stocké dans une boîte en plastique de longueur adéquate. Au moment du prélèvement, certaines carottes ne se révèlent pas en très bon état, ou sont même parfois cassées. Elles sont alors immédiatement rejetées.

Chaque carotte ou rondelle prélevée est numérotée selon l'altitude du prélèvement, et étiquetée (n° de station, espèce, date, n° d'individu). Les carottes ont été conservées dans un congélateur pour éviter leurs dessèchements.

2.2.2. Mesure des largeurs de cernes :

La largeur est un des principaux paramètres utilisés pour décrire un cerne. Celle-ci va dépendre d'un très grand nombre de facteurs liés à l'arbre lui-même (espèce, âge, concurrence intra- ou interspécifique...) ou à son environnement (type de station, climat, attaque parasitaire, interventions humaines...). Les largeurs de cernes sont donc des intégrateurs complexes des caractéristiques intrinsèques de l'arbre et de ses conditions environnementales de croissance.

Pour la mesure des largeurs de cernes sur un rayon d'une section de tronc. Ou bien, sur une carotte prélevée, un protocole a été suivi :

- Lecture visuelle des cernes au laboratoire :

Dans notre étude, les cernes des deux essences résineuses ont été mesurés de façon manuelle. Ils ont été datés et inter-datés visuellement avec précision à l'aide d'un micromètre.

Cette opération s'est déroulée en trois étapes : le pointage, la datation et l'interdatation.

1. Le pointage consiste à repérer au crayon le cerne formé l'année 2009, qui est le dernier cerne commun mesuré sous écorce pour tous les échantillons.

2. La datation correspond à l'assignation d'une année calendaire à chacun des cernes de la carotte analysée. Les années de formation de ces cernes particuliers sont

appelées «années caractéristiques» auxquelles correspondent des conditions de croissance remarquables. Ces années témoignent d'événements extrêmes survenus dans la vie de l'arbre, et plus généralement de l'action limitante ou stimulante d'un événement climatique majeur qui, selon leur effet, généreront des séries de cernes plus étroites ou plus larges que la moyenne. Pour des arbres d'une même population, ces événements climatiques devraient entraîner des variations synchrones de la structure des cernes.

3. L'interdatation consiste à comparer le patron de croissance de la carotte traitée avec d'une part les autres carottes de la même essence échantillonnées dans la placette, et d'autre part avec la série d'années caractéristiques publiées pour l'essence étudiée. pour s'assurer de la correspondance dans la position des séquences de cernes diagnostiques et ainsi déterminer l'année exacte de la formation de chacun des cernes **(Fritts 1976)**.

L'interdatation consiste à vérifier et à corriger la datation des cernes par comparaison des carottes entre elles. Elle n'est possible que si un ou plusieurs facteurs limitant agissent sur l'ensemble des arbres étudiés, facteurs généralement d'ordre climatique. L'interdatation est une étape essentielle qui permet de vérifier l'agencement synchrone des séries individuelles de croissance et ainsi attribuer à chaque cerne son année exacte d'élaboration **(Lebourgeois, 1997)**.

Dans ce cas-ci, sans années caractéristiques publiées, seule la comparaison entre individus de la placette a été réalisée. L'interdatation commence par la comparaison du patron de croissance de la carotte et la rondelle traitée avec les autres carottes et rondelles de la même essence.

Les données de largeur de cernes sont stockées, avec une précision dans un fichier Excel, où les lignes correspondent aux largeurs des carottes et les colonnes aux années. Un fichier a été individualisé par placette.

3. Données climatiques :

Les précipitations et la température sont les principaux facteurs météorologiques qui influent sur le climat d'une région. Aussi, ils ont une grande valeur biologique pour

l'analyse des relations entre le climat et les anneaux de croissance de l'arbre a examiné (Fritts, 1976 ; Schweingruber, 1988).

En absence des stations météorologiques plus fiables pour la zone d'étude, nous avons été dans l'obligation d'apporter des données de température et de pluviométrie provenant de la station météorologique de Rebahia. Bien que située à une altitude inférieure à celle des peuplements forestiers, ce poste météorologique représente au mieux les variations interannuelles du climat.

Les corrections sont effectuées par rapport à l'altitude de chaque station, afin d'avoir le climat le plus représentatif pour chacune d'elles.

Ces données ont été utilisées pour l'étude de la croissance radiale moyenne dans le cadre de l'analyse des relations cerne-climat.

Les corrections sont effectuées sur toutes les stations, Les résultats de ces corrections sont portés dans les tableaux 19 et 20 en Annexe 5.

4. Relation cernes-climat :

L'identification des relations cerne - climat s'appuie sur deux approches : l'une analytique, qui consiste à identifier les années de croissance les plus exceptionnelles et à en rechercher le déterminisme climatique, l'autre de type statistique, qui permet d'établir à travers la sensibilité moyenne le comportement moyen de l'essence vis-à-vis du climat.

4.1 Les années caractéristiques :

Pour chaque peuplement, le déterminisme climatique des variations de croissance a été analysé sous le critère des années caractéristiques.

Une définition plus restrictive de l'année caractéristique repose sur des données quantitatives. Une année est dite caractéristique lorsque, pour deux années successives, on constate une augmentation ou une diminution concordante de l'épaisseur du cerne.

Selon Munaut (1979), lorsqu'une année de tendance négative succède à une année positive, cela définit un maximum caractéristique et, dans le cas inverse, un minimum caractéristique.

Les années caractéristiques ainsi définies sont alors confrontées aux données climatiques des années considérées, elles peuvent nous aider à identifier les facteurs climatiques auxquels les arbres sont sensibles. Cela revient à répondre à la question suivante: « en quoi ces années sont-elles caractéristiques ? ».

4.2 Le coefficient de la sensibilité moyenne :

Pour analyser l'impact du climat sur la croissance radiale, on calcule la "Mean Sensitivity" ou sensibilité moyenne caractérisant de façon globale la réaction des arbres aux fluctuations climatiques annuelles (**Munaut, 1979**).

C'est une mesure de la variabilité inter-annuelle de la croissance radiale. Il exprime le pourcentage moyen de variation de la largeur du cerne d'une année sur l'autre, c'est-à-dire la différence existant entre la largeur d'un cerne et son suivant immédiat. Plus sa valeur sera élevée, plus le peuplement offrira une bonne base pour une étude dendrochronologique (**Munaut, 1979**).

Il permet de définir la variabilité moyenne d'épaisseur entre deux cernes successifs suivant la formule :

$$MS = 1 / (N-1) \sum_{t=1}^{t=n-1} |2 (x_{t+1} - x_t) / x_{t+1} + x_t|$$

MS : sensibilité moyenne (Mean sensitivity)

N : nombre total d'années de la chronologie

x_t et x_{t+1} : 2 cernes successifs

$0 < SM < 2$. Il varie de 0, pour deux cernes successifs égaux, à 2 lorsque l'épaisseur de l'un d'eux est nulle (**Fritts, 1976**).

Une valeur élevée de SM traduit la présence d'importantes variations de haute fréquence (**Cailleret, 2007**).

Ce coefficient exprime l'importance des changements à court terme affectant l'épaisseur des cernes. Il permet de distinguer des séries sensibles (sensitives) et des séries sans variations notoires (**Munaut, 1979**).

CHAPITRE V : RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats :

1.1. Variabilité interannuelle du climat :

Notre objectif étant de confronter les données climatiques à la croissance annuelle du pin d'Alep (*Pinus halpensis*) et du Thuya (*Tétraclinis articulata*), nous serons surtout attentifs ici à la variabilité interannuelle des variables du climat (précipitations températures) tant en valeurs globales annuelles qu'en valeurs mensuelles.

Nous présentons dans les deux **Figure 25** et **26** les variabilités interannuelles du climat (précipitations et températures) dans les 4 stations étudiées.

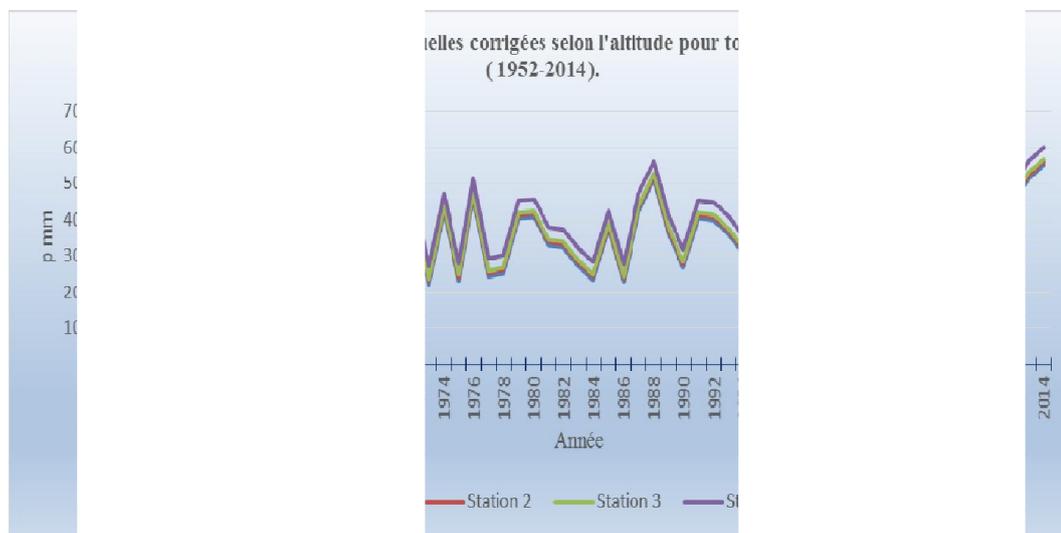


Figure 25 : Variation des précipitations annuelles corrigées selon l'altitude des sites étudiés, en fonction du temps.

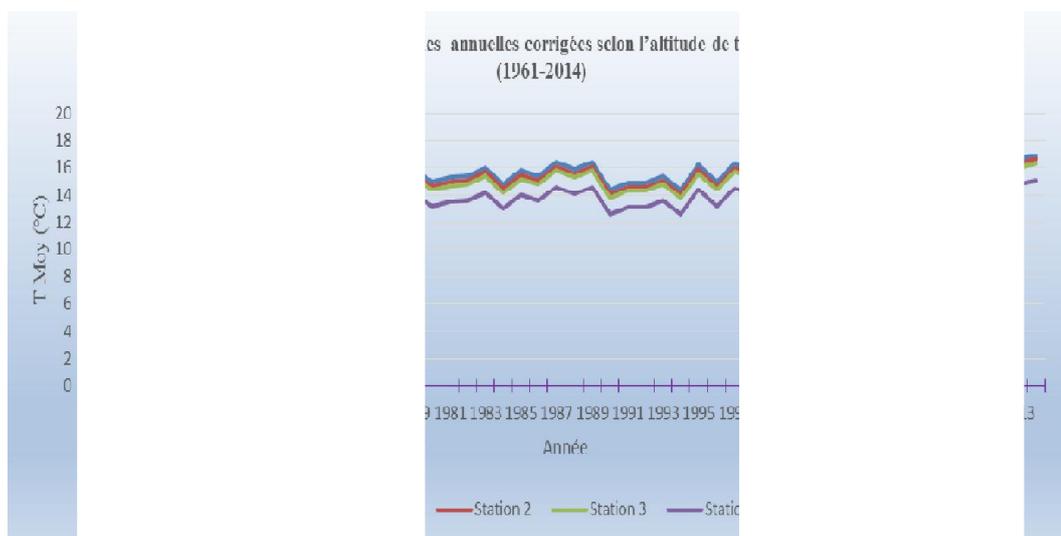


Figure 26 : Variation des températures moyennes annuelles corrigées selon l'altitude des sites étudiés, en fonction du temps.

Les courbes des paramètres climatiques étudiés présentent un gradient croissant de précipitations et décroissant de températures. Sans doute du fait de la différence d'altitude entre les stations. La correction des paramètres climatiques en fonction de l'altitude des parcelles étudiées, montre que la station 4 a des températures moyennes les plus basses et des précipitations moyennes plus importantes du fait de sa localisation sur une altitude élevée (1227 m). La station 1 (900 m) est caractérisée par les températures moyennes les plus importantes et les précipitations moyennes les plus faibles.

Les précipitations dans chaque station sont plus variables d'une année à l'autre que la température. Les courbes des températures dans chaque station sont superposées ; l'évolution des températures est presque similaire durant les années et ne présente pas d'événement remarquable.

1.2. Analyse des largeurs de cernes :

1.2.1. Synchronisation des séries dendrochronologiques :

La synchronisation correspond à la comparaison statistique des courbes d'épaisseur des cernes. Ces courbes sont construites à partir de la mesure des épaisseurs brutes des cernes. Une courbe correspondant à une carotte est appelée « série élémentaire ». La courbe correspondant à une moyenne de plusieurs carottes est appelée « série individuelle » (Corona, 2006). Ainsi, la synchronisation apparaît comme une opération préalable à la construction d'une chronologie continue. Il s'agit donc de trouver les séquences de cernes communes dans les séries élémentaires et, de proche en proche, par chevauchement de ces séries, obtenir une série de plus en plus longue.

Ensuite, à chaque site a été construite une chronologie moyenne (stationnelle) par le total des chronologies élémentaires indicées du site et puis une chronologie locale par la moyenne de chronologies stationnelles.

Tableau 17 : Résumé de la période des séries chronologiques moyennes pour les deux essences dans chaque station.

Station	Période des chronologies élémentaires	
	Pin d'Alep	Thuya de Berberie
1	1957 - 2014	1978 - 2014
2	1970 - 2014	1984 - 2014
3	1981 - 2014	1992 - 2014
4	1974 - 2014	/

Les courbes représentatives des chronologies moyennes construites à partir des séries d'épaisseurs brutes sont représentées sur les graph 6 pour le Pin d'Alep et 27 pour le Thuya.

o **Pin d'Alep :**

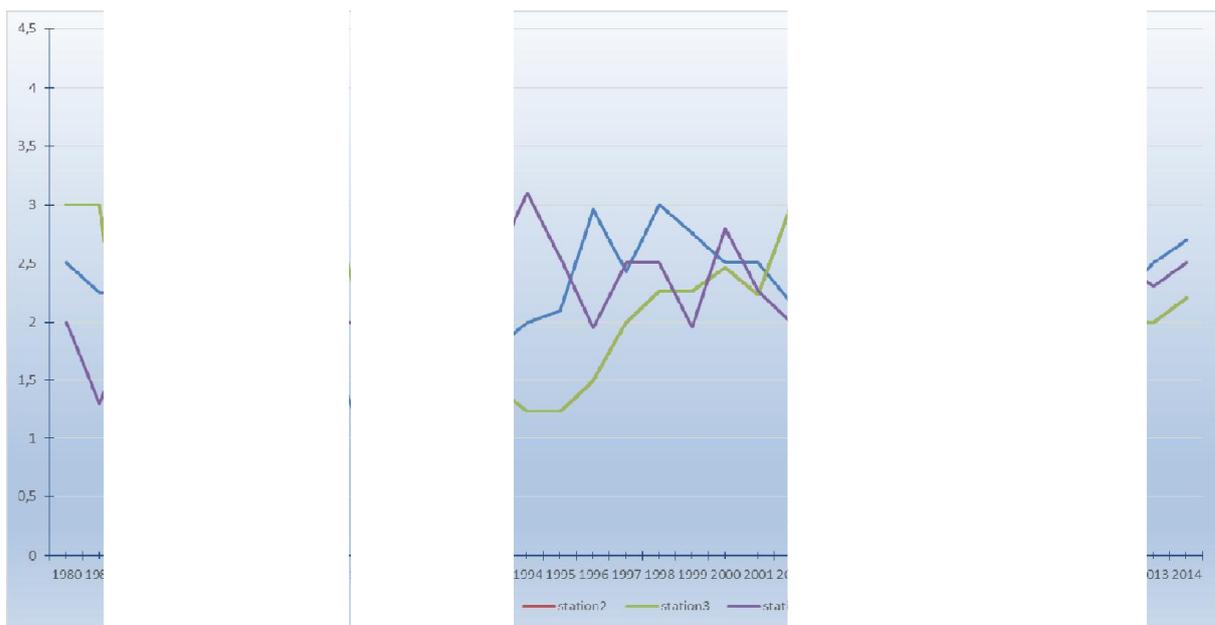


Figure 27 : Chronologies moyennes de Pin d'Alep dans les quatre stations. PS1 : Pin d'Alep de la station 1 (altitude 900 m). PS2 : Pin d'Alep de la station 2 (altitude 960 m). PS3 : Pin d'Alep de la station (altitude 1007 m). PS4 : Pin d'Alep de la station 4 (altitude 1227 m).

o **Le Thuya de Berberie :**

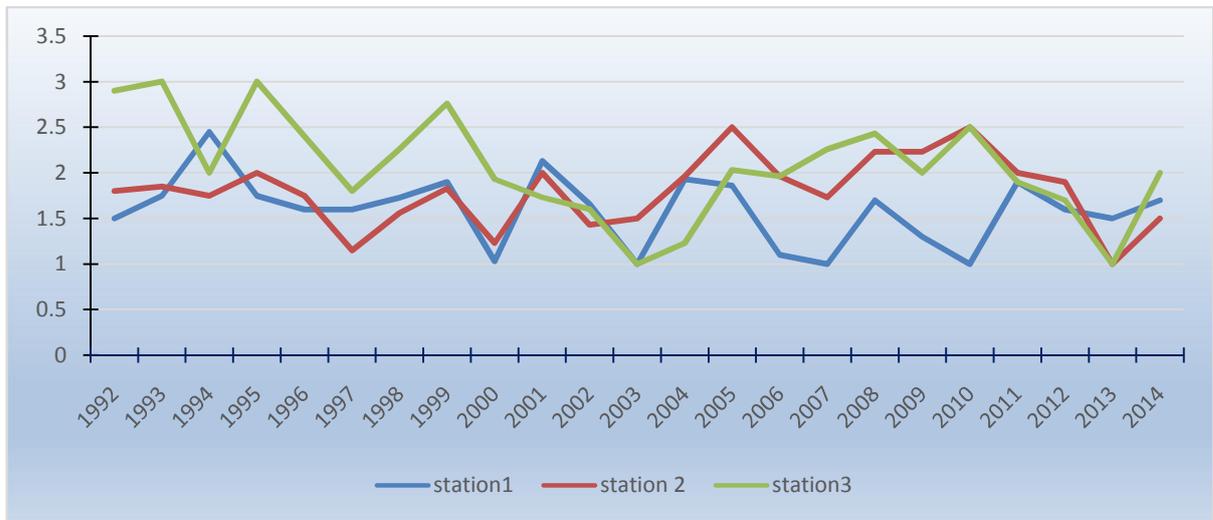


Figure 28 : Chronologies moyennes de Thuya de Berberie dans les trois stations. TS1 : Thuya de Berberie de la station 1 (altitude 900 m). TS2 : Thuya de Berberie de la station 2 (altitude 960 m). TS3 : Thuya de Berberie de la station 3 (altitude 1007 m).

Pour caractériser quantitativement les ressemblances et les différences intraspécifique (les placettes d'une même essence) c'est-à-dire les ressemblances et dissemblances entre stations et entre individus à l'intérieur des stations au point de vue largeur des accroissements, et interspécifiques (entre le Pin d'Alep et le Thuya de Berberie) à partir de la largeur annuelle des cernes de toutes les carottes et les rondelles échantillonnées, une chronologie maîtresse est établie pour chaque site en calculant la moyenne des cernes formés durant chaque année pour les deux essences.

L'examen visuel de courbes des chronologies moyennes construites à partir des séries d'épaisseurs des cernes en fonction du temps montre que les cernes de croissance n'ont pas une largeur égale. C'est la différence de cette largeur qui permet d'observer des années de croissance remarquables.

L'allure générale des chronologies moyennes par placette révèle une croissance radiale assez irrégulière.

• **La comparaison intra-spécifique (les placettes d'une même essence) :**

Dans un premier temps, les résultats obtenus permettent d'observer qu'il n'y a pas de différences entre les populations situées à différente altitude.

La comparaison des chronologies moyennes de la même essence pour toutes les stations montre que les stations - pour chaque essence - arrivent à se rapprocher en matière d'accroissement moyen annuel avec une faible différence (**Tableau 18**).

Tableau 18 : Accroissement moyen pour les deux essences dans chaque station

essences	Pin d'Alep				Thuya de Berberie		
	1	2	3	4	1	2	3
stations							
accroissement moyen annuel mm/an	2,5	2,3	2,4	2,4	1,7	1,9	2

Ceci révèle que la limite forestière s'étend au-delà de 327m (1227- 900m) ne s'avèrent donc pas suffisante pour délimiter des populations réagissant différemment au climat. Ainsi, en considérant cela, la discussion des résultats se fera directement sur la population totale en estimant qu'elle représente à elle seule une population.

• **La comparaison interspécifique (entre le pin d'Alep et le Thuya de Berberie) :**

Un accroissement moyen annuel du peuplement est ensuite calculé à partir des accroissements individuels pour l'ensemble des individus suivis pour les deux espèces. L'analyse des largeurs de cernes révèle une croissance plus rapide pour le Pin d'Alep, dont l'accroissement moyen atteint 2,4 mm/an, contre 1,8 mm/an seulement pour le Thuya de Berberie.

1.3. Relation cernes-âge :

Le nombre de cernes des carottes a été utilisé comme la meilleure estimation de l'âge des arbres. En effet, Les échantillons (carottes et rondelles) n'ayant pas pu être prélevés exactement au niveau du sol, elles ne donnent que l'âge approximatif des arbres.

Pour permettre d'apprécier les variations interannuelles de la largeur des cernes indépendamment de l'âge des arbres, c'est-à-dire de tenir compte de la décroissance biologique normale des largeurs de cernes quand l'arbre vieillit, nous avons choisi le profil de la croissance à l'échelle de l'arbre le plus âgé pour les deux essences.

o Pin d'Alep :

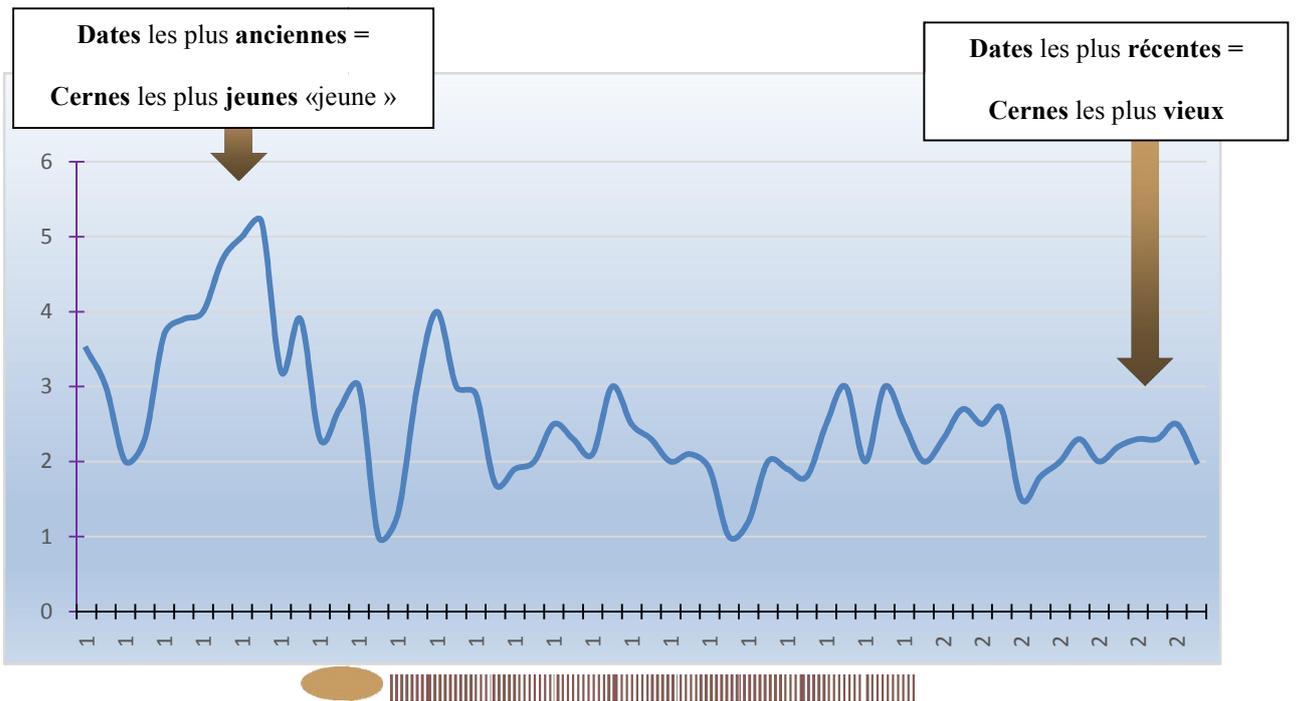


Figure 29 : Largeurs de cernes du Pin d'Alep en fonction de leur âge cambial.

1957-2014 : arbre de 57 ans

o Le Thuya de Berberie :

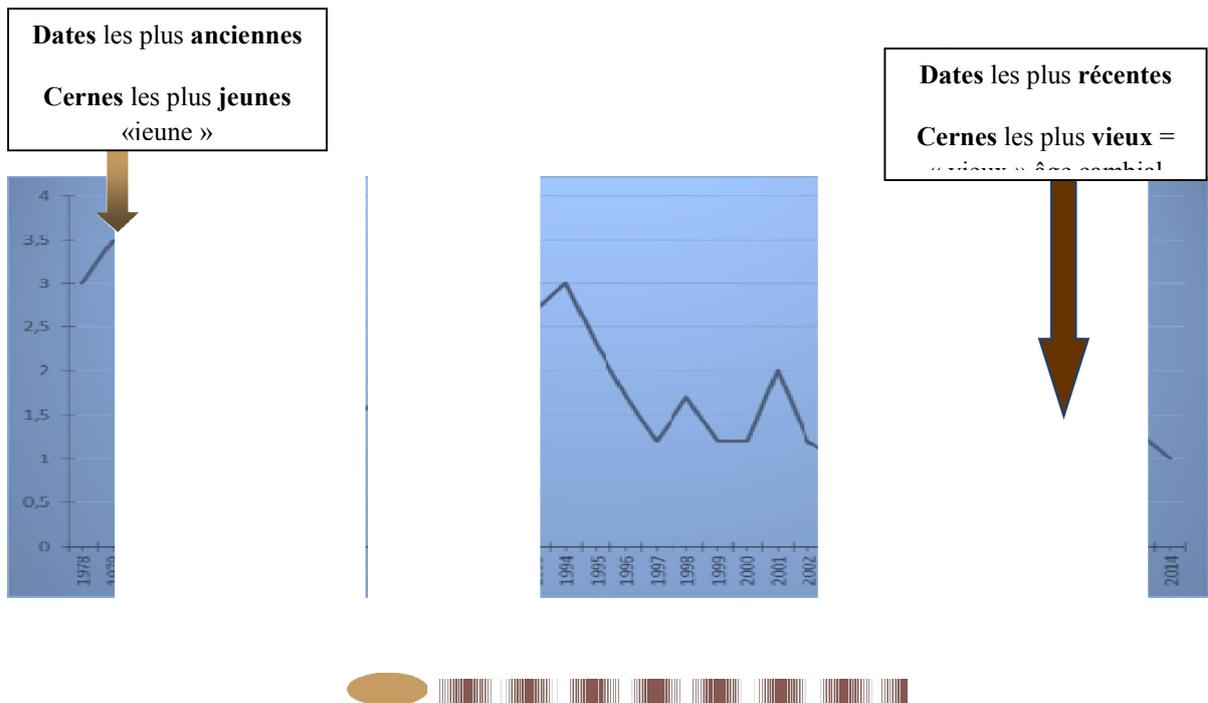


Figure 30 : Largeurs de cernes du Thuya de Berberie en fonction de leur âge cambial

1978-2014 : arbre de 41 ans

La taille des cernes a tendance à diminuer tout au long de la vie des arbres. La courbe de croissance montre d'abord une augmentation rapide de la croissance radiale dans les premières années (l'épaisseur des cernes formés est de 4 à 5 mm pour le Pin d'Alep, et de 3 à 3,9 pour le Thuya de Berberie), puis diminue considérablement avec l'âge des arbres (L'épaisseur des cernes formés dans les dernières années est de 1,5 à 1,9 mm pour le pin d'Alep et de 1 à 1,5 pour le Thuya de Berberie) (**Graphes 8 et 9**).

Parfois, pendant la période de la jeunesse, la croissance est plus faible que la moyenne annuelle. Ces variations de croissance sont liées à des différences de conditions environnementales.

1.4. Relation cernes-climat :

1.4.1. Les années caractéristiques :

Les données de la variation de largeur des cernes pour les deux espèces ont été corrélées séparément avec chacun des paramètres climatiques (précipitation puis températures). Cette comparaison permet également de repérer les années caractéristiques à cerne de chaque individu pour les deux essences. Cette analyse permet de mettre en évidence l'effet de conditions météorologiques extrêmes sur la croissance.

1.4.1.1. Relation cernes - précipitations :

○ Pin d'Alep :

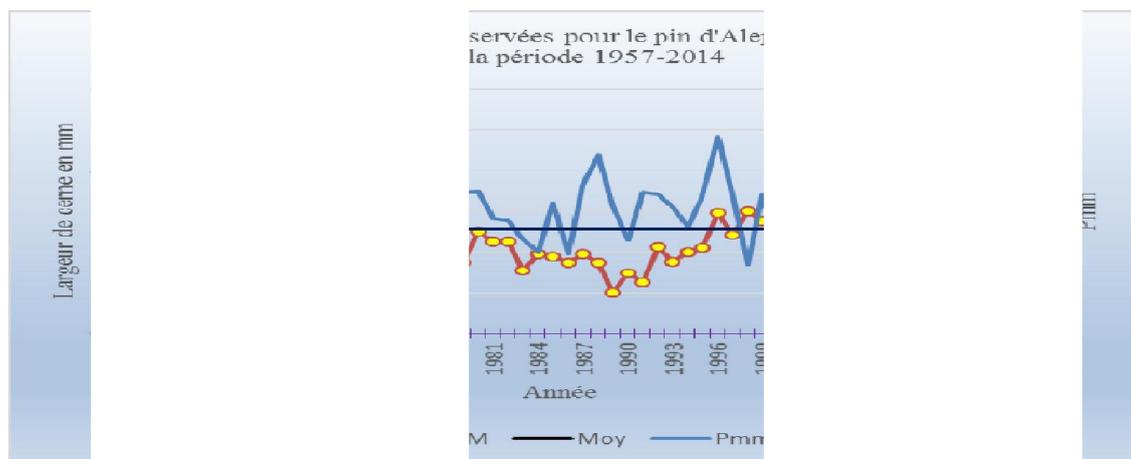


Figure 31 : Années caractéristiques observées pour le pin d'Alep dans la station 1 sur la période 1957 – 2014. AM : accroissement moyenne du pin d'Alep de la station 1 (altitude 900 m). Moy : l'accroissement moyen. Pmm : précipitations annuelles en mm.

Pour la population de basse altitude, 10 années révèlent une augmentation de la croissance radiale du Pin d'Alep (1961, 1964, 1975, 1980, 1992, 1996, 1998, 2003, 2007, 2011). En revanche, 9 années sont spécifiques d'une baisse importante de la croissance des cernes (1959, 1967, 1973, 1979, 1983, 1989, 2002, 2005, 2010) (**Graph 31**).

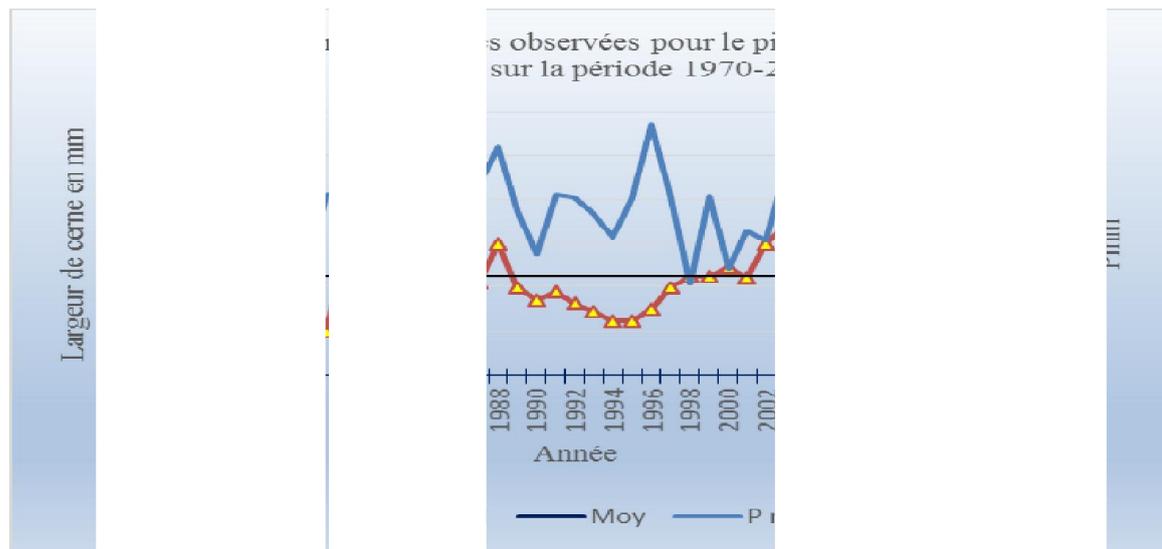


Figure 32 : Années caractéristiques observées pour le Pin d'Alep dans la station 2 sur la période (1970- 2014). AM : accroissement moyen du Pin d'Alep de la station 2 (altitude 960 m). Moy : l'accroissement moyen. Pmm : précipitations annuelles en mm.

Pour la population de la station 2, 7 années sont révélatrices d'une augmentation de la croissance radiale (1975, 1980, 1985, 1988, 1997, 1998, 2003). Par contre, 18 années sont caractéristiques d'une baisse importante de la croissance (1976, 1979, 1982, 1990, 1995, 2001, 2005, 2009, 2012) (**Figure 32**).



Figure 33 : Années caractéristiques observées pour le Pin d’Alep dans la station 3 sur la période (1981- 2014). AM : accroissement moyen du Pin d’Alep de la station (altitude 1007 m). Moy : l’accroissement moyen. Pmm : précipitations annuelles en mm.

Pour la station 3, sur la période : (1981- 2014), 8 années ont présenté une augmentation de la largeur de cernes du Pin d’Alep (1984, 1988, 1991, 1993, 1999, 2001, 2006,2009). Par contre, 9 années révèlent une diminution de la croissance des cernes (1983, 1986, 1990, 1997, 2000, 2005, 2007, 2010, 2013) (**Figure 33**).

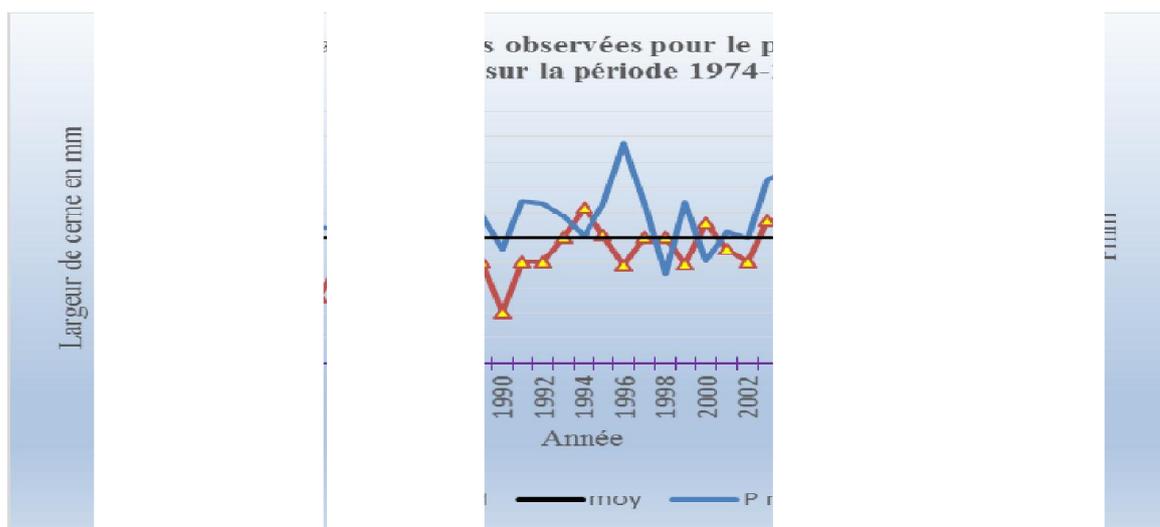


Figure 34 : Années caractéristiques observées pour le Pin d’Alep dans la station 4 pour la période (1974 – 2014). AM : accroissement moyen du Pin d’Alep de la station 4 (altitude 1227 m). Moy : l’accroissement moyen. Pmm : précipitations annuelles en mm.

Pour la population du haut, 13 années sont caractéristiques d'une hausse de la croissance des cernes (1975, 1979, 1982, 1985, 1987, 1988, 1991, 1994, 1997, 2000, 2003, 2007, 2009). Par ailleurs, 13 années révèlent une baisse significative de cette croissance (1976, 1977, 1980, 1981, 1983, 1986, 1990, 1996, 1999, 2002, 2005, 2010, 2013) (**Figure 34**).

Le nombre des années caractéristiques varie d'une station à l'autre, certaines années ont seulement une valeur locale et limitée à une seule station. Certaines années sèches comme 1990 ou 2005 sont très défavorables à la croissance de Pin d'Alep dans les 4 stations, tandis que d'autres comme 1994 ou 2000 n'influencent pas la croissance de la même manière pour toutes stations. Pour déterminer les années caractéristiques pour la population totale du pin d'Alep le long du transect, une comparaison des années caractéristiques entre les stations a été réalisée sur la période commune entre elles (1981-2009) (**Figure 35**).

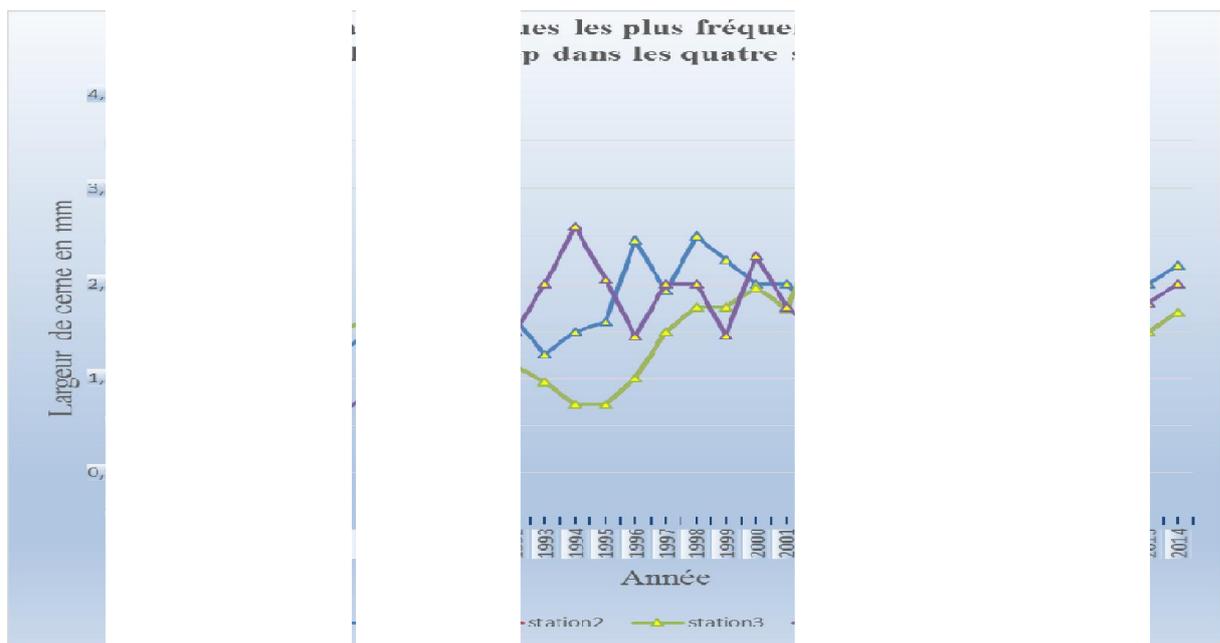


Figure 35 : Années caractéristiques les plus fréquemment observées pour le Pin d'Alep sur la période 1981-2009.

Sur la période 1981 -2009, l'analyse a montré qu'en moyenne 12 années communes entre toutes les stations, ont présenté des croissances remarquables, que ce soit par des largeurs de cernes importantes (années caractéristiques positives) ou par des largeurs de cernes faibles (années caractéristiques négatives).

Ces années témoignent d'événements extrêmes survenus dans la vie de l'arbre, et plus généralement de l'action limitante ou stimulante des facteurs climatiques sur la croissance qui, selon leur intensité et leur durée, ont pour effet de générer des séries de cernes plus étroits ou plus larges que la moyenne.

Nous avons identifiées les séries suivantes :

- Années caractéristiques positives : 1984, 1985, 1987, 1988, 1998, 2003, 2006.
- Années caractéristiques négatives : 1983, 1986, 1989, 1990, 2005.

Ainsi, au vu de ces résultats, la comparaison des années caractéristiques obtenues avec les données des précipitations annuelles montre que les croissances extrêmes coïncident avec des années particulièrement sèches ou pluvieuses ; dans une grande majorité des cas, il y a une concordance entre les années sèches et les cernes minces, d'une part, et les années humides et les cernes larges, d'autre part.

o **Le Thuya de Berberie :**

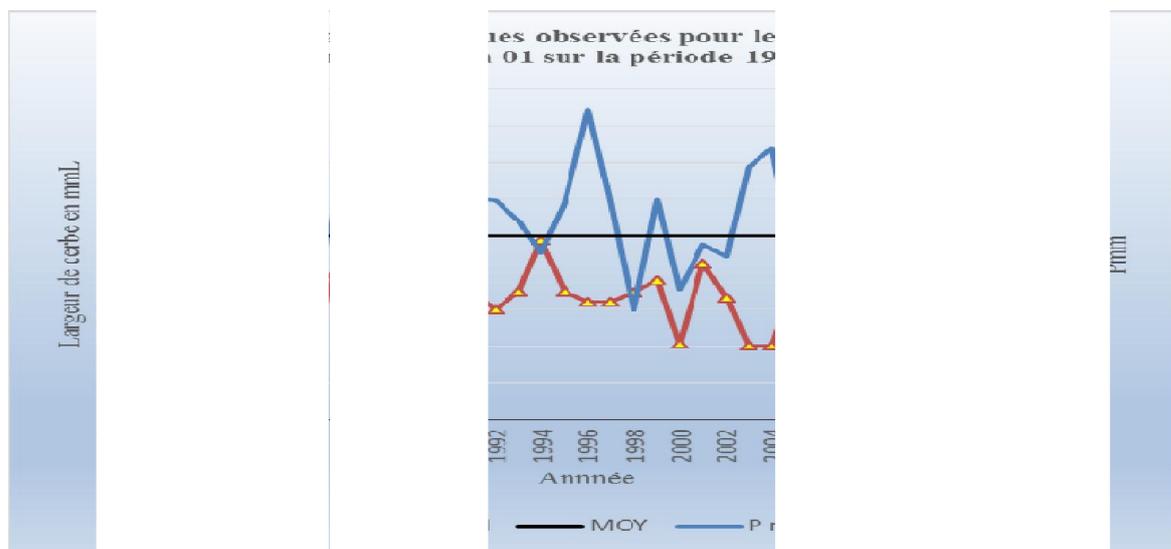


Figure 36 : Années caractéristiques observées pour le Thuya de Berberie dans la station 1 sur la période (1978 – 2014) AM : accroissement moyen du Thuya de Berberie de la station 1 (altitude 900 m). Moy : l'accroissement moyen. Pmm : précipitations annuelles en mm.

Les années présentant des valeurs larges des cernes du thuya de Berberie, mesurées dans la station 1 sont : 1980, 1985, 1988, 1994, 1999, 2001, 2004, 2008.2011 Les cernes minces sont remarqués dans les années suivantes : 1981, 1983, 1986, 1987, 1989, 2000, 2002, 2003, 2006.2010.

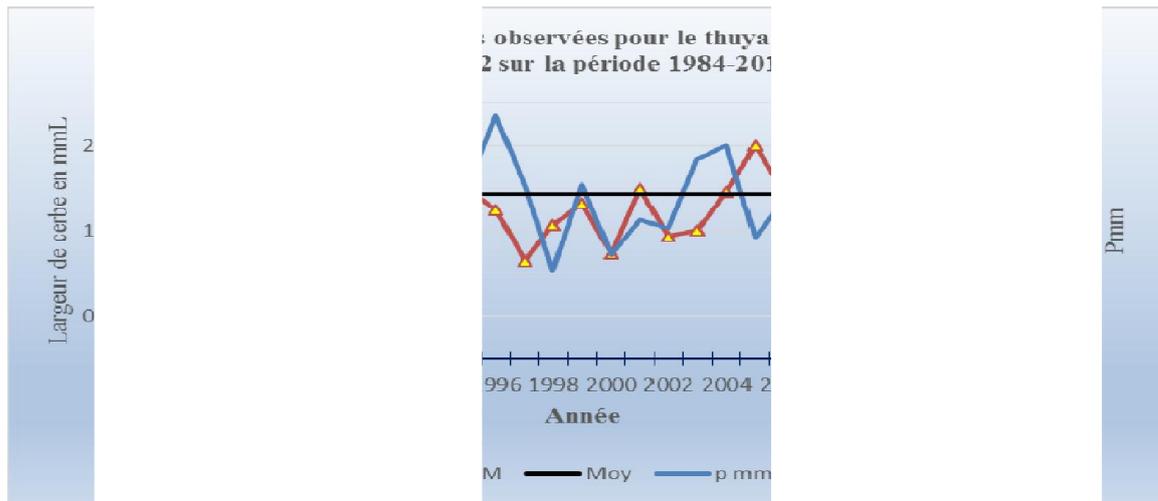


Figure 37 : Années caractéristiques observées pour le Thuya de Berberie dans la station 02 sur la période (1984- 2014). AM ; accroissement moyen du Thuya de Berberie de la station 02 (altitude 960 m). Moy : l'accroissement moyen

Pour la station 02, les années présentant les croissances les plus faibles sont : 1989, 1997, 2000, 2002, 2007.2013 Par ailleurs, les années présentant les croissances les plus importantes sont : 1987, 1990, 1999, 2001, 2005, 2008.2010.

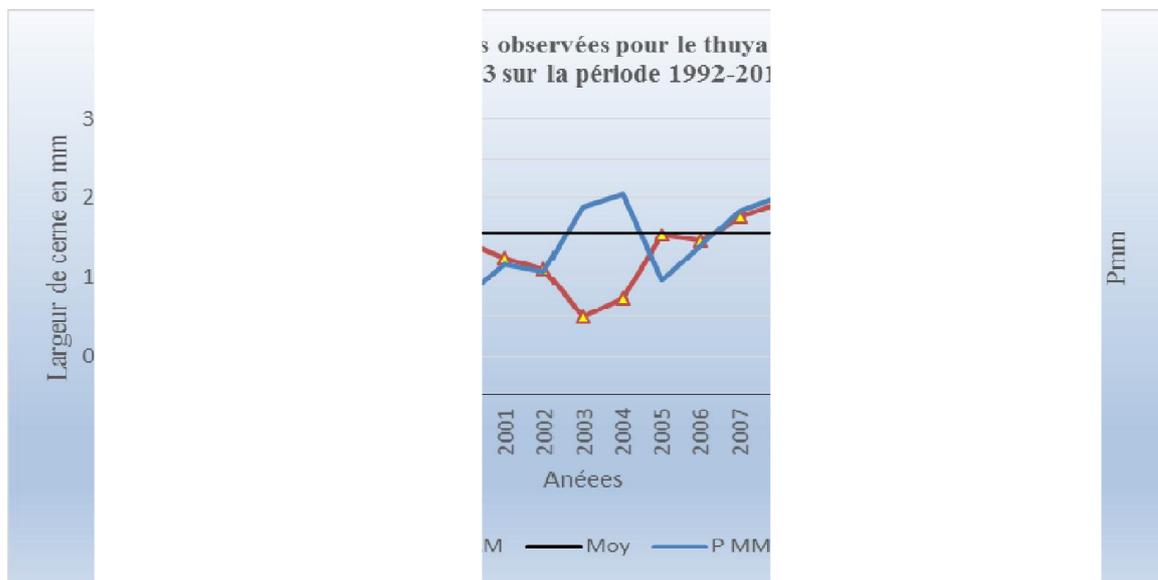


Figure 38 : Années caractéristiques observées pour le Thuya de Berberie dans la station 3 sur la période (1992- 2014). AM : accroissement moyen du Thuya de Berberie de la station 3 (altitude 1007 m). Moy : l'accroissement moyen. Pmm : précipitations annuelles en mm.

Les années caractéristiques observées pour le Thuya de Berberie dans la station 3 sont :
 - Années caractéristiques positives : 1993, 1995, 1999, 2005, 2008.2010

- Années caractéristiques négatives : 1994, 1997, 2000, 2003, 2013

Pour montrer les années caractéristiques les plus fréquemment observées pour la population totale de thuya de Berberie, aussi une comparaison entre les stations a été faite pour la période commune entre elles (**Figure 39**).

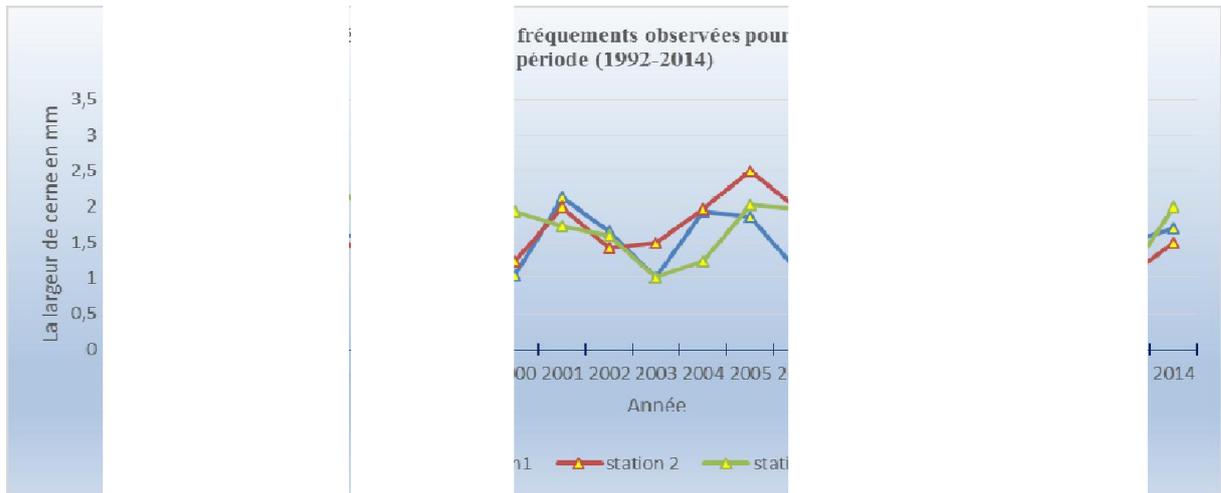


Figure 39 : Années caractéristiques les plus fréquemment observées pour le Thuya de Berberie sur la période 1992 - 2014.

Sur la période 1992-2014, le Thuya de Berberie présente 13 années caractéristiques, définies à partir des maxima et minima caractéristiques. Elles se répartissent en sept années à croissance faible (cernes étroits) et six années à croissance forte (cernes larges).

En regardant les années caractéristiques et les années extrêmes au niveau des précipitations, les relations ne sont pas évidentes entre les deux.

L'effet des précipitations sur la croissance du Thuya de Berberie dans toutes les stations se révèle plutôt faible ici. Il ne permet pas d'expliquer la tendance à la diminution ou l'augmentation de la croissance observée.

Cependant, les années présentant les croissances les plus faibles (1997, 2000, 2002, 2003, 2013) ne sont pas parmi les plus sèches.

Ainsi les années les plus humides (1996, 2009) ne donnent que des valeurs d'accroissement moyennes, et les années à plus forte croissance moyenne (1999, 2005) ne sont pas parmi les plus arrosées. Il est possible qu'au-dessus d'un certain seuil, les précipitations annuelles n'aient plus d'effet sur la croissance de cette espèce. Il semble que les précipitations annuelles élevées n'ont pas influencé la croissance.

1.4.1.2. Relation cernes - températures :

○ Pin d'Alep :

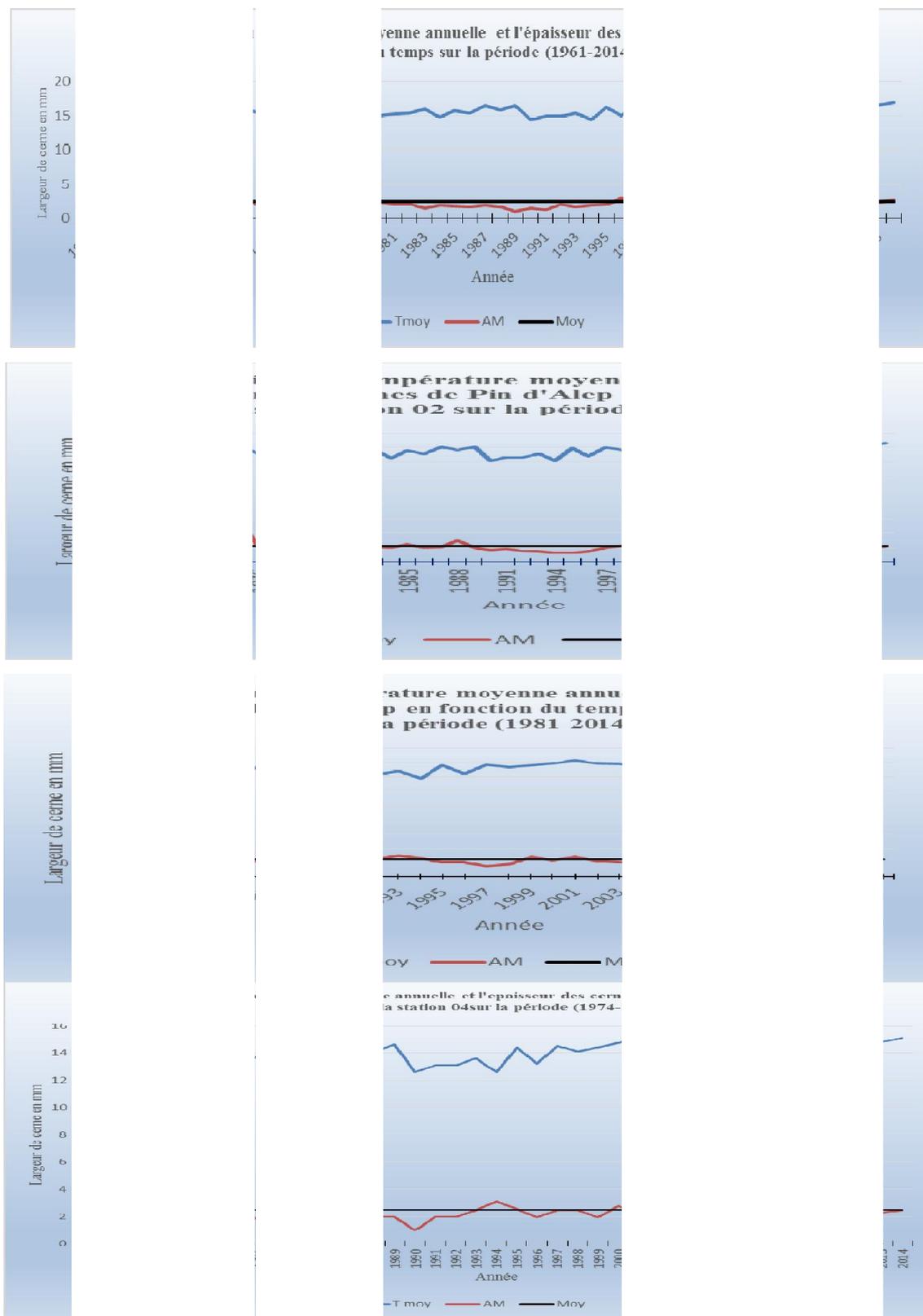


Figure 40 : La variation de la température moyenne annuelle et l'épaisseur des cernes de Pin d'Alep dans les 4 stations en fonction du temps.

o Le Thuya de Berberie :

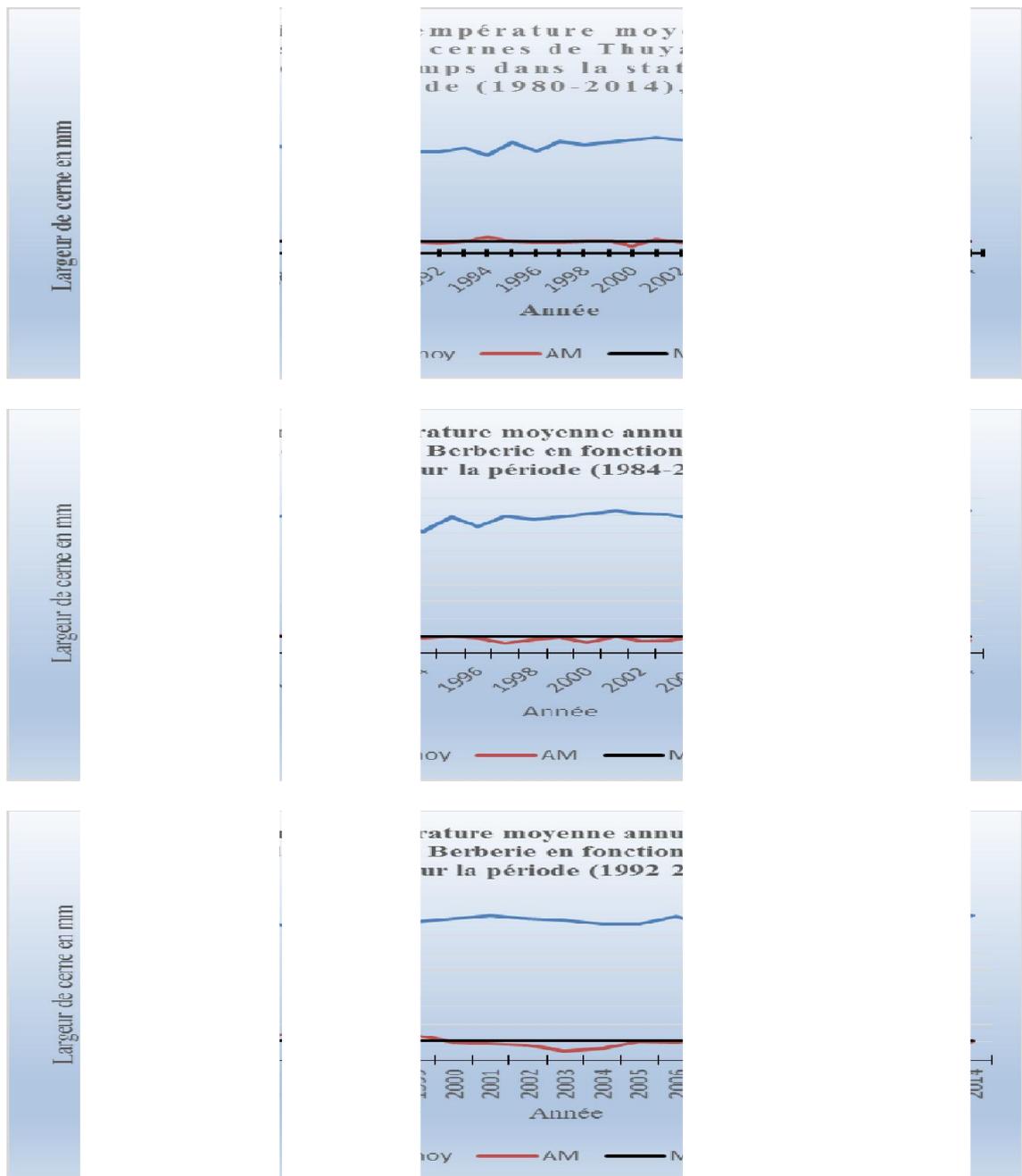


Figure 41 : La variation de la température moyenne annuelle et l'épaisseur des cernes de Thuja de Berberie dans les 3 stations en fonction du temps.

La relation entre la température et les largeurs de cernes pour les deux essences est faible (**Figure 40 et 41**). Elle n'apporte pas d'information claire. Aucune tendance ne se manifeste dans les résultats fournis ce qui est logique puisque les valeurs des températures utilisées dans cette étude sont des valeurs moyennes annuelles qui ne tiennent pas compte des moyennes mensuelles, ni de la température pendant la saison de croissance.

En effet, nous sommes confrontés à des problèmes d'interprétation de ces résultats. Il reste toutefois de nombreuses zones d'ombre qui peuvent être expliquées par des imperfections liées à l'application de la méthode où encore par des lacunes dans la disposition des données climatiques. Nous tenterons d'expliquer les limites de notre étude dans la suite du chapitre.

1.4.2. Le coefficient de la sensibilité moyenne :

o Pin d'Alep :

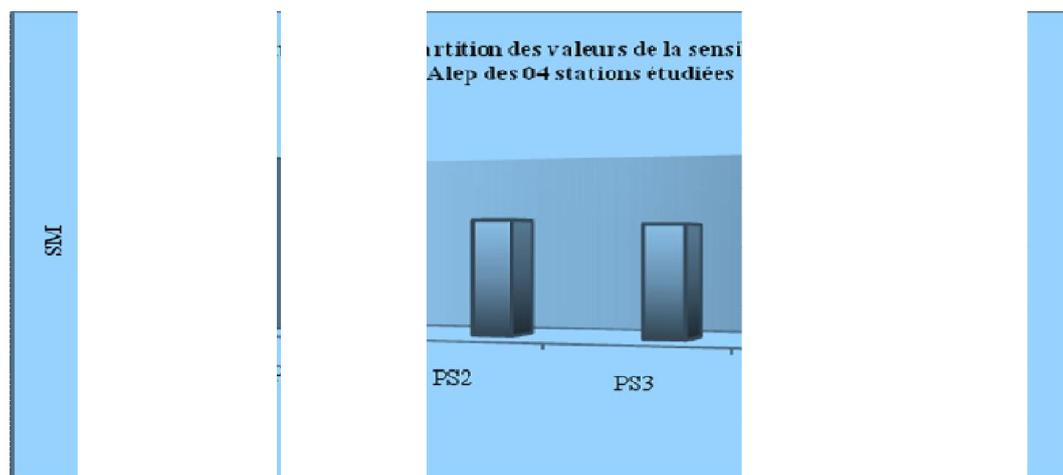


Figure 42 : Comparaison de la sensibilité moyenne (SM) de Pin d'Alep dans les 4 stations.

Le coefficient de Sensibilité Moyenne (SM) des 4 chronologies stationnelles des cernes de Pin d'Alep varie de 0.24 à 0.26 (**Figure 42**), avec une valeur moyenne de 0.24, il montre l'existence d'un signal climatique assez fort dans la succession des cernes.

Le calcul de la sensibilité moyenne (SM) des peuplements dans chaque station montre que les stations ont des sensibilités moyennes proches (0.24, 0.25, 0.24, 0.26) elle reste assez constante quelle que soit l'altitude (**Figure 42**).

o Le Thuya de Berberie :

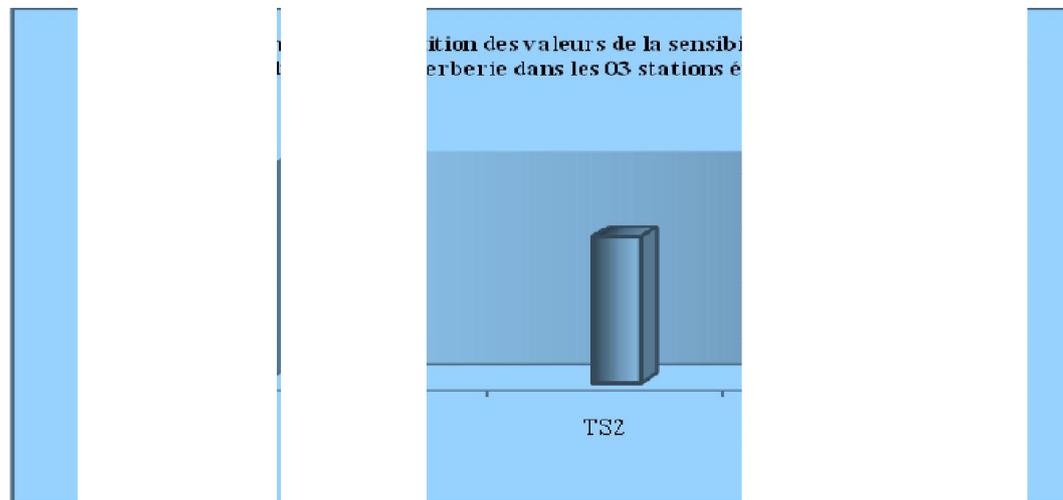


Figure 43: Comparaison de la sensibilité moyenne (SM) de Thuya de Berberie dans les 3 stations.

La Figure 43 révèle que les 3 stations de Thuya de Berberie semblent avoir des sensibilités peu variables au climat. La valeur moyenne de la sensibilité de ces individus étudiés au climat est de 0,21.

2. Discussion :

La dendrochronologie est encore une discipline peu connue et peu pratiquée par les chercheurs. Ainsi, les équipements utilisés dans ce domaine sont encore insuffisants voire inexistant. Ainsi, les travaux en laboratoire nécessitent du temps pour obtenir des résultats adéquats avec les matériels disponibles. Ce qui nous a un peu handicapés dans la réalisation de ce travail. Toutefois, les objectifs sont atteints

Après les opérations de prélèvements et l'analyse des résultats dans lequel s'intègre un bois, nous avons précisé que la dendrochronologie accorde beaucoup d'importance au choix des échantillons qui, en fonction de la problématique posée, vise à constituer une séquence idéale.

Une bonne expérience et une bonne disposition à cet exercice influence très sensiblement les résultats.

En effet, la part d'interprétation dans la lecture de la limite de chaque cerne ou dans l'appréciation de la croissance du bois dans son ensemble est importante

L'examen des profils de la croissance radiale montre la superposition d'influences multiples qui se manifestent par:

- l'accroissement du Pin d'Alep est toujours supérieur à celui des Thuya de Berberie qui est le moins sensible aux variations climatiques.

Après synchronisation des séries chronologiques, les indices de cernes ont été mis en relation avec une série de facteurs climatiques, souvent repris dans la littérature scientifique, sous forme de graphe. Une analyse de ces corrélations confirme bien les connaissances actuelles sur la dendrochronologie des essences. **(Lebourgeois.F,2010).**

Dans les quatre stations d'étude, pour les deux espèces une réduction significative de l'épaisseur des cernes en fonction de leur âge cambial (marquée sur les graphes de la Figure 28 pour le Pin d'Alep et figure 29 pour le Thuya de Berberie) est observée sur les rondelles étudiées. Cette réduction peut être interprétée comme l'effet de l'âge qui peut provoquer des coupures des branches et chute des feuilles au niveau de l'arbre entraînant une perturbation de leurs activités physiologiques voire perturbation de la croissance. Ces résultats ont permis de conclure que les cernes de croissance sont annuels.

Il faut aussi savoir que plus un arbre est vieux moins les anneaux qu'il fabrique sont épais. C'est donc un paramètre dont il faut tenir compte et qu'il faut rectifier : deux anneaux de la même taille n'auront pas le même sens s'ils ont été produits quand l'arbre avait 3 ans ou quand il en avait 100.

Une tendance générale: c'est le cas avec l'effet de l'âge qui montre une décroissance négative. La décroissance reflète une perte de vigueur de l'arbre mur et une stabilisation et adaptation de l'arbre à son environnement (peuplement entier et potentialités du site). Le caractère âge-dépendant de la largeur de cerne est un phénomène déjà observé (**Fritts, 1971 ; Cook et Kairiukstis, 1990 ; Schweingruber, 1990 in Mérian, 2008**), avec une corrélation négative entre ces deux variables.

L'âge affecte en effet directement la largeur du cerne. Lorsqu'un arbre est jeune, l'accroissement est vigoureux et assez soutenu. En vieillissant, l'accroissement diminue progressivement jusqu'à la mort de l'arbre

La vitalité d'un arbre et la compétition qu'il subit influencent aussi fortement son potentiel d'accroissement et sa réactivité à toute perturbation. En cas d'éclaircie forte par exemple, les arbres dominants et sains sont les premiers à profiter de l'apport de lumière et du nouvel espace disponible et forment directement de larges cernes dès l'année suivante. C'est notamment l'explication des cernes « en accordéon » bien connus en taillis-sous-futaie.

En effet, le vieillissement est également caractérisé par une augmentation de la sensibilité des arbres aux perturbations environnementales (**Mueller-Dombois, 1993**). Ainsi, l'âge est considéré comme l'un des facteurs prédisposant du processus complexe de dépérissement et de mort prématurée des arbres (**Manion et Lachance, 1992**).

La corrélation entre l'accroissement moyen annuel et les paramètres climatiques n'indiquent pas avec quelle ampleur l'accroissement peut être affecté. En effet, ces résultats indiquent que la sensibilité du Thuya de Berberie aux paramètres climatiques est moindre, en dépit d'une plus forte corrélation. Alors, la relation entre le climat et la variabilité inter-annuelle de la croissance radiale du Thuya de Berberie reste hétérogène, puisque aucune variable climatique n'influe significativement sur la largeur des cernes. L'étude des années caractéristiques pour le Thuya de Berberie a montré qu'aucun des variables du climat (précipitations et températures) ne puisse être identifié comme jouant un rôle majeur.

Celles-ci ne sont pas toujours faciles à interpréter surtout en raison des nombreux événements climatiques qui peuvent se succéder une même année. De plus, différents facteurs n'ont pas été pris en compte ici peuvent influencer fortement la taille du cerne du Thuya comme les conditions stationnelles ou bien encore l'exposition.

La caractérisation des conditions stationnelles (régimes hydrique et trophique, microclimat) est donc primordiale lors d'études dendrochronologiques, au même titre que l'historique des événements qui ont pu influencer la croissance de manière ponctuelle (défoliations par les insectes, par exemple) ou plus durable (éclaircies, retombées atmosphériques...). Idéalement, il faudrait aussi connaître le potentiel génétique des arbres et des peuplements.

Pour le Pin d'Alep, nos résultats ont montré une sensibilité aux précipitations qui reflètent l'importance du stress hydrique dans le contrôle de la croissance, ainsi les variations des précipitations peuvent influencer sur la croissance des cernes. Le signal climatique intégré est donc celui des fluctuations des pluies. Il semblerait que les années caractéristiques positives se distinguent par des précipitations importantes, sauf l'année 1998 où nous avons remarqué une croissance importante malgré la faible quantité de la précipitation. Par ailleurs, il semblerait que la fréquence ou l'intensité des pluies au cours de l'année, soient favorables à la croissance du Pin d'Alep, ainsi que le niveau d'accroissement au cours d'une année donnée ne dépend pas seulement des conditions météorologiques correspondantes, mais aussi de celles des années précédentes. Il est possible que le pin d'Alep profite mieux du début pluvieux de la saison de végétation, et assure ainsi une part importante de sa croissance avant l'installation de la sécheresse.

On peut aussi noter que d'une année sur l'autre les anneaux ne sont pas tout à fait indépendants : une bonne ou une mauvaise année pour l'arbre aura encore des conséquences sur l'anneau formé l'année suivante. Les années caractéristiques négatives offrent des précipitations moins importantes. Au cours des années caractéristiques négatives, un certain stress hydrique apparaît défavorable à la croissance du Pin d'Alep.

L'analyse de la courbe de croissance des cernes et la courbe des précipitations moyennes annuelles pour le Pin d'Alep montrent que la croissance du bois est influencée par les précipitations. Cette espèce présente le plus souvent les mêmes réactions par rapport aux variations des précipitations. Par contre, pour le Thuya de Berberie qui n'est pas fondamentalement affecté à la fois en termes de sensibilité et d'impact, l'exclusion est un diagnostic trop sévère. D'autres méthodes ont déjà démontré par le passé sa bonne adaptation aux conditions extrêmes.

Plusieurs auteurs ont d'ailleurs constaté une corrélation positive entre la variation des précipitations et largeur de cernes du Pin d'Alep (**Bouzig et al., 2007**) lors d'une étude dendroclimatologique menée sur trois espèces forestières en Tunisie (*Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinea* L. et *Pinus pinaster* Sol.) concernant la relation entre la croissance radiale de ces espèces et le climat, a observé une relation nette entre l'augmentation de la sécheresse et l'apparition de cernes minces dans tous les bioclimats pendant la période (1978-2001).

El-Khorchani (2006) simule une forte diminution de la croissance du Pin d'Alep liée à la diminution des précipitations. Ces précipitations ont une influence positive permettant d'une part de reconstituer les réserves en eau du sol et de favoriser la croissance et le développement des organes moteurs de la croissance radiale tels que les bourgeons, les racines et les primordiums foliaires.

Ce n'est pas le cas pour les températures, les données n'indiquent pas de relation claire entre la largeur des cernes et les températures moyennes annuelles. En effet, la prise en compte de la variable température tant en valeurs moyennes annuelles qu'en valeurs moyennes mensuelles ne montre pas le rôle majeur de cette dernière sur les variations interannuelles des rythmes et des taux de croissance pour les deux essences. En effet, seule une étude à plus long terme pourra déterminer plus précisément le rôle de la température, et l'évaluation du nombre de degrés nécessaires au déclenchement de l'activité de croissance.

Une technique d'analyse comparable permet à **Cailleret (2007)** lors de l'étude dendroécologie comparée du Sapin Pectiné et du Hêtre Commun le long d'un gradient altitudinal sur le mont-Ventoux début des Pré-Alpes sèches de montrer que l'étude des moyennes annuelles de température n'indique aucun effet sur la taille des cernes; ce n'est qu'en affinant l'analyse grâce aux moyennes mensuelles, que de nombreux points peuvent être observés. Tout d'abord de fortes températures au cours de l'été de l'année précédente (juillet-août) ont un impact négatif sur la croissance de l'année en cours pour les 2 espèces étudiées. Ensuite, les conditions climatiques de l'hiver (octobre - janvier) précédant la saison de végétation ne semblent avoir aucun effet.

Gonzales (2007) montre que d'une manière générale, le facteur climatique mensuel influençant significativement la croissance du bois total, agissant ainsi et dans la plupart des cas, de la même façon sur le bois de printemps et sur le bois d'été.

D'après les études susmentionnées, il apparaît que les conditions climatiques saisonnières jouent un rôle important dans la variabilité de largeur des cernes annuels.

L'analyse simultanée de la courbe de croissance en épaisseur moyenne annuelle des cernes, la courbe des précipitations, ainsi que les résultats sur l'étude anatomique vérifie l'hypothèse de **Poupon (1977)** sur le cerne de *C. africana* qui est annuel. Les résultats obtenus confirment également que la présence des cernes annuels dans le bois semblent dépendre du genre botanique (**Detienneet al., 1998**).

Généralement, plus les conditions environnementales sont défavorables à la croissance des arbres, plus les cernes sont étroits, plus les conditions sont favorables plus les cernes sont larges. Une relation positive entre la largeur du cerne et les précipitations durant la saison de croissance des arbres est observée (**Périgon, 2006**), mais les résultats diffèrent pour la température. Des études ont montré un effet positif de la température sur la croissance des arbres en début de saison (**d'Anigoet al, 1992 ; Schweingruber et al, 1993 ; Hofgaard et al, 1999 in Périgon, 2006**), alors que d'autres ont montré une corrélation négative pour la même période (**Dang et Lieffers 1989, Archambault et Bergeron 1992, Brooks et al. 1998 in Périgon, 2006**).

D'après les analyses statistiques, la sensibilité moyenne (SM) des peuplements dans chaque station pour les deux essences reste assez constante quelle que soit l'altitude.

Le coefficient de Sensibilité Moyenne (SM) révèle une différence de sensibilité des deux espèces aux fluctuations climatiques, sans aucun des descripteurs écologiques puisse être identifié comme jouant un rôle majeur. Les sensibilités moyennes des chronologies varient de 0.24 à 0.26 pour le Pin d'Alep et de 0.20 à 0.22 pour le Thuya de Berberie.

On peut considérer que la sensibilité du Pin d'Alep au climat est relativement élevée car les valeurs de la sensibilité moyenne (SM) (0.24, 0.26) sont proches des valeurs trouvées pour le hêtre (connu comme espèce sensible au climat) par **Lebourgeois (2002)**. Sa valeur élevée traduit une forte réponse des arbres vis-à-vis des fluctuations climatiques inter-annuelles. Par contre, le Thuya de Berberie est moins sensible au climat (SM de 0,21).

En conclusion. Nous pouvons dire que les deux essences répondent très différemment aux conditions météorologiques moyennes et extrêmes. Le Thuya de Berberie apparaît particulièrement insensible aux fluctuations interannuelles du climat, alors que la croissance du Pin d'Alep est plus modulée par ces mêmes fluctuations. Cette adaptation de Thuya peut partiellement expliquer le maintien de cette endémique.

Par ailleurs, plusieurs études dendroécologiques et dendroclimatologiques utilisent la relation de la croissance des arbres avec le climat montrent que la réponse au climat est différente d'une espèce à l'autre à cause de la différence de physiologie entre les espèces.

De plus, les réponses des espèces varient d'une région à l'autre. Ainsi, **Lebourgeois (2005)** a montré que les caractéristiques stationnelles modulent la réponse moyenne des espèces au climat. De plus, les caractéristiques du sol, qui déterminent le bilan hydrique et donc les périodes de sécheresse en association avec le climat (**Lebourgeois, 1999; Lebourgeois, 2006**) influencent aussi les réponses de croissance des arbres.

Tout ça est bien joli, mais concrètement ces informations ne sont pas si faciles que ça à traiter. S'il a plusieurs dizaines de profils de croissance différents, ce n'est pas évident de juger à vue d'œil quelles séquences d'années correspondent. Surtout que dans la réalité, deux arbres n'auront jamais des séquences absolument identiques au millimètre près. Il y a toujours des petites variations.

En effet, il permet de mieux comprendre la réponse des arbres aux aléas climatiques par le biais de l'accroissement annuel, représenté par la largeur de cerne. En supposant que le sens de cette réponse se maintienne dans le futur, on pourrait alors prévoir la réaction des arbres et des peuplements selon différents scénarios d'évolution climatique et dans des contextes stationnels variés.

L'analyse a aussi permis d'attirer l'attention sur la multitude de paramètres qui influencent la largeur de cerne et dont il faut parfois filtrer les effets en fonction des objectifs de l'étude dendroécologique.

Une partie de ces influences, telles que les attaques biotiques, accidents ponctuels, patrimoine génétique, etc., restera d'ailleurs souvent inconnue.

3. Limites de l'étude de l'interaction climat / croissance :

Bien que pouvant accorder une certaine fiabilité à notre méthode, nous avons soulevé dans nos résultats quelques incohérences. Nous pensons donc qu'il existe certaines imperfections dans notre protocole qui pourraient les expliquer.

Premièrement, le nombre réduit d'échantillons prélevés peut ne pas traduire d'une manière fidèle les réponses au climat. De plus, l'utilisation des arbres jeunes donne des séries courtes de largeurs de cernes, ce qui ne peut pas donner trop de fiabilité statistiquement aux résultats de l'analyse de la corrélation entre ces largeurs et les paramètres climatiques quelle que soit la méthode de l'analyse utilisée.

Afin de gagner en fiabilité, il serait intéressant d'augmenter le nombre d'individus échantillonnés. Avec un effectif plus important d'arbres, de peuplements et des séries plus longues, l'étude de la corrélation serait plus fiable et les résultats plus sûrs.

Dans notre étude, nous avons été limités par le temps et le matériel nécessaire pour réaliser ces prélèvements.

D'autre part, l'analyse des relations cerne-climat se heurte malheureusement aux limitations de disponibilité de séries météorologiques de températures complètes et suffisamment détaillées. En fait, c'est l'existence ou non de données climatiques qui limitent le plus souvent les analyses.

Par ailleurs, afin d'obtenir des résultats plus tranchés, il aurait été préférable d'utiliser des technologies plus avancées et des moyens de traitement des données assez spécialisés.

Finalement, les seuls paramètres climatiques étudiés ne sont pas exclusifs. Il est effectivement indispensable de prendre également en compte l'hypothèse d'interactions des phénomènes (augmentation du gaz carbonique, température, sécheresse, fertilité du sol...).

Les relations exclusivement statistiques entre le climat et la croissance radiale doivent par conséquent être interprétées en fonction de paramètres climatiques plus élargis, et, a fortiori, en prenant en compte les caractères édaphiques et structuraux des peuplements. Une modélisation plus « fonctionnelle » de la croissance radiale nécessiterait également des connaissances écophysiologiques approfondies des espèces étudiées.

Ainsi, malgré les progrès qui seraient nécessaires pour déterminer de façon plus claire les interactions entre croissance et climat, nous avons cependant obtenu des résultats qui contribuent à améliorer notre savoir faire en dendrochronologie.

CONCLUSION

Conclusion :

L'objectif principal de cette étude était d'utiliser les anneaux annuelles de croissance du Pin d'Alep et de Thuya de Berberie pour reconstituer la variabilité climatique passé et tester le potentiel de ces espèces pour la reconstitution de l'historique de la dendrochronologie au niveau d'un massifs montagneux à différente altitude caractérisé par une végétation diversifiée.

En outre cette étude analyse la réponse de ces essences à la variabilité climatique, Associant ainsi la dendroclimatologie à la dendrécologie. Ce travail, dont les principaux résultats sont récapitulés dans cette section, apporte des éléments originaux de la dendrochronologie.

Le volet dendroclimatologique repose sur quatre sites équitablement répartis dans la région d'étude. Nos résultats mettent en évidence la sensibilité des arbres à la variation des conditions climatiques au niveau de la zone d'étude. Ceci a rendu la datation des échantillons ainsi que leur interdatation plus ou moins facile.

Grace au caractère longévif des espèces les chronologies établies sont assez longues et montrent un important potentiel pour les analyses dendrochronologiques à long terme, dans cette étude nous avons utilisé les chronologies maitresses.

Notre reconstruction des données de notre région d'étude ont été basées sur la période commune aux sites impliqués dans l'analyse ce qui a réduit considérablement les périodes de reconstruction, reposant sur la série la plus courte établie pour chaque site..

L'analyse du signale climatique a mis en évidence le grand potentiel des arbres pour la reconstruction des précipitations. Le signale climatique détecté dans les chronologies est plus fort pour le Pin d'Alep caractérisé par des conditions climatiques plus contraignantes à la croissance alors les corrélations entre les précipitions et les séries de largeur de cerne de croissance sont très a significative

La croissance radiale à montré une tendance d'évolution similaire à celle décrite pour les précipitations reconstruites : les chronologies établies sont caractérisés par une forte variabilité de la croissance sur l'ensemble de périodes d'études

Le patron de croissance des sites étudiés montre une très bonne synchronisation, le synchronisme est d'autant plus élevé que les conditions climatiques sont plus contraignantes .

La corrélation entre les sites a été faible lors des périodes humides, ayant aboutis à l'élaboration de cerne de croissance plus ou moins large.

Au contraire, c'est au cours des périodes sèches, caractérisées par une croissance faible exprimée la production d'un cerne mince que les corrélations entre les chronologies ont été les plus fortes.

L'interprétation de la relation cerne climat demande cependant que le calendrier de la mise en place du cerne soit précisé et que les liens effectifs entre événements climatiques et processus de mise en place des trachéides soit connus. C'est l'objectif qui était recherché dans la mise en place d'un poste de mesure en continu de la croissance et des paramètres climatiques.

Cependant, les contraintes techniques de mise au point et surtout le caractère limité dans le temps et dans l'espace ont limité l'exploitation synergique des deux approches. Nous avons cependant maintenant une idée bien précise des prolongements possibles de ce type de recherche.

Deux types d'approches sont ici utilisés. La première, plus axée sur la relation cerne-climat du fonctionnement de largeur de cerne de croissance des arbres en continu à une analyse des années caractéristiques dans un biotope donné. La seconde, de type statistique, cette approche à un but de tester la sensibilité des espèces aux aléas climatiques.

Le Pin d'Alep et le Thuya de Berberie, sont des essences forestières les plus importantes du couvert végétal, et malgré les perturbations, elles sont toujours en expansion. Leur importance en zone méditerranéenne, a donc conduit à s'intéresser à ces espèces dans le contexte des études d'impact des changements globaux prédits sur les espèces forestières et les écosystèmes.

La sensibilité de chaque espèce, détectée ici via les cernes, reflète en fait leurs réponses fonctionnelles aux contraintes climatiques. L'approche interannuelle permet de déterminer, comme nous l'avons montré, à quelles variables climatiques (températures, précipitation) ou, les espèces répondent le plus en termes de croissance des cernes.

Nous avons également trouvé des réponses climatiques contrastées entre espèces. Concernant le Pin d'Alep, la croissance est la plus active au climat d'une année à l'autre, parce qu'elle dure plus longtemps que celle des décidues, est influencée par les précipitations. C'est le meilleur indicateur des variations environnementales, alors que le Thuya de Berberie est insensible à ces variations. Ce constat est cohérent avec le fait que l'optimum du Pin d'Alep est situé plus haut que celui du Thuya de Berberie..

Il est intéressant de noter que la température moyenne annuelle mais surtout les précipitations annuelles n'ont pas d'effets distinctifs sur la croissance du Thuya. La relation entre le climat et la variabilité inter-annuelle de la croissance radiale du Thuya de Berberie reste hétérogène, puisque aucune variable climatique n'influe significativement sur la largeur des cernes.

A travers cette thèse, nous avons mis en évidence une sensibilité de la croissance à de multiples facteurs tel que l'effet de l'âge des peuplements, malgré la complexité de la dendrochronologie, elle est constituée d'une suite d'opérations qui ont toutes une importance fondamentale pour aboutir à de bons résultats.

RÉFÉRENCES

Références bibliographiques

1. ABBAS H., BARBERO M., LOISEL R. & QUEZEL P. 1985 a. Les forêts de pin d'Alep dans le sud-est méditerranéen français. Analyses écodendrométriques, première partie. *Forêt Méditerranéenne* 7 (1) : 35-42.
2. ABBAS H., BARBERO M., LOISEL R. & QUEZEL P. 1985 b. Les forêts de pin d'Alep dans le sud-est méditerranéen français. Analyses écodendrométriques, deuxième partie. *Forêt Méditerranéenne* 7 (2) : 123-130.
3. ACHERAR M. 1981. La colonisation des friches par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans les basses garrigues du Montpellier. Thèse de doctorat, USTL Montpellier, 210 p.
4. ACHERAR M., LEPART J. & DEBUSSCHE M. 1984. La colonisation des friches par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Languedoc méditerranéen. *Oecologia Plantarum* 5 (19) : 179-189.
5. ADDA-HANIFI N. ; BENABDELI K. ; LABANI A. ET TERRAS M. (2008) - Dynamique phytoécologique du Thuya de Berbérie face à l'incendie. *Revue Forêt méditerranéenne*, Marseille, France. Vol. 29, no1, Mars 2008, p. 33-40.
6. AIME S ; LARDON S ; REMAOUNK ; 1986 – Les structures à grande échelle de la végétation et du milieu en limite sub-humide, semi aride en Oranie. *Ecol. Med.* Pp 3-4. 49-57. Aix Marseille III.
7. AIME. S ; 1991 - Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumide, semi aride dans l'étage thermo- méditerranéen du tell Oranais (Algérie occidentale). Thèse. Doc. Univ. Aix. Marseille III. P 190 + annexes.
8. AUBERT G. 1976. Les Ericacées en Provence, répartition, édaphologie, phytosociologie, croissance et floraison. Thèse d'Etat, Univ. D'Aix-Marseille.
9. AYACHE F ; 2007 – Les résineux dans la région de Tlemcen (aspect écologique et cartographie). Thèse. Mag. Univ Abou Bekr Bekaid Tlemcen.
10. BAHAKEMI S. & SAADI M. 1985. Essai de *Bacillus thuringiensis* contre la processionnaire du pin (Chréa). Rapport Interne, INRF- Algérie, 6 p.
11. BARBERO M., CHALABI N., NAHAL I. & QUEZEL P. 1976. Les formations à conifères méditerranéens en Syrie littorale. *Ecologia Mediterranea*, n° 2, pp. 87-99.
12. BARBERO M ; QUEZEL P ; RIVAS MARTINEZ S ; 1981 – Contribution à l'étude des groupements forestiers et pré forestiers du Maroc. *Phytocoenologia*. 9, 30. Stuttgart pp : 311 – 412.

13. BAYER E., BUTTLER K.P., FINKENZELLER X. & GRAU J. 1990. Guide de la flore méditerranéenne : caractéristiques, habitat, distribution et particularités de 536 espèces. Ed. Delachaux et Niestlé, Paris. 287 p.
14. BECKER M. (1985). Avantages et limites de l'étude de la végétation spontanée pour la typologie des stations forestières. *Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 72, n° 10, pp 875-882.
15. BECKER M. ; BOUCHON J. ET KELLER R. (1988) - La dendrochronologie et la xylochronologie: des outils d'analyse rétrospective du comportement des arbres. *Revue Forestière Française* XL - n° sp. 61p.
16. BECKER M. (1989). The role of climate on present and past vitality of Silver fir forests in the Vosges Mountains of
17. BEDEL J. (1986): Aménagement et gestion des peuplements de pin d'Alep dans la zone méditerranéenne française. *Options méditerranéennes. Série d'étude CIHEAM 86/1*, 127-156.
18. BENABDELI K., KEFIFA A. ET LABANI A. (2006) - Fluctuations climatiques et dynamique de l'occupation de l'espace dans la commune de Ain El Hadjar (Saïda, Algérie). *Art sci. Sécheresse* vol. 17, n° 3, juillet-août-septembre 2006, p.391-398, 8 Fig. 5 Tab.
19. BENABID A ; 1976 – Etude écologique, phytosociologique et sylvo-pastorale de la Tetraclinaie de l'Amisttène. Thèse 3ème cycle. Univ. Aix Marseille III 155p.
20. BENABID A ; 1982 – Etude phytoécologique, biogéographique et dynamique des associations et séries sylvatiques du Rif occidental (Maroc). Thèse d'état, 200p + annexes
21. BNEF (1994) - Etude d'aménagement des forêts domaniales de tebrouria et Oum Trif, phase IV, 30 p
22. BENTOUATI A. (2006) - Croissance productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep du massif de Ouled Yagoub (W.Khenchela- Aures). Thèse de doctorat d'état en Sci.Agron. Univ Batna, Algérie. 116 p.
23. BENZIANE A. (2007) - Contribution à l'étude de la végétation dans la commune de Ain El Hadjar de Saida. *Mém ing en biologie*, Univ Saida. Algérie. 119 p. 10 Fig. 40 Tab. *Références bibliographiques* 401

Références bibliographiques

24. BERGER F. ; CORONA C. ET SAEZ J.L. (2007) - Tests de méthodes dendrogéomorphologiques pour l'analyse de phénomènes naturels. Cemagref, Institut de Géographie Alpine. France. 31 p.
25. BERJAOUI A. (1952) - La distribution des essences forestières au Liban. Revue forestière française, p. 833-837.
26. BIONDI F, QEADAN F. 2008. Inequality in paleorecords .Ecology 89 (4), 1056-1067.
27. BOUDY P ; 1950 – Economie forestère Nord Africaine. Monographie et traitement des essences. Ed. Larose. Paris. Pp : 29 – 249.
28. BOUDY P. 1950. Guide du forestier de l'Afrique du nord. Ed. La Maison Rustique, Paris. Pp : 245-258. 505 p.
29. BOUDY P ; 1952 – Guide du forestier en Afrique du Nord. Pris maison rustique. 509 p : 94fig ; 1 carte.
30. BOUGUENNA .S.2011 Diagnostic écologique, mise en valeur et conservation des pineraies de pinus halepensis de la region de djerma (nord-est du parc national de belezma, batna) à batna .Memoire de magister. Uni de batna ,13 p
31. BOUZID S. ; EL KHORCHANI A. ; GADBIN-HENRY C. ET KHALDI A. (2007) - impact de la sécheresse sur la croissance de trois espèces forestières en Tunisie (*Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinea* L. et *Pinus pinaster* Sol.). Art sci. Sécheresse vol. 18, n° 2, Avril-Mai-Juin 2007, p. 21-113.
32. BROCHIERO F. (1997) : Ecologie et croissance du pin d'Alep en Provence calcaire. Mémoire de fin d'étude CEMAGRF AIX en Provence, ENREF. 73 p.-
33. BURNEL L. ET PELISSIER. C. (2009) - Méthode de préparation d'échantillons de bois feuillus pour utilisation en dendrochronologie. Cah. Techn. INRA, p. 5-12.
34. CAILLERET M. (2007) - Dendroécologie comparée du sapin pectiné et du hêtre commun Le long d'un gradient altitudinal. Mém de Master 2 Systèmes Ecologiques : Fonctionnement et Modélisation des Ecosystèmes terrestres. INRA Centre d'Avignon, Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes. 28 p.
35. CALAMASSI R., FALUSI M. & TOCCI A. 1984. Effet de la température et de la stratification sur la germination des semences de *Pinus halepensis* Mill. *Silvae genetica* 33 (4-5) : 133-139.
36. COOK E. R., JOHNSON A. H. & BLASING T. J. 1987 - Forest decline : modeling the effect of climate in tree rings. Tree Physiology, 3, pp. 27-40.

Références bibliographiques

37. DAMIEN. M, Déterminisme, dynamique et modélisation spatiale de la diversité floristique dans un contexte de déprise pastorale. Thse de doctorat, ENGREF et INRA Toulouse, 307p.
38. DE MARTIN P. (1974) - Analyse des cernes dendrochronologie et dendroclimatologie. Edit, Masson Et Cie. Paris, 78p. 21 Fig.
39. DRADO LINAN L. GUTIERREZ E, ANDREN-HAYLES, HELLE G. 2012 .Potentiel to explain climate from free rings in the south of the Iberian Peninsula .Clim .Res . 55,121-136, doi : 10.3354/cr01126
40. EL KHORCHANI A. (2006) - Approche dendrochronologique de l'influence des changements climatiques sur la productivite des forets de pin d'Alep (*Pinus halepensis mill.*) en Tunisie. Mem Doc. La faculté St-Jérôme – Marseille.
41. EL HAMROUNI A ; 1978 – Etude phyto-sociologique et problème d'utilisation et d'aménagement dans les forêts de Pin d'Alep de la région de Kassarine (Tunisie centrale). Thèse 3ème cycle. Univ. Aix Marseille III. 106p.
42. EMBERGER L ; 1930_A - sur une formule climatique applicable en géographie botanique .C.R.A cad. Sc ; 1991. Pp : 389-390.
43. EMBERGER L ; 1930 – B - la végétation de la région méditerranéenne .Essai d'une classification des groupements végétaux.Rev.Géo.Bot 42.Pp :341-404.
44. EMBERGER L ; 1938 – Aperçu général su la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique. Bull. SX. Hist. Nat. Toulouse, 77 pp : 97 – 124.
45. EMBERGER L ; 1939 - Aperçu général sur la végétation du Maroc. Verof. Geobot. Inst. Rubel Zurich, 14. Pp 40-157.
46. EMBERGER L ; 1942 - Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique-Bull.SX.Hist.Nat Toulouse, 77.Pp :97-124.
47. EMBERGER L ; 1952 – Sur le quotient pluviothermique. C.R. Sci ; n°234 : 2508 – 2511 – Paris.
48. EMBERGER L ; 1955 – Une classification biogéographique des climats. Recueil. Trav. Labo. Géol. Zool. Fac. Sci. Montpellier. 48p.
49. 100. EMBERGER L ; 1971 – « Travaux de botanique et d'écologie » .Ed . Masson. Paris. 520p
50. FAVAND G. (2007) - Impact de différents travaux de préparation du sol sur : la régénération des peuplements de pin d'Alep, et la diversification de ces peuplements par semis de chêne vert et chêne pubescent. Mém ing. L'Institut de Recherche en

Références bibliographiques

- Sciences et Technologies pour l'Environnement. CEMAGREF. Provence, France. 83p.
11Fig. + annexes.
51. FEKROUN Z. & CHABIRA N. 2003. Contribution à l'étude écobioécologique des principaux parasitoïdes des oeufs et des chrysalides de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* et évaluation de son aptitude de diapause nymphale à Djelfa. Mémoire d'ingénieur. Univ. de Djelfa, 98 p.
 52. FENNANE M; 1982 – Analyse phytogéographique et phytoécologique des *Tetraclinaies* Marocaines. Thèse 3° Cycle. Univ. Aix – Marseille III.
 53. FENNANE M ; 1987 – Etude phytoécologique des *Tetraclinaies* Marocaines. Thèse d'état. 150 p. Annexe tableau phytosociologiques. Univ. Aix Marseille III.
 54. FENNANE M ; 1988 – Phytosociologie des *Tetraclinaies* marocaines. Bull. Inst. Sci. Rabat. 12 pp : 99 – 148.
 55. FETATI R. (1996) - Bilan productif de cinq espèces résineuses dans un étage sub-humide. Cas de la forêt de Bainem. Mém ing en Sci.Agron, Institut National d'Agronomie, El-Harrach, Alger. 92 p. 18 Fig. 23 Tab.
 56. FRANCELET A. 1970. Stimulation de l'ouverture des cônes de pins. Institut National de Recherches forestières Tunisien, Note technique 13 : 2-3.
 57. FRITTS H. C. 1976 - Tree ring and climate. Academic Press, New York, 567 p.
 58. FRITTS H.C. - Tree-ring and climate. - New York , Academic Press, vol. n° 1976, pp. 576.
 59. FRITTS, H. C., E. A. Vaganov, I. V. Sviderskaya and A. V. Shashkin. 1991. Climatic variation and tree-ring structure in conifers: Empirical and mechanistic models of tree-ring width, number of cells, cell size, cell-wallthickness and wood density. *Climate Research* 1 (2): 97-116
 60. GAGNON D. (2006) - Les outils du forestier : La tarière de Pressler. Ingénieur forestier SNG-Foresterie. Art sci. (FORUM agricole foresterie agroalimentaire). <http://www.forum17.com/Foresterie/2006-10-11/article-1235010/Les-outils-du-forestier-%3A-La-tariere-de-Pressler/>1 *Références bibliographiques* 401
 61. GAUSSEN H ; 1954 - Géographie des plantes. Ed 2. P 333
 62. GAUSSEN H, LEROY .J.F; OZENDA P; 1982 - Précis botanique 2.Les végétaux supérieurs.Edit Masson. Paris. Pp : 500-501.
 63. GENET H. (2009) - Effets du vieillissement et de la fertilité minérale sur l'allocation du carbone entre la croissance, le stockage de réserves et la reproduction chez le chêne

- et le hêtre. Mém Doc en biologie forestière, Univ Henri Poincaré - Nancy I. Faculté des Sciences Domaine scientifique -Nancy – France. 237 p. 62 Fig. 29 Tab.
64. GONZALES E. (2007) - Quel potentiel sylvicole pour les accrus de frêne dans les Hautes Pyrénées, Détermination des facteurs climatiques et stationnels limitant la croissance de *Fraxinus excelsior* dans les Hautes-Pyrénées. Mém ing des Travaux Agricoles. Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux. INRA-INP / ENSAT –Toulouse-Auzeville. 60p. 23 Fig. 7 Tab.
65. GUIBAL F, TESSIER L .1998 , L'apport de l'analyse dendrochronologique et dendroclimatologique à la connaissance du climat de la vallée du rhone du 1^{er} s .avant J-C . au II^e s. après J-C .In ; Méditerranée .Tome 90, 4-1998 .Archéologie et paléopaysages pp5-10
66. GUIBAL F. (1998) - Les méthodes de la dendrochronologie : son application au domaine alpin. *in* Histoire et Anthropologie des populations de l'arc alpin. Université d'été, Université de la Méditerranée, Marseille, p.21-27. 5 Fig.
67. HADDAD A. ; JANIN G. ; KAID-HARCHE M. ; LACHENAL D. ET MARECHAL A. (2006) -Caractéristiques papetières de la pâte de bois de Thuya de Berberie (Algérie) (*Tetraclinis articulata Vahl*) obtenue par un procédé soude-anthraquinone. Ann. For. Sci, no 63, p.493-498.
68. HADJADJ AOUAL S ., 1988 – Analyse phytoécologique du Thuya de Berbérie en Oranie. Thèse. Mag. Univ. Oran. 150p.
69. HADJADJ AOUL S., 1991 - Les peuplements de *Tetraclinis articulata* sur le littoral d'Oran (Algérie). Écol. médit., XVII, 63-78.
70. HADJADJ AOUAL S ; 1995 – Les peuplements du thuya de berbérie en Algérie : phytoécologie syntaxonomie , potentialité sylvicoles. Thèse Doct .Es .Sci .Univ .Aix – Marseille. 159p + annexes.
71. HADJADJ AOUAL S ; 2009 - Effet des facteurs environnementaux sur les premiers stades de la régénération naturelle de *Tetraclinis articulata* (Vahl, Master) en Oranie (Algérie). *ecologia mediterranea*. Vol. 35 – 2009. Pp : 20 – 31.
72. ILMEN R. 2014 Growth dynamics and potential for multi –century climate reconstruction of *Cedrus atlantica* M. in Morocco of Ecology Environment § Biology 97-103.
73. KADIK B. 1983. Influence du climat sur la répartition naturelle du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie. Annales des Recherches Forestières, Algérie INRF (2) : 61-75.

74. KADIK B. 1984. Contribution à l'étude phyto-écologique de la formation à *Pinus halepensis* Mill. Dans les Senalba chergui et gharbi (Atlas saharien) – Thèse de docteur de troisième cycle en biologie végétale- Univ des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger. Pp : 47-147.
75. KADIK B. 1985. Aperçu sur les sols et la végétation des pineraies d'Eghti (Sidi Bel Abbas). *Ann. Recherche Forestière en Algérie*. Ed : INRF. Volume 1. Pp : 7-22.
76. KADIK B. 1987. Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie : Ecologie, Dendrométrie, Morphologie. Office des publications universitaires (Alger). 585 p.
77. KADIK B. & HAMOUDI A. 1976. La chenille processionnaire du Pin (*Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff.), Biologie et moyens de lutte, Note technique, Centre National de Recherche et d'expérimentation forestière, 8 p.
78. KHERCHOUCHE D .KALLA M.GUTIERREZ EM .ATTALAH S .BOUZGHAIA M. 2012 Impact of droughts on *Cedrus atlantica* forests dieback in the Aures (Algérie) .*J. Life Sci* 6, 1262-1269.
79. KHERCHOUCHE D .KALLA M.GUTIERREZ E, BRIKI A, HAMCHI A.2013 .La sécheresse et le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Belezema (Algérie) .*Sécheresse* 24(2), 129-37.
80. KHERIEF N. S. (2000) - Etude de la variabilité des températures extrêmes et pérennité des arbres urbains dans la région de Constantine. Mém Magister, Univ de Constantine. 179p. 17 Fig. 34Tab.
81. LABANI A. (2006) - Cartographie écologique et évaluation permanente des ressources naturelles et des espaces productifs dans la wilaya de Saida. Mém Doc, Univ Sidi Bel Abbes. 229p. 39 Fig. 92 Tab
82. LAMBERT G. ; Lavier C. ; Perrier P. et Vincenot S. (1988) - Pratique de la dendrochronologie, Histoire et Mesure. Vol 3, no 3, p. 279-308. *Références bibliographiques* 401
83. LAPIE G ET MAIGE A ; 1914 – La flore forestière illustrée de l'Algérie. Paris, 360p.
84. LEBOURGEOIS F. (1997) - La dendrochronologie. *In* : Rapport RENECOFOR. Etude dendrochronologique des 102 peuplements du réseau. Off National de Forêts, Département des Recherches Techniques, 307 p.
85. LEBOURGEOIS F. (1999) - Les chênes sessile et pédonculé (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) dans le réseau RENECOFOR : rythme de croissance radiale, anatomie du bois, de l'aubier et de l'écorce. *Revue Forestière Française* 51, p. 522-536.

86. LEBOURGEOIS F. (2000) - Climatic signals in earlywood, latewood and total ring width of Corsican pine from western France. *Annals of Forest Science* 57, p.155-164.
87. LEBOURGEOIS F. (2002) - La dendrochronologie. DEA de Biologie Forestière, Univ Henri Poincaré – Nancy I, version 2, novembre 2002, 26 p.
88. LEBOURGEOIS F. (2005) - Approche dendroécologique de la sensibilité du hêtre (*Fagus sylvatica L.*) au climat en France et en Europe. *Revue Forestière Française* 57, p. 33-50.
89. LEBOURGEOIS F. (2006) - Sensibilité au climat des chênes sessile et pédonculé dans le réseau RENECOFOR. Comparaison avec les hêtraies. *Revue Forestière Française* 58, p. 29-44.
90. LEBOURGEOIS F. (2008) - Introduction à la Dendrochronologie, Laboratoire d'Etude des Ressources FORêt-Bois, Unité Mixte de Recherches INRA-ENGREF - Ecologie Forestière - Déc. 2008, 56 p.
91. LEBOURGEOIS F. (2010) - Analyse des cernes : principes et méthodes de la dendrochronologie. Equipe Ecologie Forestière – ENGREF – Version 3, Mars 2010, 69 p.
92. LEBOURGEOIS F. ; Granier A. et Bréda N. (2001) - Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. Réflexions en terme de conséquences pour les écosystèmes forestiers. *Annals of Forest Science* 58, p. 733-754. *Références bibliographiques* 401
93. LE HOUEROU H. N. 1969. La végétation de la Tunisie steppique. *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie*, 42 (5), 624 p.
94. LETRECH BELLAROUCI N., 1991 - Les reboisements en Algérie et leur perspective d'avenir. Vol. I. OPU, Alger. 294 p
95. LOISEL R. 1976. Place et rôle des espèces du genre *Pinus* dans la végétation du sud-est méditerranéen Français. *Ecologia Mediterranea* 2 : 131-152.
96. LOISEL R ; 1978 – Phytosociologie et phytogéographie, signification phytogéographique du Sud-Est méditerranéen continental Français. V Doc. Phytosociologique, N.S. Vol. II. Lille pp : 302-314.
97. LOISEL R ; GAMILA H ; ROLANDO CH ; 1990 – Déterminisme écologique de la diversité des pelouses dans la plaine de la Crau (France méridionale). Volume jubilaire du prof. Quezel. *Ecol. Med.* XVI ; 1990, Marseille. Pp : 255 – 267.
98. LOISEL R et GAMILA H ; 1993 - Traduction des effets du broussaillement sur les écosystèmes forestiers et préforestiers par un indices de perturbations. *Ann.*

- Soc. Sci. Nat. Archéol. De Toulon du var. Pp : 123-132.
99. LONG G. 1954. Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie centrale. Ann. Serv. Bot. Agron. Tunisie, 27 : 1-38.
100. MAATOUG M ; 2003 – Effets des facteurs stationnels sur les propriétés physiques, mécanique et papetières du bois du Thuya de Maghreb, *Tetraclinis articulata Vahl*. Master (Algérie occidentale). Thèse de Doctorat D'état en Ecologie végétale et foresterie. Univ. Djilali Liabès. Sidi Bel Abbès. 140p.
101. MAIRE R ; 1926 - Principaux groupements végétaux d'Algérie. Station Centrale des Recherches en Ecologie Forestière C.N.R.E.F. ; I.N.R.A ; d'Algérie 7p.
102. MAIRE R ; 1952 – Flore de l'Afrique du Nord. T1. Ed. Le chevalier. Paris.
103. MARION C. (2005) - Dendrochronologie -enquête sur le passé récent. Laboratoire de Whitehorse, Yukon, Programme GLOBE Canada.
104. MARSAUD É. et Paccard A. (2006) - Etude de l'impact du réchauffement climatique sur l'Epicea Commun (*picea abies (l.) karst*) en limite supérieur de la forêt du Taillefer. Rapport de Stage, Master 1 Biodiversité-Ecologie-Environnement. L'Univ Joseph-Fourier de sciences, technologie, santé à Grenoble, France. 14p. 14 Fig.
105. MATHIEU A. (1860) - Flore forestière: description et histoire des végétaux ligneux qui croissent spontanément en France et des essences importantes de l'Algérie. 2e Edit, Nancy, Paris. 355p.
106. MDAWAR O. (2009) - Les accrues de frêne (*Fraxinus excelsior L.*) à l'interface environnement/sylviculture dans les Pyrénées Centrales : distribution spatiale et croissance. Mém Doc, l'Institut National Polytechnique de Toulouse. 232 p. + annexes.
107. MEDAIL F. ET QUEZEL P. (2003) - Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Paris. Ed. sci. Méd. Elsevier. 572 p.
108. MERIAN P. (2008) - Dendroécologie du chêne sessile (*quercus Petraea (matt.) Liebl.*) dans la moitié nord de la France. Master II Forêt, Agronomie, Génie de l'Environnement. Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois, Unité Mixte de Recherches INRA-ENGREF. 38 p. + annexes.
109. MULLER S.D., Daoud-Bouattour A., Belouahem-Abed D., Ben Haj Jilani I., Ben Saad-Limam S., Benslama M., Ferchichi-Ben Jamaa H, Rhazi L. & Ghrabi-Gammar- Z., (2010): Peat mosses(Sphagnum) and related plant communities of North

Références bibliographiques

- Africa. I. The Numidian- Kroumirian range (Algeria-Tunisia). *Flora Mediterranea* 20: pp. 160-178.
110. MUNAUT A.V. - Recherches dendrochronologiques sur *Pinus sylvestris*. 1. Etude de 45 pins sylvestres récents originaires de Belgique. - *Agricultura*, vol. 14, n° 2, 1966, pp. 193-232.
111. MUNAUT A.V. - La dendrochronologie. Une synthèse de ses méthodes et applications. - *Lejeunia*, vol. 91, n°1978, pp. 1-47.
112. NAHAL I. (1960) - La végétation forestière naturelle dans le Nord-Ouest de la Syrie. *Revue forestière française* no 2, p. 90-101. *Références bibliographiques* 440
113. NAHAL I. 1962. Le pin d'Alep. Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Annales de l'école Nationale des Eaux et Forêts* 19 (4) : 533-627.
114. NAHAL I. 1986. Taxonomie et aire géographique des pins du groupe *halepensis*. CIHEAM-Options Méditerranéennes. N° 1, pp. 1-9.
115. NASRALLAH Y. (2007) - Cours de module synthèse écologique.
116. NICAULT A., RATHGEBER C., TESSIER L. & THOMAS A. 2001. Croissance radiale et densité du bois du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en relation avec les facteurs climatiques. Analyse in situ de la mise en place du cerne. *Annals of Forest Sciences* 58 : 769-784.
117. OZANDA, P. 1982. Les végétaux dans la biosphère, paris, Douin, 431P
118. Pardé J. (1964) - La lecture des batonnets extraits des arbres par sondages à la tarière. *Revue forestière française*, p. 43-47.
119. Périgon S. (2006) - Dynamique De Trouées Dans De Vieux Peuplements Résineux De La Côte-Nord, Québec. Mém présenté comme exigence partielle de la maîtrise en Biologie. Université du Québec à Montréal. 107 p. 14 Fig. 3 Tab.
120. PHILIPPE G., BALDET P., HÉOIS B., GINISTY C. 2006. Reproduction sexuée des conifères et production de semences en vergers à graines. Ed : Cemagref. Pp : 40-74.
121. QUEZEL P. & SANTA S. 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome I. Ed. CNRS, Paris. 564 p.
122. QUEZEL. P., SANTA .S ; 1962- 1963_Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris. C.N.R.S.Vol 2. P 1170.
123. QUEZEL P. & SANTA S. 1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II. Ed. CNRS, Paris. 586 p.

Références bibliographiques

124. QUEZEL P. & PAMUCKCUOGLU A. 1973. Contribution à l'étude phytosociologique et bioclimatique de quelques groupements forestiers du Taurus. Feddes Repertorium. Berlin. Vol. 84, n° 3, pp. 185-229.
125. QUEZEL P., 1976 – Les forêts du pourtour méditerranéen : Ecologie, Conservation et Aménagement. Note. Tech. MAB2 UNESCO. Paris, pp :9 – 34.
126. QUEZEL P; 1978 - Analysis of the flora of Mediterranean and Saharan African. Missouri Bot.Gard, 65, 2.Pp: 479-534.
127. QUÉZEL P ; 1980 – Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. In Pesson : Actualité d'écologie forestière. Bordas Edit, Paris : 205 - 256.
128. QUEZEL P ; 1981 - Flore et végétation de l'Afrique du Nord, leur signification en fonction de l'origine, de l'évolution et des migrations des flores et structures de végétation passées – BOTHALIA, 14. Pp : 411-416.
129. QUÉZEL P ; 1983 – Flore et végétation de l'Afrique du Nord, leur signification en fonction de l'origine, de l'évolution et des migrations des flores et structures de végétation passées-Bothalia, 14 pp : 411-416.
130. QUEZEL P. 1986 a. Les pins du groupe « *halepensis* ». Ecologie, végétation, écophysologie Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1, 11-24.
131. QUEZEL P. 1986 b. Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Dans : Actualités d'Ecologie Forestière (Ed. : Pesson), Ed. Gauthier Villars, Paris, pp. 205-256.
132. QUEZEL P ; BARBARO M ; BENABID A ; LOISEL R et RIVAS MARTINEZ S ; 1988 – Contribution à l'étude des groupements pré forestiers et des matorrals Rifains- Ecologia Mediteranea ; VIV (1-2). Pp : 76 – 122.
133. QUEZEL P. & BARBÉRO M. 1990. La déprise rurale et ses effets sur les superficies forestières dans la région Provence Alpes Côte d'Azur. Bulletin de la Société Linnéenne de Provence 41 : 77-87.
134. QUEZEL P ; 1991- Structure de végétation et flore en Afrique du Nord, leurs incidences sur les problèmes de conservation. Actes Editions. Pp : 19-32.
135. QUEZEL P. & BARBÉRO M. 1992. Le pin d'Alep et les espèces voisines : répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France méditerranéenne. Forêt Méditerranéenne □III (3) : 158-170.

Références bibliographiques

136. QUEZEL P; 1995 – La flore du bassin méditerranéen, origine, mise en place, endémisme, *Ecologia méditerranéa*, 21 (1-2). Pp: 19-39.
137. QUEZEL P ; 1999 – Biodiversité végétale des forêts méditerranéennes, son évolution éventuelle d'ici à trente ans. *Forêt méditerranéenne XX*. Pp : 3-8.
138. QUEZEL P ; 2000_ Reflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb Méditerranéen .Ibis.Press.Edit.Paris.P 117.
139. QUÉZEL et MÉDAIL (2003). Quezel P., Médail F., 2003. *Écologie et biogéographie des forêts méditerranéennes*. Paris, Elsevier.
140. RAMADE F ; 1984 - *Eléments d'écologie: écologie fondamentale*. Auckland, McGraw-Hill, 394p
141. RAMADE F. 2003. *Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale*. 3ème édition, Ed. Dunod, Paris, 690 p.
142. RAMADE F. 2009. *Elément d'écologie : Ecologie fondamentale*. 4ème édition, Ed. Dunod, Paris, 689 p.
143. RATHGEBER C. 2002. Impact des changements climatiques et de l'augmentation du taux de CO2 atmosphérique sur la productivité des écosystèmes forestiers : exemple du pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*) en Provence calcaire (France). Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, France. 312 p.
144. SEIGUE A. 1985. *La forêt circum méditerranéenne et ses problèmes*. Ed. Maison neuve et Larose. Paris. 502 p.1
145. SERRE F. 1973. Contribution à l'étude dendroclimatologique du pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*). Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, France. 236 p.
146. SERRE F. 1976 a. Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*). I- Méthodes utilisées. L'activité cambiale et le climat. *ActaOecologica / Oecologica plantarum* 2 (2) : 143-171.
147. SERRE F. 1976 b. Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*). II- L'allongement des pousses et des aiguilles et le climat. Discussion générale. *Acta Oecologica / Oecologica plantarum* 2 (3) : 201-224
148. SELTZER P. 1946. *Le climat de l'Algérie, Recueil de données météo*. Institut de Technologie Agricole, Mostaganem (Algérie), 142 p.
149. SLIMANI S DERRIDJ A.GUTIERREZ E .2014. Ecological of *Cedrus atlantica* to climate variability in the Massif of Guetiane (Algéria) .*Forest Systems* 23(3) ; 448-460

Références bibliographiques

150. SOULERES G. (1969) : Le pin d'Alep en Tunisie. Annales de l'Inst. Nat. Rech. Forest. Tunisie. Vol 2. Fasc. 126 p.S
151. SCHWEINGRUBER F. H. (1988) -Tree rings. Basics and applications of dendrochronology. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht. The Netherlands, 276 p.
152. SWETNAMTW .BAISAN CH, CAPRIO AC. BROWN PM, TOUCHAN R, ANDERSON RS, ET AL .2009.Multi –millennial fire history of the giant forest, Sequoia National Park, California Usa .Fire Ecology 5,120-15
153. VAGANOV E. A. 1990 – The tracheidogram Metho in Tree-Ring Analysis and Its Application. In : "Methods of dendrochronology, Applications in Environmental Sciences", E.R. Cook & L.A. Kairiukstis eds, Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, pp.63-76.
154. VALLAURI. D, 1997.Dynamique de la restauration forestière des substrats marneux avec Pinus nigra J.F dans le secteur haut-provençal. Doctorat Ecologie, Université Marseille III Saint-Jérôme. 292 p.
155. WHITE F ; 1986 – La végétation de l'Afrique du Nord. Institue Français de recherche scientifique. Paris. Cartographie de l'évolution spatiale du couvert végétale dans la région du mascara.thse d'ingénieurat saida ,97p

ANNEXES

Annexe 1 : Rappel sur la croissance des arbres en diamètre des arbres

1. La structure radiale de bois d'un arbre

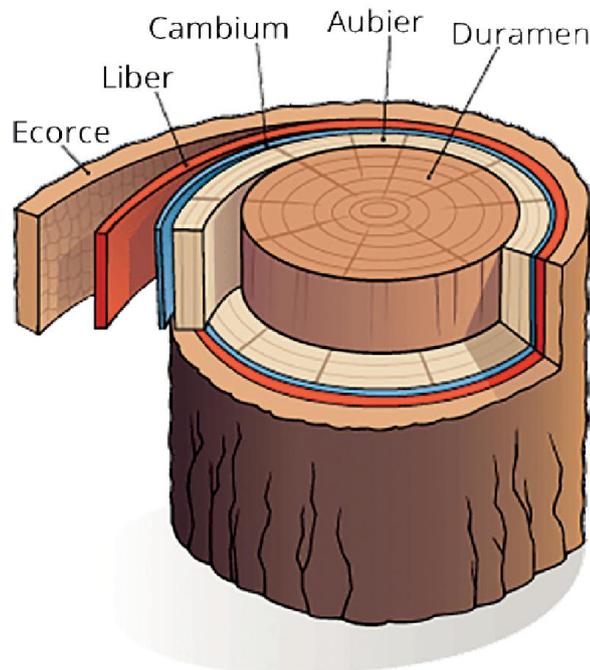


Figure 1 : Schéma d'une coupe transversale de tronc (Gonzales, 2007).

De l'extérieur vers l'intérieur on distingue :

L'écorce : formée de l'écorce externe (cellules mortes), une enveloppe protectrice, étanche et de l'écorce interne (cellules vivantes ou liber)

Le cambium imperméable: zone extensible entourant le bois et qui chaque année ajoute un cerne, un anneau de cellules. Vers l'extérieur, il génère le liber (permet à la sève élaborée de descendre des feuilles vers les racines). Vers l'intérieur, il génère l'aubier.

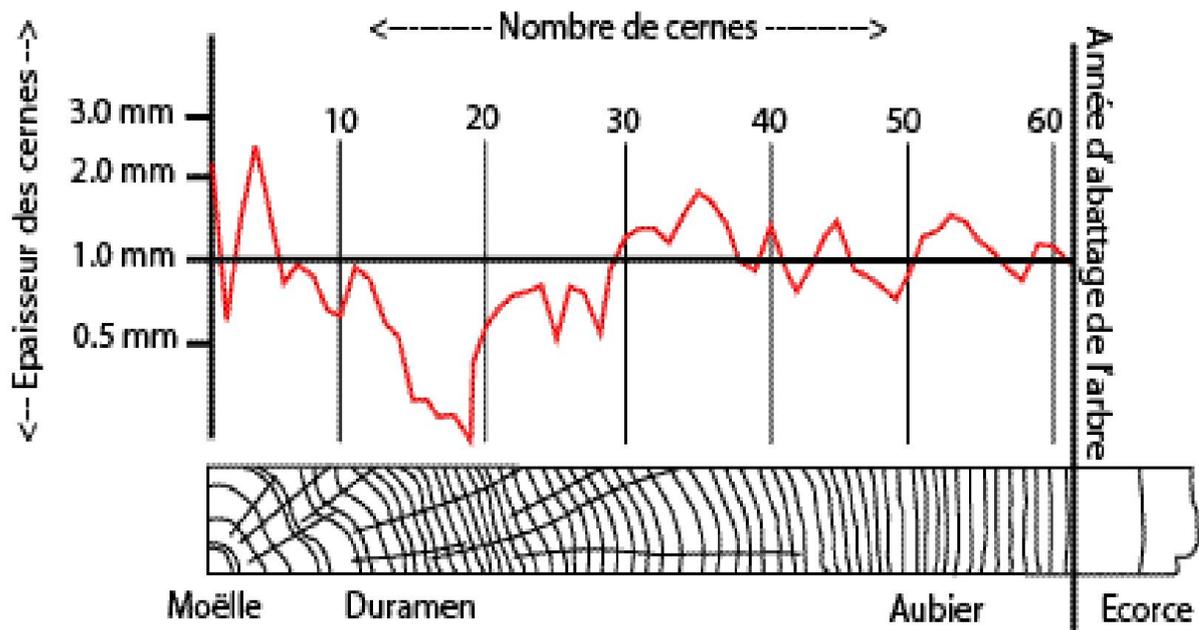
L'aubier (bois vivant) : formé du xylème (vaisseaux par lesquels monte la sève brute des racines vers les feuilles) et de rayons ligneux qui assurent l'alimentation entre le bois et l'écorce et qui jouent le rôle de réserves. Composé de cellules vivantes, l'aubier participe activement à la croissance de l'arbre.

Le duramen (bois mort au cœur): constitué de cellules mortes à paroi rigide, il assure l'armature et le soutien de l'arbre.



Photo 1 : photographie d'une partie de l'échantillon obtenu sur le vieux Pin d'Alep (**Philippe, 2012**).

2. La Courbe dendrochronologique



Graph 1 : La largeur des cernes en millimètres est mesurée puis reportée sur un graphique depuis la moelle vers l'écorce. La courbe obtenue constitue la signature de l'arbre. (**Julien Quiret, 2012**).

3. Datation d'un échantillon de bois : méthode de calage

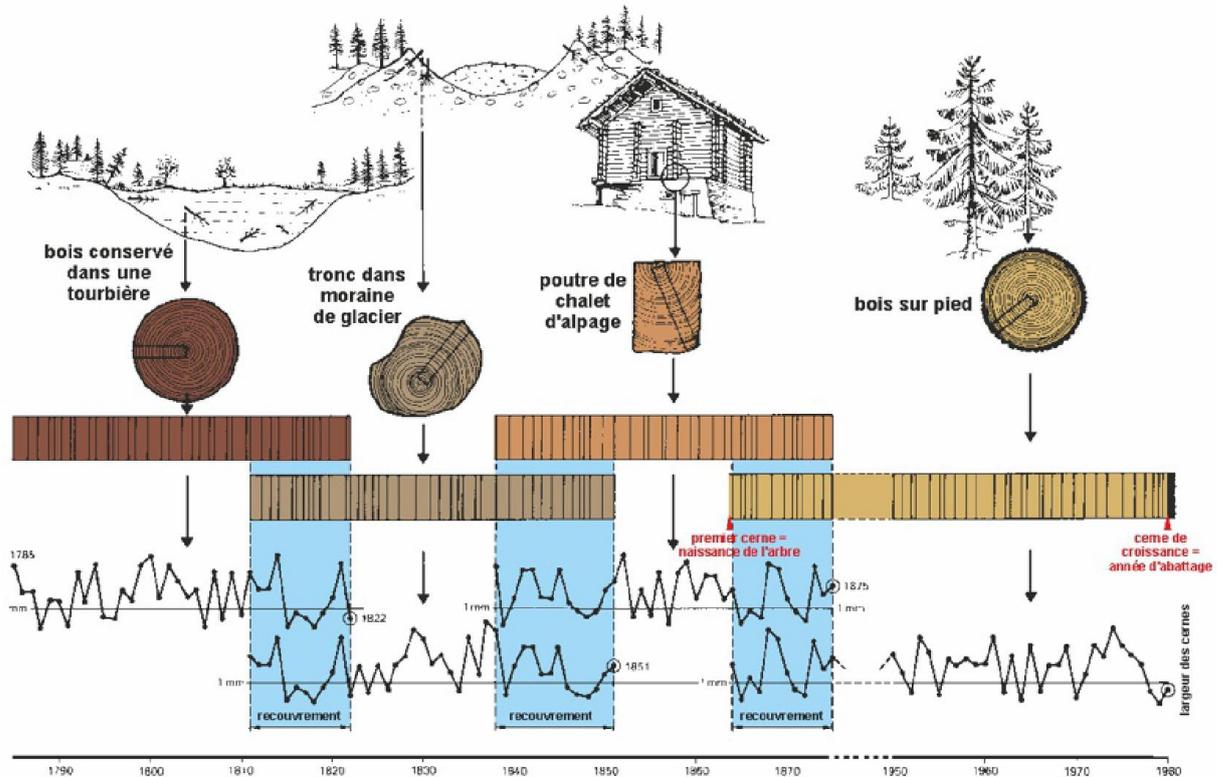


Figure 2 : schéma de différents troncs de bois datés et sa position dans la courbe générale (Fritz Schweingruber, 1998)

4. L'extraction des carottes à la tarière de Pressler

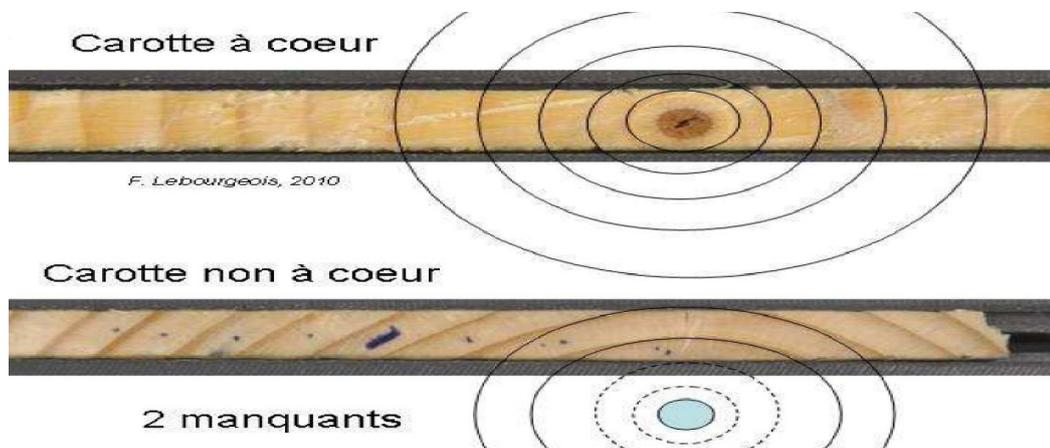


Figure 3 : schéma représentatif de localisation de cerne de croissance (Becker M, 1995)

Annexe 2 : La tarière de Pressler

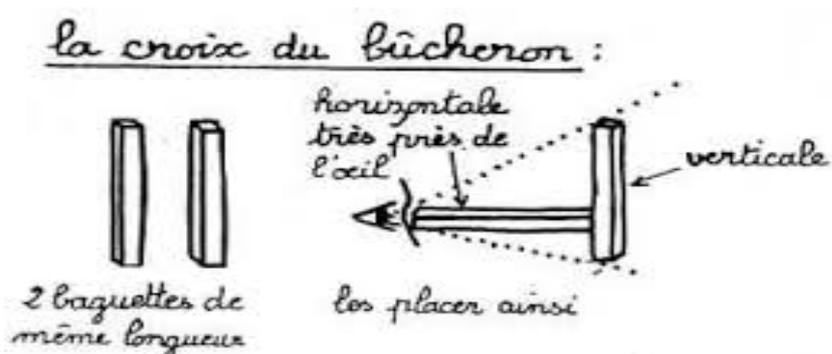
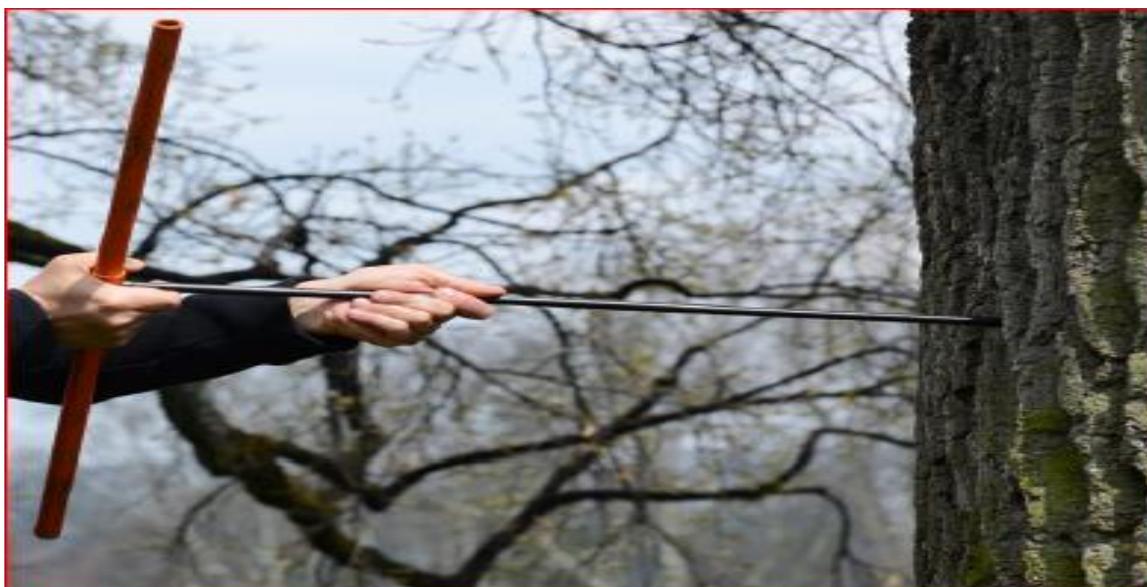


Figure 4 : La tarière de Pressler (Lebourgeois, 2008)

Historique :

La sonde de Pressler tient son nom de son inventeur en 1867. Elle s'apparente à un tire-bouchon creux. Elle permet de prélever un petit cylindre de bois (carotte) perpendiculaire à l'axe de l'arbre jusqu'à son centre.

Comment ça marche?

La sonde de Pressler est formée d'un petit tube de métal (manche) dans lequel nous introduisons un tube muni à son extrémité d'une vis effilée (mèche) facilitant son entrée dans l'arbre.

Cette vis est creuse en son centre créant la « carotte » au fur et à mesure qu'elle pénètre dans l'arbre. Lorsque la mèche est introduite jusqu'au centre du tronc, nous utilisons la cuiller pour retirer la « carotte » de la mèche et laisser voir les cernes annuels. Cette opération n'est pas sans dommage pour l'arbre, c'est pourquoi il ne faut pas en abuser. Cependant, il s'agit d'une alternative intéressante afin d'éviter l'abattage inutile des arbres.

À quoi ça sert?

Cette « carotte » nous dévoile un échantillon de l'ensemble des cernes annuels de l'arbre. Il nous est alors possible de compter et d'analyser les anneaux de croissance de l'arbre étudié. Un cerne moins large que les autres nous indiquera que l'arbre a subi des conditions de croissance moins propices à son développement cette année là. En rattachant ces signes à des événements historiques connus, les arbres deviennent de véritables encyclopédies vivantes! Par exemple, suite à la tempête de verglas de 1998, les arbres lourdement affectés présentent des cernes annuels très minces dans les années suivant cette catastrophe. Par contre, une tige qui se situait en sous-étage au moment du verglas, pourrait démontrer une succession de cernes annuels plus larges suite au verglas. Nous pourrions expliquer ce changement par le fait que cette tige a su profiter du dégagement du couvert forestier pour recevoir une plus grande quantité de lumière et améliorer ses conditions de croissance. De la même façon, nous serions en mesure d'évaluer les conséquences d'une coupe d'éclaircie ou d'un drainage forestier sur les tiges d'un peuplement traité. Vos arbres en ont peut-être beaucoup plus à révéler que vous pouvez le penser.

Annexe 3 : Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill)



Arbre adulte



Arbre jeune



Cone male



cone femelle



Les aiguilles



L'écorce

Annexe 4 : Le Thuya de Berberie (*Tetraclinis articulata* Vahl.)



Arbre adulte



Arbre jeune



Les cones



les aiguilles



l'ecorse

Annexe 5 : Les données climatiques

Tableau 1 : Précipitations annuelles corrigées selon l'altitude pour toutes les stations en mm (1952 -2014).

Année	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
1952	345.7	354.7	361.7	394.7
1953	420.3	429.3	436.3	469.3
1954	496.1	505.1	512.1	545.1
1955	470	479	486	519
1956	409.8	418.8	425.8	458.8
1957	542.4	551.4	558.4	591.4
1958	335.9	344.9	351.9	384.9
1959	510.2	519.2	526.2	559.2
1960	443.2	452.2	459.2	492.2
1961	309	318	325	358
1962	512.1	521.1	528.1	561.1
1963	591.2	600.2	607.2	640.2
1964	408.8	417.8	424.8	457.8
1965	343.3	352.3	359.3	392.3
1966	414.2	423.2	430.2	463.2
1967	393.6	402.6	409.6	442.6
1968	461	470	477	510
1969	525.8	534.8	541.8	574.8
1970	314.2	323.2	330.2	363.2
1971	427.5	436.5	443.5	476.5
1972	422.5	431.5	438.5	471.5
1973	222.5	231.5	238.5	271.5
1974	422.5	431.5	438.5	471.5
1975	232.5	241.5	248.5	281.5
1976	462.5	471.5	478.5	511.5
1977	242.5	251.5	258.5	291.5
1978	252.5	261.5	268.5	301.5
1979	402.5	411.5	418.5	451.5
1980	406.5	415.5	422.5	455.5
1981	329	338	345	378
1982	322.9	331.9	338.9	371.9
1983	269.9	278.9	285.9	318.9
1984	233.6	242.6	249.6	282.6
1985	374.3	383.3	390.3	423.3
1986	228.6	237.6	244.6	277.6
1987	422.4	431.4	438.4	471.4
1988	510.5	519.5	526.5	559.5
1989	364.5	373.5	380.5	413.5
1990	267.3	276.3	283.3	316.3
1991	402.6	411.6	418.6	451.6
1992	398.1	407.1	414.1	447.1
1993	361.2	370.2	377.2	410.2
1994	304.4	313.4	320.4	353.4
1995	393.4	402.4	409.4	442.4
1996	561.5	570.5	577.5	610.5
1997	397.5	406.5	413.5	446.5
1998	198.5	207.5	214.5	247.5
1999	399.5	408.5	415.5	448.5
2000	235.5	244.5	251.5	284.5
2001	317.5	326.5	333.5	366.5
2002	297.5	306.5	313.5	346.5
2003	459.5	468.5	475.5	508.5
2004	492.5	501.5	508.5	541.5

Annexes

2005	274.5	283.5	290.5	323.5
2006	363.5	372.5	379.5	412.5
2007	451.5	460.5	467.5	500.5
2008	485.5	494.5	501.5	534.5
2009	513.5	522.5	529.5	562.5
2010	495.5	504.5	511.5	544.5
2011	460.5	469.5	476.5	509.5
2012	449.5	458.5	465.5	498.5
2013	515.5	524.5	531.5	564.5
2014	551.5	560.5	567.5	600.5

Tableau 2 : Températures moyennes annuelles corrigées pour toutes les stations en mm (1961,2014).

Année	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
1961	17.3	17	16.7	15.5
1962	16.4	16.1	15.8	14.6
1963	15.5	15.2	14.9	13.7
1964	16.6	16.3	16	14.8
1965	16.7	16.4	16.1	14.9
1966	15.7	15.4	15.1	13.9
1967	16.2	15.9	15.6	14.4
1968	15.5	15.2	14.9	13.7
1969	14.8	14.5	14.2	13
1970	15.8	15.5	15.2	14
1971	15.9	15.6	15.3	14.1
1972	15.5	15.2	14.9	13.7
1973	14.8	14.5	14.2	13
1974	15.8	15.5	15.2	14
1975	16.2	15.9	15.6	14.4
1976	15.4	15.1	14.8	13.6
1977	16.6	16.3	16	14.8
1978	16.2	15.9	15.6	14.4
1979	15.8	15.5	15.2	14
1980	15	14.7	14.4	13.2
1981	15.3	15	14.7	13.5
1982	15.4	15.1	14.8	13.6
1983	16	15.7	15.4	14.2
1984	14.8	14.5	14.2	13
1985	15.8	15.5	15.2	14
1986	15.4	15.1	14.8	13.6
1987	16.4	16.1	15.8	14.6
1988	15.9	15.6	15.3	14.1
1989	16.4	16.1	15.8	14.6
1990	14.4	14.1	13.8	12.6
1991	14.9	14.6	14.3	13.1
1992	14.9	14.6	14.3	13.1
1993	15.4	15.1	14.8	13.6
1994	14.4	14.1	13.8	12.6
1995	16.2	15.9	15.6	14.4
1996	15	14.7	14.4	13.2
1997	16.3	16	15.7	14.5
1998	15.9	15.6	15.3	14.1
1999	16.2	15.9	15.6	14.4
2000	16.5	16.2	15.9	14.7
2001	16.9	16.6	16.3	15.1
2002	16.5	16.2	15.9	14.7
2003	16.4	16.1	15.8	14.6
2004	15.9	15.6	15.3	14.1

Annexes

2005	15.9	15.6	15.3	14.1
2006	16.8	16.5	16.2	15
2007	15.5	15.2	14.9	13.7
2008	15.8	15.5	15.2	14
2009	16.6	16.3	16	14.8
2010	15.9	15.6	15.3	14.1
2011	16.3	16	15.7	14.5
2012	16.7	16.4	16.1	14.9
2013	16.6	16.3	16	14.8
2014	16.9	16.6	16.3	15.1

Annexe 6 : Les données dendrochronologiques

Tableau 3 : Les données dendrochronologiques (accroissement moyen annuel mm/an (AM) et la sensibilité moyenne (SM)) de pin d'Alep dans les 4 stations

Station 1			Station 2			Station 3			Station 4		
Année	AM	SM									
1957	3,5	0,15	1970	3	0	1981	3	0,4	1974	4,1	0,13
1958	3	0,4	1971	3	0	1982	2	0,66	1975	4,7	0,09
1959	2	0	1972	3	0,03	1983	1	1	1976	4	1,7
1960	2	0,66	1973	3,1	0,03	1984	3	0	1977	3,2	0,06
1961	4	0,02	1974	3	0,5	1985	3	0,37	1978	3	0,28
1962	3,9	0,02	1975	5	0,85	1986	2,05	0,19	1979	4	0,66
1963	4	0,2	1976	2	0	1987	2,5	0,57	1980	2	0,42
1964	4,9	0,02	1977	2	1,1	1988	4,5	0,1	1981	1,3	0,42
1965	5	0	1978	2,5	0,85	1989	4,05	0,38	1982	2	0,58
1966	5	0,5	1979	1	1	1990	2,75	0,07	1983	1,1	0,3
1967	3	0,28	1980	3	0	1991	2,95	0,18	1984	1,5	0,28
1968	4	0,76	1981	3	1	1992	2,45	0,18	1985	2	0,58
1969	1,9	0,44	1982	1	0,7	1993	2,95	0,14	1986	1,1	0,16
1970	3	0	1983	2,1	0,04	1994	2,55	0,24	1987	1,3	0,42
1971	3	0,4	1984	2	0,22	1995	2	0	1988	2	0
1972	2	0,66	1985	2,5	0,22	1996	2	0,28	1989	2	-0,66
1973	1	1	1986	2	0,04	1997	1,5	0,18	1990	1	0,66
1974	3	0,26	1987	2,1	0,35	1998	1,8	0,42	1991	2	0
1975	3,9	0,26	1988	3	0,4	1999	2,76	0,18	1992	2	0,22
1976	3	0,15	1989	2	0,31	2000	2,3	0,17	1993	2,5	0,21
1977	3,5	0,54	1990	1,7	0,11	2001	2,73	0,18	1994	3,1	0,19
1978	2	0,13	1991	1,9	0,15	2002	2,26	0,12	1995	2,55	0,26
1979	1,75	0,35	1992	1,63	0,11	2003	2	0	1996	1,95	0,24
1980	2,5	0,11	1993	1,46	0,17	2004	2	0,1	1997	2,5	0
1981	2,25	0	1994	1,23	0	2005	1,8	0,18	1998	2,5	0,24
1982	2,25	0,36	1995	1,23	0,19	2006	2,16	0,2	1999	1,96	0,35
1983	1,55	0,22	1996	1,5	0,28	2007	1,76	0,31	2000	2,8	0,21
1984	1,95	0,02	1997	2	0,12	2008	2,43	0,12	2001	2,26	0,12
1985	1,9	0,08	1998	2,26	0	2009	2,76	/	2002	2	0,34
1986	1,75	0,1	1999	2,26	0,08	2010	2,4	/	2003	2,83	0
1987	1,95	0,1	2000	2,46	0,09	2011	2,3	/	2004	2,83	0,34
1988	1,75	0,54	2001	2,23	0,29	2012	2,5	/	2005	2	0,1
1989	1	0,4	2002	3	0,12	2013	2,1	/	2006	2,23	0,21

Annexes

1990	1,5	0,18	2003	3,4	0,3	2014	1,9	/	2007	2,76	0,22
1991	1,25	0,52	2004	2,5	0,17	/	/	/	2008	3,46	0,11
1992	2,13	0,19	2005	2,1	0,1	/	/	/	2009	3,9	0,58
1993	1,76	0,11	2006	2,33	0,04	/	/	/	2010	3,5	0,56
1994	2	0,04	2007	2,23	0	/	/	/	2011	3,2	0,68
1995	2,1	0,33	2008	2,23	0,09	/	/	/	2012	2,5	0,08
1996	2,96	0,19	2009	2,03	0,12	/	/	/	2013	2,3	0,56
1997	2,43	0,2	2010	2,3	0,39	/	/	/	2014	2,5	
1998	3	0,08	2011	2,2	0,53	/	/	/	/	/	/
1999	2,76	0,09	2012	2,01	0,5	/	/	/	/	/	/
2000	2,5	0	2013	2	0,42	/	/	/	/	/	/
2001	2,5	0,14	2014	2,2	/	/	/	/	/	/	/
2002	2,16	0,24	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2003	2,76	0,13	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2004	3,16	0,58	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2005	1,73	0,07	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2006	1,86	0,08	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2007	2,03	0,24	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2008	2,6	0,03									
2009	2,7	0,05									
2010	1,7	0,4									
2011	2	0,16									
2012	2,2	0,4									
2013	2,5	0,12	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2014	2,7		/	/	/	/	/	/	/	/	/
	2,56	0,24		2,28	0,27		2,42	0,25		2,50	0,30

Tableau 4 : Les données dendrochronologiques (accroissement moyen annuel mm/an (AM) et la sensibilité moyenne (SM)) de Thuya de Berberie dans les 3 stations.

Station 1			Station 2			Station 3		
Année	AM	SM	Année	AM	SM	Année	AM	SM
1978	3	0	1984	2.5	0	1992	2.9	0.03
1979	3	0.2	1985	2.5	0.15	1993	3	0.4
1980	3.9	0.17	1986	2.15	0.58	1994	2	0.4
1981	1.9	0.05	1987	2.75	0	1995	3	0.22
1982	2	0.6	1988	2.75	0.45	1996	2.4	0.28
1983	1	0	1989	1.75	0.15	1997	1.8	0.22
1984	1	0.6	1990	2.05	0.07	1998	2.26	0.19
1985	2	0.2	1991	1.9	0.05	1999	2.76	0.34
1986	1.5	0.4	1992	1.8	0.02	2000	1.93	0.1
1987	1	0.5	1993	1.85	0.05	2001	1.73	0.07
1988	2.5	0.5	1994	1.75	0.13	2002	1.6	0.46
1989	1	0.6	1995	2	0.13	2003	1	0.2
1990	1.9	0.08	1996	1.75	0.41	2004	1.23	0.49
1991	1.75	0.1	1997	1.15	0.3	2005	2.03	0.03
1992	1.5	0.1	1998	1.56	0.15	2006	1.96	0.14
1993	1.75	0.3	1999	1.83	0.39	2007	2.26	0.07
1994	2.45	0.3	2000	1.23	0.44	2008	2.43	0.19
1995	1.75	0.08	2001	2	0.33	2009	2	0,22
1996	1.6	0	2002	1.43	0.04	2010	2,5	0,27
1997	1.6	0.07	2003	1.5	0.26	2011	1,9	0,11
1998	1.73	0.09	2004	1.96	0.24	2012	1,7	0,5
1999	1.9	0.5	2005	2.5	0.24	2013	1	0,6
2000	1.03	0.6	2006	1.96	0.12	2014	2	/
2001	2.13	0.2	2007	1.73	0.25	/	/	/
2002	1.66	0.4	2008	2.23	0	/	/	/
2003	1	0.6	2009	2.23	0,11	/	/	/
2004	1.93	0.03	2010	2,5	0,22	/	/	/
2005	1.86	0.1	2011	2	0,05	/	/	/
2006	1.1	0.09	2012	1,9	0,6	/	/	/
2007	1	0.1	2013	1	0,4	/	/	/
2008	1.7	0.2	2014	1,5	/	/	/	/
2009	1,3	0,2						
2010	1	0,2						
2011	1,9	0,6						
2012	1,6	0,17						
2013	1,5	0,12						
2014	1,7		/	/	/	/	/	/
	1,7	0,22	/	1.9	0,2	/	2	0,21

- **Résumé :**

Les anneaux annuels de croissance de Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) et de Thuya de Berberie (*Tetraclinis articulata* Vahl.) ont été utilisés afin d'analyser la variabilité climatique passée, d'étudier la relation cerne-climat à long terme et de tester le potentiel de ces espèces pour la reconstruction de l'historique de la dendrochronologie au niveau d'un massif montagneux caractérisé par une végétation diversifiée.

L'échantillonnage a porté, d'une part, sur la collecte de carotte à la tarière de pressler sur les arbres vivants, et l'autre part, sur la réalisation de section transversales à la tronçonneuse sur du bois mort dans quatre sites fragmentés le long d'un gradient altitudinal.

L'identification des relations cerne - climat s'appuie sur deux approches : l'une analytique, qui consiste à identifier les années de croissance les plus exceptionnelles et à en rechercher le déterminisme climatique, l'autre de type statistique, qui permet d'établir à travers la sensibilité moyenne le comportement moyen de l'essence vis-à-vis du climat.

L'analyse des accroissements moyens annuels révèle une croissance plus élevée pour le pin d'Alep, dont les cernes ont une largeur moyenne de 2.4 mm/an, contre 1.8 mm/an seulement pour Thuya de Berberie.

La sensibilité moyenne du Pin d'Alep aux aléas climatiques est plus forte que de Thuya de Berberie.

Mots clés : Les anneaux annuels, le pin d'Alep, le Thuya de Berberie, la dendrochronologie cerne, climat, la tarière de pressler, ...

- **Abstract :**

Relation Tree rings analysis identifies with the precipitation and temperature-for two conifer species: pine of Aleppo (*Pinus halepensis* Mill.) and the Thuya of the Maghreb (*Tetraclinis articulata* Vahl.) in a biotope - original was conducted on gradient altitude between 900 and 1238 m in the massif of the Ben Djloud (Saida) whose magnitude corresponds to climatic variations.

Relation Tree rings -climate is observed through two methods: one consisting of analysis of the characteristics years, a second to reveal the answer to the climate through the sensitivity coefficient average.

Ring width analysis reveals a faster growth of Aleppo Pine which the ring have an average width of 2.4 mm/yr, against 1.8 mm/yr only for Thuya of the Maghreb.

Study of the climate interaction / growth highlights different responses to climatic conditions. It revealed that increments of Aleppo Pine trees are more related to precipitation changes to temperature variations. While Thuya is insensitive to the interannual climate fluctuations.

Medium sensitivity is high in both cases, with however a stronger response to Aleppo Pine inertia.

Keywords: Dendrochronology, the Aleppo pine, Thuya of the Maghreb, climate

- **ملخص:**

حلقات الأشجار السنوية للصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis* Mill.) و أشجار العرعار (*Tetraclinis articulata* Vahl.) استخدمت لتحليل و دراسة وتحدد علاقة طويلة الأمد بين المناخ و حلقات نمو الأشجار اجري على طول ارتفاع المنطقة المدروسة المتميزة بسلسلة جبال تتميز بالغطاء النباتي المتنوع والذي يتوافق مع تغيرات مناخية العلاقة بين النمو والمناخ لوحظت من خلال طريقتان الأولى تتمثل في تحليل السنوات المؤثرة والثانية تتمثل في الكشف عن الإجابة على المناخ من خلال معامل الحساسية المتوسطة.

تم أخذ العينات، أولاً، على مجموعة أساسية من الأشجار الحية، للصنوبر الحلبي و العرعار وبالمقابل، دراسة كميات الأمطار و درجة الحرارة الموزعة على أربعة أجزاء على طول المواقع التدرج الارتفاعي و بالتالي أجريت المقارنة بينهما

تحليل الزيادات السنوية يكشف عن النمو العالي للصنوبر الحلبي، و حلقات الأشجار التي لديها متوسط عرض 2.4 مم / سنة، على عكس أشجار العرعار التي لديها متوسط عرض 1.8 مم / سنة.. وحساسية الصنوبر الحلبي للأمطار هو أقوى من أشجار العرعار الذي يبدو غير حساس للمناخ..

كلمات البحث: حلقات الأشجار الصنوبر الحلبي، العرعار، المناخ تعيين سن الشجرة