

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun –Tiaret-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine: "Sciences de la Nature et de la Vie"

Filière : "Sciences biologiques"

Spécialité: "Biodiversité et conservation des écosystèmes forestiers"

Thème

**Contribution à la modélisation de la croissance du Pin d'Alep
(*Pinus halepensis* Mill) dans la forêt de Boucaïd (W. Tissemsilt)**

Présenté par :

- M^{elle} : ARAB SAID HASSINA
- M^{elle} : KADI KHEIRA
- M^{elle} : BRAHIM MESSAOUDA

Membres de jury :

- Président : Mr. MILOUA R
- Promoteur : Mr. SARMOUM M
- Examineur : Mr. HAMZAOUI A

Année universitaire: 2016 -2017

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous tenons à remercier le bon DIEU tout puissant d'avoir donné la volonté et la patience pour terminer ce modeste travail.

Nous adressons nos remerciements à Mr SARMOUM M notre promoteur qui a bien voulu accepter d'encadrer notre travail, pour ses précieux conseils et ses critiques fort enrichissantes.

Nous tenons à remercier tous les membres de jury Mr MILOUA R et Mr HAMZAOUI A qu'ils ont acceptés de juger ce modeste travail.

Merci du profond de cœur.

Liste des abréviations

ACP: Analyse en composantes principales

ARMA: Autorégressive moyenne mobile.

EMC: Epaisseur moyenne des cernes.

M: Température moyenne maximale.

m: Température moyenne minimale.

N actif: Le nombre actif.

P: Précipitation.

Q2: Quotient pluviométrique d'EMBERGER.

R: Coefficient de corrélation.

SM: Sensibilité moyenne.

T: Température.

VMax: Valeur maximale.

VMin: Valeur minimale.

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Les donnés pluviométrique de la zone d'étude.....	17
Tableau 02 : Les données climatiques de température de la zone d'étude.....	18
Tableau 03 : Répartition mensuelle des vitesses du vent durant la période 2000-2015.....	18
Tableau 04 : Caractéristiques bioclimatique des stations.....	20
Tableau 05 : Les principaux caractères écologiques des stations étudiés.....	22
Tableau 06: Les paramètres statistiques calculés.....	34

Liste des figures

Figure 01 : Répartition des forêts de pin d'Alep dans le monde.....	04
Figure 02 : Aire de répartition du Pin d'Alep en Algérie.....	05
Figure 03 : Aiguilles et cônes du pin d'Alep.....	05
Figure 04 : Schéma d'une coupe transversale de tronc.....	09
Figure 05 : Faux cernes, cernes minces et cernes absents chez le pin d'Alep.....	10
Figure 06 : Microsection d'un cerne de croissance de conifère.....	10
Figure 07 : Situation géographique de la zone d'étude.....	15
Figure 08 : Diagramme Ombrothermique de la forêt d'Ain Antar.....	19
Figure 09 : Localisation de la zone d'étude.....	21
Figure 10 : Matériels utilisés au terrain.....	24
Figure 11 : Matériels utilisés dans laboratoire.....	25
Figure 12 : La mesure des épaisseurs des cernes.....	26
Figure 13 : La variation inter-annuelle des épaisseurs brutes des cernes (station 1).....	30
Figure 14 : La variation inter-annuelle des épaisseurs brutes des cernes (station 2).....	30
Figure 15 : La variation inter-annuelle des épaisseurs standardisées des cernes (station 1).....	33
Figure 16 : La variation inter-annuelle des épaisseurs standardisées des cernes (station 2).....	33
Figure 17 : Projection des populations dans l'ACP en fonction des épaisseurs des cernes (données brutes).....	36
Figure 18 : Projection des populations dans l'ACP en fonction des épaisseurs des cernes (données standardisées).....	37
Figure 19 : Représentation en histogramme des modèles (ARMA) en fonction de la fréquence (%).....	38
Figure 20 : Représentation en histogramme des modèles (ARMA) en fonction de la fréquence (%).....	39

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

SOMMAIRE

Introduction générale.....01

Partie bibliographique

CHAPITRE I: Généralités

1. Généralités sur le pin d'Alep.....	03
1.1. Taxonomie.....	03
1.2. Répartition du pin d'Alep dans le monde.....	03
1.3. Répartition du pin d'Alep en Algérie.....	04
1.4. Caractères botaniques.....	05
1.5 Exigences écologique de l'espèce.....	06
1.5.1. Exigences climatiques.....	06
1.5.2. Exigences édaphiques.....	06
1.6. Phénologie de l'espèce.....	06
1.7. Les ennemis de l'espèce.....	07
1.7.1. Contexte climatique.....	07
1.7.2. Facteurs entomologiques.....	07
1.7.3. Facteurs pathologiques.....	07
1.8. L'importance et l'usage de l'espèce.....	08
2. Croissance des arbres.....	08
2.1. Dendrochronologie.....	09
2.2. Dendrochronologie du pin d'Alep.....	09
2.3. L'accroissement.....	11
a- Accroissement en diamètre.....	11
b- Accroissement en hauteur.....	11

c- Accroissement en surface terrière.....	11
d- Accroissement en volume.....	11
3. Modélisation.....	12
3.1. Définitions et concepts.....	12
3.2. Classification des modèles.....	12
3.3. Objectifs de la modélisation.....	13

CHAPITRE II : Description de la zone d'étude

1. Présentation générale.....	14
2. Présentation de la commune de Boucaid.....	14
3. Présentation de la forêt d'Ain Antar...../.....	14
3.1. Relief.....	15
3.2. Structure géologique.....	16
3.3. Flore.....	16
3.4. Faune.....	16
3.5. Étude climatologique	17
3.5.1. Précipitations.....	17
3.5.2. Température	18
3.5.3. Vent.....	18
3.6. Synthèses climatiques.....	19
3.6.1. Diagramme Ombrothèrmique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	19
3.6.2. Climatogramme pluviothermique d'Emberger.....	20

Partie Expérimentales

CHAPITRE III: Matériels et Méthodes

1. Protocole d'échantillonnage.....	22
1.1. Choix des stations.....	22
1.2. Choix des arbres.....	22
1.4. Sondage à la tarière de PRESSLER.....	23
1.5. Préparation des échantillons.....	24
2. Analyses dendrochronologiques.....	24
2.1. Principe de l'interdatation.....	25

2.2. Mesure de largeur des cernes.....	26
3. Traitement des données.....	26
4. Analyse qualitative.....	26
4.1 Courbes de maîtresse ou de synthèse.....	27
5. Analyses numériques.....	27
5.1. Epaisseur moyenne du cerne (EMC).....	27
5.2. Ecart-type.....	27
5.3. Sensibilité moyenne (SM).....	27
5.4. Standardisation des épaisseurs des cernes.....	28
5.5. Analyse en composantes principales (ACP).....	28
6. Modélisation ARMA.....	28

CHAPITRE IV: Résultats et discussions

1. Evaluation des épaisseurs brutes des cernes.....	30
2. Evaluation des épaisseurs standardisées des cernes.....	33
3. Analyse statistique des épaisseurs des cernes.....	34
3.1. Valeurs brutes.....	34
3.1.1. Epaisseur des cernes et leur moyenne (EMC).....	34
3.1.2. Sensibilité moyenne (SM).....	34
3.1.3. Ecart-type.....	35
3.1.4. Coefficient d'asymétrie et d'aplatissement.....	35
3.2. Valeurs standardisées.....	35
4. Analyse en composantes principales.....	36
5. Modélisation de la croissance radiale ARMA (p,q).....	38
Conclusion générale	
Références bibliographiques	

Introduction

Introduction

Les forêts à travers le monde sont touchées par les changements globaux, comme le changement climatique, qui affectent la croissance des forêts et la concurrence, les variations dans la composition atmosphérique et l'introduction des ravageurs exotiques. Ces modifications produisent des changements spécifiques dans les caractéristiques du paysage et leur dynamique à des échelles spatiales et temporelles distinctes beaucoup de ces changements sont sans précédent, et de leurs effets et les interactions avec d'autres processus écologiques sont incertains. En attendant, une plus grande variabilité du climat est prévue, avec des précipitations augmentées dans certaines zones et les périodes sèches et chaudes extrêmes dans d'autres régions. Ces événements auront un effet important sur les forêts. Des températures légèrement plus élevées et une plus grande accumulation de CO₂ dans l'atmosphère accélèrent les taux de croissance des espèces dans les écosystèmes forestiers (**FOUAD, 2016**).

La région méditerranéenne est caractérisée par des périodes de sécheresse estivale, de durée et d'intensité variables d'une saison à une autre. Ces périodes de sécheresse constituent le facteur le plus limitant de la croissance des arbres forestiers (**CHAAR et al, 2014**).

Le pin d'Alep est une essence forestière de première importance dans le bassin méditerranéen par la superficie qu'elle occupe et le rôle qu'elle joue dans l'économie des pays de cette région (**NAHAL, 1962**). Il est caractérisé par une plasticité exceptionnelle en poussant sur différents types de substrats et sur des sols pauvres. En tant qu'espèce thermophile et héliophile, il tolère les hautes températures mais craint les humidités excessives et les gelées. Malgré son adaptation aux conditions aussi bien climatiques qu'édaphiques instables, certains processus de croissance du pin d'Alep peuvent être affectés par l'impact des années sèches et chaudes (**CHAAR et al, 2014**).

Pour prédire l'évolution des peuplements forestiers, et ainsi faciliter l'aménagement, les chercheurs ont mis au point différents types de modèles de dynamique forestière, l'intérêt de ces modèles comme outils pour la gestion (**GOREAUD et al, 2005**).

Le présent mémoire est une contribution à la modélisation de la croissance du pin d'Alep dans la forêt d'Ain Antar (w. Tissemsilt). L'objectif de ce travail consiste à comprendre la dynamique de la croissance radiale en relation avec les conditions de milieu, il est scindé comme suit :

- Le premier chapitre est consacré à des généralités sur le pin d'Alep, la croissance radiale, et la modélisation.
- Le deuxième chapitre concerne la présentation de la zone d'étude ;

- Le troisième chapitre est consacré à la méthodologie de cette étude ;
- Les résultats obtenus et leurs interprétations font l'objet du quatrième chapitre ;
- Une conclusion.

Partie

Bibliographique

Chapitre I

Généralités

1. Généralité sur le pin d'Alep

1.1. Taxonomie

Le pin d'Alep (*pinus halepensis* Mill) appartient au groupe " *halepensis*" dans lequel plusieurs espèces ont décrites, mais deux seulement sont considérées actuellement comme de véritables espèces par la majorité des systémiciens il s'agit de *pinus halepensis* Mill et *pinus Brutia* Ten (QUEZEL et BARBERO, 1992).

La systématique du pin d'Alep se résume comme suit (GUIT, 2015) :

Règne : *Plantae*

Embranchement : *Spermaphyta*

Sous-embranchement : *Gymnospermae*

Classe : *Pinopsida*

Ordre : *Abietales*

Famille : *Pinaceae (Abietaceae)*

Sous-famille : *Pinoideae*

Genre : *Pinus*

Sous-genre : *Eupinus*

Espèce : *Pinus halepensis* Mill.

Noms usuels :

- Pin d'Alep, pin de Jérusalem, pin blanc (France).
- Aleppo pine, Jerusalem pine (Angleterre).
- Sanaouber halabi (pays arabes).
- Pino carrasso (Espagne).
- Pino di Gerusalemme (Italie).
- Aleppo Kiefer (Allemagne).

Noms vernaculaires : Azoumbei, Tayada (Berbère).

1.2. Répartition du pin d'Alep dans le monde

Le pin d'Alep est surtout occidental, jusqu'en Grèce. On le trouve guère dans le bassin oriental que dans la région turque voisine d'Adana ou en Israël, en Jordanie et en Cyrénaïque. En Afrique de nord, il peut être présent pratiquement partout, des bords de mer jusque sur les massifs présahariens (TASSIN, 2012), la couverture forestière totale est estimée à environ 3,5 millions d'hectares (GHOUGALI, 2011).



Figure 1 : Répartition des forêts de pin d'Alep dans le monde (SAAD, 2013).

En Italie, le pin d'Alep ne représente que 20.000 hectares cantonnés essentiellement dans le Sud, en Sicile et en Sardaigne. Par contre, en Grèce, les peuplements de pin d'Alep représentent une superficie importante de 330.000 hectares (GUIT, 2015).

Couvrant environ 240000 ha en France, le pin d'Alep occupe une place très importante dans les peuplements de résineux méditerranéens (PREVOSTO, 2013).

Au Maroc, le pin d'Alep a une aire morcelée dans le Rif, le Moyen et le Grand Atlas (DEBAZAC, 1991). En Espagne, son aire va de Gibraltar à la Catalogne (DEBAZAC, 1991).

1.3. Répartition du pin d'Alep en Algérie

Le pin d'Alep a une très large extension en Algérie, notamment dans la Meseta Oranaise, dans le littoral algérois, dans l'Ouarsenis, dans l'Atlas saharien, sur le plateau constantinois, dans l'Aurès. Les peuplements de la région de Tebessa sont prolongés par ceux de la dorsale tunisienne (DEBAZAC, 1991).

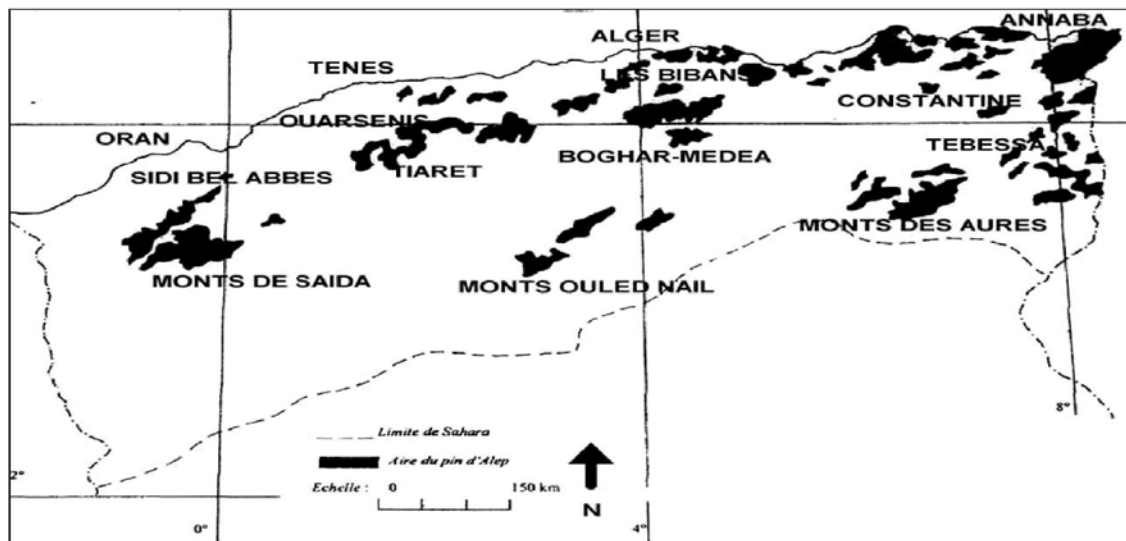


Figure 02 : Aire de répartition du Pin d'Alep en Algérie (KADIK, 1987 in BOBBOU, 2016).

1.4. Caractères botaniques :

Le pin d'Alep est un conifère au tronc tortueux. sa hauteur est de 20 mètres environ. Le haut du tronc est noir. L'écorce et les rameaux sont gris argenté (PAQUEREAU, 2013).

Les aiguilles mesurent entre 4 et 13 cm de long et restent en place au moins deux ans. Elles sont insérées deux par deux et forment des pinceaux en bout de rameaux. Les aiguilles du pin d'Alep sont fines. Elles sont souples et d'un vert clair qui donne à l'arbre une teinte plus claire que les autres (CHAZEL, 2012).

Les cônes sont petits, brun-rouge à violacé. Ils mesurent 5 à 12 cm et sont portés par un pédoncule court et épais (CHAZEL, 2012).



Figure 03 : Aiguilles et cônes du pin d'Alep

1.5. Exigences écologique de l'espèce

1.5.1. Exigences climatiques

Le pin d'Alep est un conifère expansionniste typique, ce résineux est particulièrement résistant aux stress hydrique et peut se développer dans une large gamme de conditions écologiques (**DODELIN et al 2007**). C'est une essence de pleine lumière qui est surtout très bien adaptée à la sécheresse et à la chaleur ; le pin d'Alep se contente de 250 mm de pluie par an, ce qui est très faible. Mais il est très sensible au froid. Les individus ont du mal à survivre à plusieurs jours consécutifs en dessous de 5°C (**DUPERAT et POLESE, 2008**).

Espèce adaptée au climat méditerranéen, dans son aire d'origine, se rencontre de l'étage mésoméditerranéen à l'étage supraméditerranéen (où sont installés plus beaux peuplement) (**MANSION et DUME, 1993**).

1.5.2. Exigences édaphiques

Le pin d'Alep est très rustique et s'adapte à tous les sols, même les plus acides (**DUPERAT et POLESE, 2008**), mais il prospère très bien dans les sols calcaires et secs (**PAQUEREAU, 2013**).

Selon **SGHAIER et CLAUSTRIAUX (2014)** si le Pin d'Alep préfère les sols marno-calcaires, il supporte les encroûtements calcaires et même gypseux; il tolère très mal les sols compacts et hydromorphes (limoneux et limono-argileux) et les sols à faible rétention (sable profond)

1.6. Phénologie de l'espèce

Le pin d'Alep est marqué également par des variations intraspécifiques et interspécifiques du polycyclisme chez les jeunes arbres. Ce polycyclisme est fortement lié aux conditions climatiques de l'année de croissance. Le polycyclisme est un critère morphologique permettant de séparer les provenances (**LADJAL, 2012**).

Le réchauffement climatique en cours se traduit par d'importantes modifications phénologiques, et notamment des variations du polycyclisme. En raison d'automnes chauds, des cycles de croissance très tardifs sont apparus en octobre ou début novembre, conduisant à des pousses inachevées, sans aiguilles ou portant des aiguilles très petites. La fréquence de ce phénomène semble avoir augmenté dans les 10 dernières années. Il a conduit à de nombreux avortements de pousses mal lignifiées suite à des dégâts de gel ou de champignons en hiver.

L'exclusion de pluie a diminué le nombre annuel de cycles de croissance des pousses et la durée de ces cycles. Elle a aussi diminué la vitesse de croissance des aiguilles. L'irrigation a augmenté le nombre et la durée des cycles, qui ont été plus précoces. Elle a permis une croissance active et continue des aiguilles et d'une partie des pousses en été. L'analyse rétrospective sur 15 ans de nombreuses branches le long du transept a permis de quantifier l'évolution temporelle du polycyclisme. Elle montre que la phénologie est contrainte à la fois par la longueur et la précocité de la sécheresse d'été, et aux plus hautes altitudes par le froid qui limite la durée de la saison de végétation. Le changement climatique joue de façon opposée sur ces deux contraintes (VENNETIER *et al*, 2011).

1.7. Les ennemis de l'espèce

1.7.1. Contexte climatique

Parmi les différents facteurs qui peuvent affecter la santé du pin d'Alep, ce sont les facteurs climatiques qui jouent le rôle le plus important. Les "accidents climatiques" tels les grands froids ou les grandes sécheresses ont des conséquences directes sur l'essence mais ils favorisent souvent l'intervention de facteurs entomologiques ou pathologiques dits "aggravants". Plus rarement une pluviométrie supérieure à la normale peut induire des phénomènes phytosanitaires sur le pin d'Alep (MIRAULT *et* REGAD, 1992).

1.7.2. Facteurs entomologiques

Les insectes xylophages interviennent très souvent dans le processus de dépérissement, soit comme facteur primaire déclenchant le phénomène, soit comme facteur secondaire accentuant et amplifiant le processus au cours du temps. Plusieurs familles d'insectes xylophages sont responsables des attaques. Parmi ces insectes, on cite les *Scolytidae*, les *Buprestidae*, les *Cerambycidae* et les *Curculionidae*. La famille des *Scolytidae* est placée par de nombreux auteurs au premier rang des ennemis naturels des forêts de conifères et ils sont responsables de 90% des dégâts (NICHANE *et al*, 2012).

1.7.3. Facteurs pathologiques

L'incidence des facteurs pathologiques est souvent moins spectaculaire que les attaques de ravageurs forestiers telle la chenille processionnaire. Ce ravageur a étendu son aire de répartition pour couvrir toutes les régions où ces essences ont été introduites. Bien que ses dégâts puissent être inquiétants certaines années (MHIRIT *et* BLEROT, 1999).

- La rouille vésiculeuse de l'écorce (*Cronartium flaccidum*).
- Le chancre des rameaux (*Crumenulopsis sororia*).
- Le fomes (*Heterobasidion annosum*) : ce champignon racinaire responsable d'une maladie du rond, il provoque des cas de mortalité très localisés.
- Le *Sphaeropsis sapinea* : ce champignon est observé sur de nombreuses essences, Il apparaît généralement dans les peuplements affaiblis par la sécheresse ou blessés (**MIRAULT et REGAD, 1992**).

1.8. L'importance et l'usage de l'espèce

Selon **SAAD (2013)**, l'utilisation de l'écorce de pin d'Alep pour le tannage est connue depuis très longtemps au Proche Orient, en Europe et en Afrique du Nord. Au Maroc, les tanneries de Fez et de Marrakech en consommaient beaucoup, et c'est à l'écorçage sur pied et en grandes quantités qu'on attribue souvent la disparition des vastes peuplements de pin d'Alep dans le Grand Atlas et la région Nord de Taza.

Il est utilisé généralement dans des programmes de reboisement des sols dégradés, cas de la «ceinture verte» dans le sud de l'Algérie, où 1 million de hectares ont été plantés de pins d'Alep il y a plus de 20 ans. Son bois est utilisé en construction, industrie, menuiserie, bois et pâte à papier, pour l'étayage des mines, la construction navale et la charpenterie (**BOUAZZA, 2013**).

D'après **GHOUGALI (2011)**, les graines sont également utilisées pour la pâtisserie particulièrement en Tunisie.

2. Croissance des arbres

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. Cette anneau, constitué de cellules vivantes qui stocke 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 (TERCIER et HURNI, 2013).

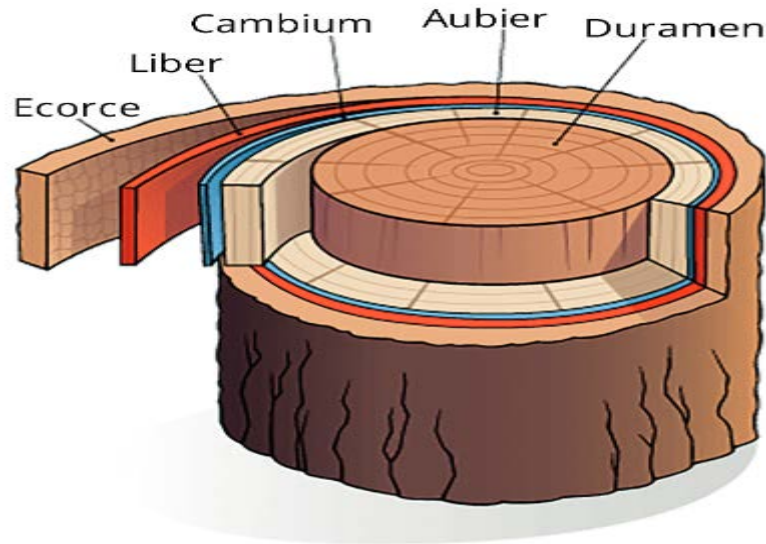


Figure 04 : Schéma d'une coupe transversale de tronc (TERCIER et HURNI, 2013).

2.1. Dendrochronologie

La dendrochronologie est une discipline de plus en plus utilisée dans la recherche forestière pour évaluer l'impact du climat sur la croissance des arbres. Elle permet de lire l'histoire des arbres dans les cernes de leur bois où sont enregistrés les événements du passé. Si l'on accepte le principe « d'uniformité », la manière dont les arbres ont réagi face à ces événements nous renseigne sur leur comportement futur face aux mêmes genres d'aléas (LATTE et al, 2012).

1.2.1. Dendrochronologie du pin d'Alep

Comme chez tous les arbres et végétaux ligneux pérennes des milieux tempérés, le comptage des cernes annuels de croissance du tronc d'un pin d'Alep donne l'âge de l'arbre, mais de fait seulement l'âge au niveau du sondage ou de la coupe sur laquelle se fait le comptage car l'âge réel ne peut être connu que sur une coupe effectuée au niveau du sol. Quel que soit le niveau, des anomalies de croissance peuvent perturber ce comptage. Le datage parfait d'un cerne suppose le repérage et l'interprétation de toutes les anomalies susceptibles de perturber les séquences. Parmi ces anomalies, faux cernes, cernes très minces et cernes absents, sont fréquents chez le pin d'Alep. L'interdatation permet alors de repérer ces anomalies et de dater les cernes à partir de la date connue du prélèvement (SERRE-BACHE, 1992).

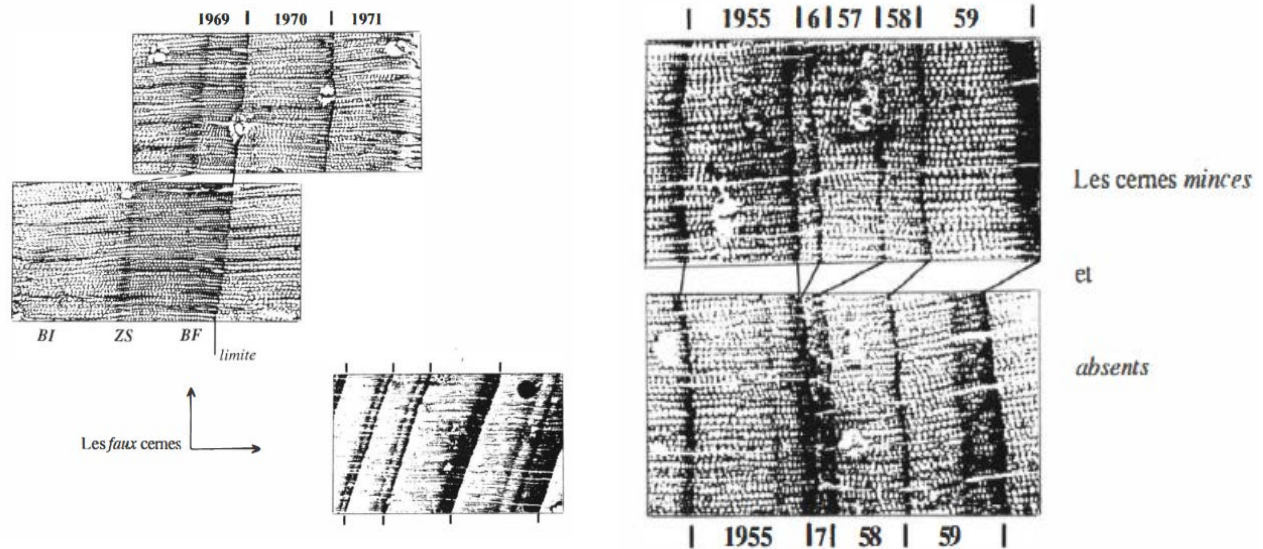


Figure 05 : faux cernes, cernes minces et cernes absents chez le pin d'Alep.

(BI: Bois Initial; BF: Bois Final; ZS: Zone Sombre) (SERRE-BACHE, 1992).

La distinction des cernes annuels est possible grâce aux variations de la taille (superficie) des cellules et de l'épaisseur des parois cellulaires au cours de la saison de croissance.

Chez les conifères (gymnospermes), le cerne est constitué :

- d'un bois initial clair, de faible densité, à trachéides larges et parois minces, qui se forme au printemps ;
- d'un bois final plus sombre, de densité supérieure, à trachéides de petite taille, à parois épaisses, qui se forme en été et au début de l'automne.

Ces trachéides assurent le transport et le stockage des nutriments, de l'eau et la stabilité mécanique de l'arbre (LOPEZ-SAEZ et CORONA, 2014).



Figure (06) : Microsection d'un cerne de croissance de conifère (LOPEZ-SAEZ et CORONA, 2014).

2.2. L'accroissement

L'accroissement peut être défini comme une modification d'état subie au cours d'une période ou dans un laps de temps déterminé et pouvant être estimée à partir de la comparaison de mesures successives (HEBERT *et al*, 2005).

a- Accroissement en diamètre

C'est l'un des accroissements les plus faciles à déterminer. Considéré à hauteur d'homme et sur écorce, il présente une grande importance dans la détermination de l'accroissement en volume. Sa détermination peut être faite par mesures successives à diverses époques ou par mesures instantanées par sondage à la terrière de PRESSLER (RONDEUX, 1993)

b- Accroissement en hauteur

La détermination d'un accroissement en hauteur pose de réelles difficultés pratiques, par le fait que celui-ci concerne presque toujours des arbres sur pied (RONDEUX, 1993)

Parmi les méthodes susceptibles d'être utilisées, il convient de citer:

- l'estimation directe de la longueur des dernières pousses,
- la mesure de hauteurs à intervalles de temps fixés,
- l'analyse de tiges abattus,
- l'estimation par l'intermédiaire de systèmes de courbe de hauteur.

c- Accroissement en surface terrière

C'est l'évolution de la surface terrière durant une période donnée. Il peut être calculé à partir de mesures réalisées au début (A) et la fin (B) d'une période de temps déterminée (RONDEUX, 1993)

d- Accroissement en volume

L'accroissement en volume peut résulter de la comparaison d'inventaire successifs et d'analyse de tiges. La première méthode se base sur l'accroissement de diverses composantes du volume ou sur l'utilisation d'équations de cubage (RONDEUX, 1993).

3. Modélisation

3.1. Définitions et concepts

Le terme « modèle » est apparu dans le langage scientifique dans les années 1960 et «modélisation» dans les années 1970 affaiblissant et assouplissant la notion de loi, commune à l'époque.

La modélisation comme étant un processus d'analyse de données visant l'élaboration de modèle. Ce dernier est constitué d'un système d'équation qui permet de suivre le comportement de certaines caractéristiques dans le temps. Ces équations sont souvent regroupées pour former des logiciels. Le terme modélisation inclut également la logique nécessaire pour relier les équations et la codification informatique pour en faire un outil utile et efficace (RABHI, 2011).

3.2. Classification des modèles

Il existe plusieurs types :

Selon HOULLIER *et al* (1991) et RABHI (2011), il ya:

-**Les modèles déterministes:** lorsque la valeur exacte de la variable dépendante est prédite par une fonction de variable indépendantes.

-**Les modèles probabilistes (stochastiques):** lorsqu'une valeur probable de la variable dépendante est prédite par une fonction de variable indépendante.

- **Les modèles empiriques :** un modèle est empirique quand il vise à rendre compte des phénomènes observés à partir d'expérimentations, de placettes permanentes ou de données d'inventaire, mais qu'il n'intègre pas explicitement de connaissances sur les mécanismes et les processus élémentaires de croissance qui génèrent ces phénomènes.

- **Les modèles de succession :** a prédiction est à court et à long terme, ils donnent des informations sur la succession forestière dans un contexte d'application des principes de l'aménagement écosystémique.

D'après RONDEUX (1993) et BASTIEN et GAUBERVILLE (2011), il existe :

-**Modèle « peuplement » ou « arbre moyen » :** dans lequel le peuplement est décrit par des variables globales (ex : densité, surface terrière) ou moyennes (ex : diamètre moyen).

-**Modèle architectural** : sans doute les plus sophistiqués, s'attachent à expliquer l'organisation de la ramification des arbres et de leur morphologie. Pareils modèles peuvent être utilisés pour simuler l'effet de certains traitements (taille de formation, élagage) et identifier les espèces sur photos aériennes (télédétection).

-**Modèle de trouée** : modèle de type « arbre indépendant des distances » permettant de simuler la dynamique d'unités élémentaires de peuplement issues du développement d'une même trouée de régénération. Le peuplement est considéré comme une mosaïque de telles unités indépendantes. La surface d'une unité est de l'ordre de la projection.

-**Modèles régionaux** : sont destinés à la planification régionale ou nationale et portent sur des choix de gestion à l'échelle de massifs forestiers (politique forestière, implantation d'unités transformatrices, etc). Ce dernier type de modèle est davantage un modèle de gestion ou d'évaluation de la ressource, en principe moins sophistiqué, encore qu'il intègre de plus en plus des principes relevant des modèles de peuplements ou même d'arbres dans le traitement de données issues d'inventaires régionaux ou nationaux.

3.3. Objectifs de la modélisation

D'après **RABHI (2011)**, les objectifs visés par la modélisation en foresterie sont:

-Simuler les effets de divers traitement sylvicoles; les modèles rendent possible une comparaison rapide de plusieurs scénarios sylvicoles, ce qui aurait demandé auparavant de longues années d'expérimentation.

-Prédire la croissance des arbres ou la production du peuplement;

-Pour pouvoir gérer finement la production de bois en termes de taille des troncs à récolter et de qualité du bois produit, les gestionnaires forestiers ont besoin d'outils qui prédisent l'accroissement individuel de chaque arbre du peuplement.

-Pour prédire l'accroissement individuel des arbres, les dendrométriciens construisent des modèles à l'échelle de l'arbre, qui prennent en compte l'influence des voisins directs sur la croissance par le biais d'indices de compétition.

Chapitre II

Description de la zone d'étude.

1. Présentation générale

La wilaya de Tissemsilt occupe une zone charnière naturelle entre la plaine du Sersou et l'oued Chleff et est délimitée par des barrières naturelles constituées par les monts de l'Ouarsenis au nord et djebel Nador au sud.

La wilaya de Tissemsilt dispose de paysages exceptionnels faits de 65% de montagnes et un patrimoine forestier imposant, peuplé d'une faune et d'une flore exceptionnelle.

Elle se situe au centre du pays à 220 Km d'Alger et à 300 Km d'Oran. S'étalant sur une superficie de 3 151.37 Km² qui abrite une population de près de 327 206 habitants, Tissemsilt est cernée par les wilayas de Chleff et Ain Defla au nord, Médéa à l'est, Relizane à l'ouest et Tiaret et Djelfa au sud.

2. Présentation de la commune de Boucaïd

La commune de Boucaïd est une zone montagneuse, située à l'Est de la wilaya. Elle est limitée :

- Au Nord par la commune de LAZHAREA
- A l'Est par la commune de SIDI SLIMANE
- Au Sud par la commune de BORDJ BOUNAAMA
- A l'Ouest par la commune de LAREBAA.

Située à 1127 mètres d'altitude, la ville de Boucaïd a pour coordonnées géographiques :

Latitude: 35° 53' 25" nord.

Longitude: 1° 37' 11" est.

3. Présentation de la forêt d'Ain Antar :

La forêt Aïn Antar est située à une altitude de 1.200 mètres au pied de l'Ouarsenis et s'étend sur une superficie de près de 500 hectares. Elle se trouve à 6 Km au Nord-Ouest de la ville de Bordj Bounaàma, de la localité « Boucaïd ». Cette région se situe entre 35° 53' 27" de latitude Nord et entre 01° 37' 10" de longitude Est.

Elle est limitée :

- Au Nord par le canton de l'Oued Zaouia.
- A l'Est par le canton de Freha.
- Au Sud par le canton de Megedga et le canton de Sidi Amar.
- A l'Ouest par le canton Ain Hadjela.

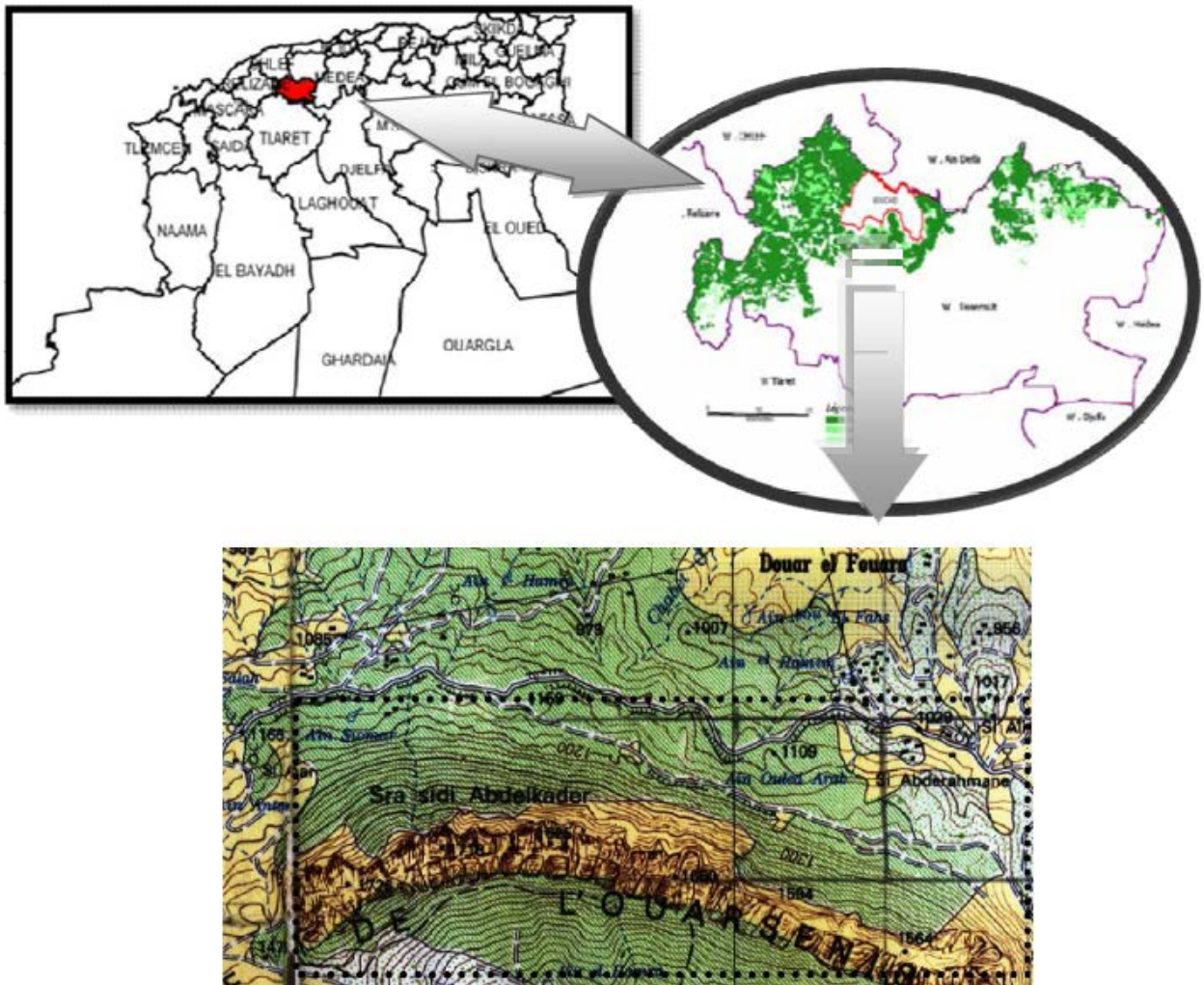


Figure 07 : Situation géographique de la zone d'étude (ANONYME., 1984).

3.1. Relief

La zone d'étude occupe le versant Nord du canton SIDI ABDEL KADER. Le relief est généralement accidenté. La frontière Sud est déterminée par des formations rocheuses très pittoresques; Une couronne de falaises d'une hauteur de 200 à 500 m domine cette région.

Elles continuent des versants abrupts de peuplement de cèdre grimpant souvent les pentes les plus fortes. Les terrains abrupts passent doucement en plus plats formant des plateaux. Viennent après des versants beaucoup moins abrupts descendent vers la plaine des terrains arables des agglomérations.

L'altitude moyenne est de 1375m. Elle varie entre 1000 à 1750 m. Le point culminant se trouve au sommet Sidi Abdelkader à une altitude de 1983 m. La pente moyenne du terrain est de 32%. Entre 1100 m et 1200 m d'altitude, le terrain est plus plat (ANONYME, 1984).

3.2. Structure géologique

Dans le domaine du parc régional du point de vue géologique on rencontre avant tout des sédiments Jurassique, de bas-calcaire et des accumulations quaternaires.

Les sédiments Jurassique sont développés en faciès calcaires et forment des massifs d'une épaisseur de 700-800 m d'une alternative entre le calcaire, marne et marne calcaire. Les sédiments de bas calcaires forment le reste du territoire du parc, ils sont présentés par alternatives entre marnes, marnes calcaires et calcaires, et argiles feuilletées.

Les alluvions quaternaires couvrent presque totalement les versants des massifs calcaires. Ce sont d'épaisses formations des brèches homogènes (calcaires).

La zone élevée comprend les massifs calcaires qui se déterminent nettement et dominant le relief environnant, cette zone peut être caractérisées comme zone d'une dénudation active, source de riche matériel volatilisé (ANONYME., 1984).

3.3. Flore

Le pin d'Alep (*Pinus Halepensis*) est l'essence forestière rustique dominante dans la forêt d'Ain Antar. Elle est bien adaptée aux conditions écologiques. On la trouve depuis le fond des vallées jusqu'aux plus hauts sommets. Et comme strate basse, on trouve le chêne vert (*Quercus Ilex*) dans les stations les plus fraîches contrairement au genévrier oxycèdre et le genévrier de Phénicie qui caractérisent les stations les plus sèches et les plus dégradées. Quant aux essences secondaires les plus fréquentes, on cite : *globularia punctata*, *alysum*, *Cistus*, *Heliantheum salicifolium*, *calicotome spinosa*, *Genista tricuspidata*, ...etc.

Le prédominant de cette association est *Cedretum libanotica ssp atlantica* il se trouve dans la forêt AIN ANTR à une altitude d'environ 1100 m en coexistence surtout *Pinus halepensis* et *Quercus ilex*. Avec l'augmentation de l'altitude augmente aussi la participation du *Cedrus atlantica* qui prédomine sur la crête rocheuse à une altitude de 1210 – 1500 m. la couverture herbacée est d'environ 163 espèces. Une partie considérable revient aux céréales et aux légumineux : *Dactylis glomerata*, *Poi bulbosa*, *Lolium rigidum*...etc. Des radicales de longue année : *Asphodelus microcarpus*, *Ferula communis*, *Myosatis alpestris* (ANONYME., 1984).

3.4. Faune

La forêt abrite une faune très diversifiée, on y compte: des mammifères, mollusques, insectes, vertébrés et invertébrés.

Plus de 60 espèces d'oiseaux sont identifiés dans la région, elles sont toutes d'origine méditerranéenne, les plus dominantes sont: Aigle royal, Pic vert, Epervier, merle noir, Biset, Grive, Corbeau, Passereau, Geai, Perdrix rouge et Tourterelle.

Les mammifères sédentaires dominants sont : Sanglier, Renard, Chacal doré, Lièvre, Hérisson, Gerboise, Chat sauvage, et Porc épic (ANONYME., 1984).

3.5. Étude climatologique

Le climat, par ses différents facteurs (température, pluviométrie, vent), joue un rôle déterminant et intervient d'une façon décisive dans la régénération, le développement et la répartition géographique des végétaux.

3.5.1. Précipitations

L'analyse des précipitations et leur répartition dans le temps et dans l'espace sont utiles. Ces précipitations constituent un facteur abiotique d'importance significative sur la régénération des plantes.

D'un point de vue géographique, les précipitations varient selon que la région étudiée soit au Nord ou au Sud, à l'Est ou à l'Ouest ; ou qu'elle soit haute ou basse. On parle de trois gradients définissant les variations de la pluviosité : l'altitude, la longitude et la latitude.

Le tableau ci-dessous représente les données moyennes mensuelles de précipitation durant la période 1982-2012.

Tableau 01 : Les données pluviométrique de la zone d'étude.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précipitations (mm)	84	72	71	55	55	24	7	9	31	52	81	79

Source : (WEB MASTER 1)

On remarque suivant cette répartition une irrégularité saisonnière, et par conséquent une inégale distribution annuelle de précipitations.

Juillet est le mois le plus sec, avec seulement 7 mm. Une moyenne de 84 mm fait du mois de Janvier le mois ayant le plus haut taux de précipitations.

3.5.2. Température

La température est un facteur climatique indispensable pour la survie des végétaux. C'est un élément exerçant une action écologique importante sur les êtres vivants.

Le tableau (02) exprime les moyennes mensuelles de température durant la période 1982-2012.

Tableau 02 : les données climatiques de température de la zone d'étude.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T M (°C)	8.8	9.9	12.1	14.7	19.7	24.9	30	30.2	25.1	19.2	12.9	9.2
T m (°C)	1.4	1.9	3.7	6.4	10	14.4	18.2	18.9	14.8	10.2	5.1	2.6
T moyen (°C)	5.1	5.9	7.9	10.5	14.8	19.6	24.1	24.5	19.9	14.7	9	5.9

Source : (WEB MASTER 1)

A partir de ce tableau ; la saison froide s'étale de Décembre à Mars ; elle correspond à la période des basses températures. 5.1 °C font du mois de Janvier le plus froid de l'année. 24.5 °C font du mois d'Août le plus chaud de l'année.

Une différence de 19.4 °C existe entre la température la plus basse et la plus élevée sur toute l'année.

3.5.3. Le vent

Les effets du vent sur la flore sont importants : déracinements, déformations, augmentation de la transpiration, assèchement, mais il contribue aussi à la dissémination des pollens et graines.

Tableau 03 : Répartition mensuelle des vitesses du vent durant la période 2000-2015.

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vent (m/s)	2.84	2.6	2.26	2.73	2.5	2.1	2	2.22	1.94	2.39	2.5	2.82

Source: O. N. M In (BARED, 2016)

La force du vent est faible à modéré durant toute l'année, tandis que le minimum concerne le mois de Septembre. Les vitesses moyennes mensuelles du vent varient de 1,9 m/s à 2,84 m/s. Les vents dominants sont de Nord Ouest, ils sont chauds et sec en été et froids en hiver.

3.6. Synthèses climatiques

3.6.1. Diagramme Ombrothèrmique de BAGNOULS et GAUSSEN

L'établissement du diagramme Ombrothèrmique de BAGNOUL et GAUSSEN, nous a permis de déterminer graphiquement une classification climatique en tenant compte des paramètres hydriques (pluviométrie) et thermiques (température). C'est un diagramme qui permet de délimiter la durée de la période sèche où $P \leq 2T$.

P : précipitations moyennes mensuelles

T : températures moyennes mensuelles

Le climat est sec lorsque la courbe des températures est au dessus de celle des précipitations et humide dans le cas contraire.

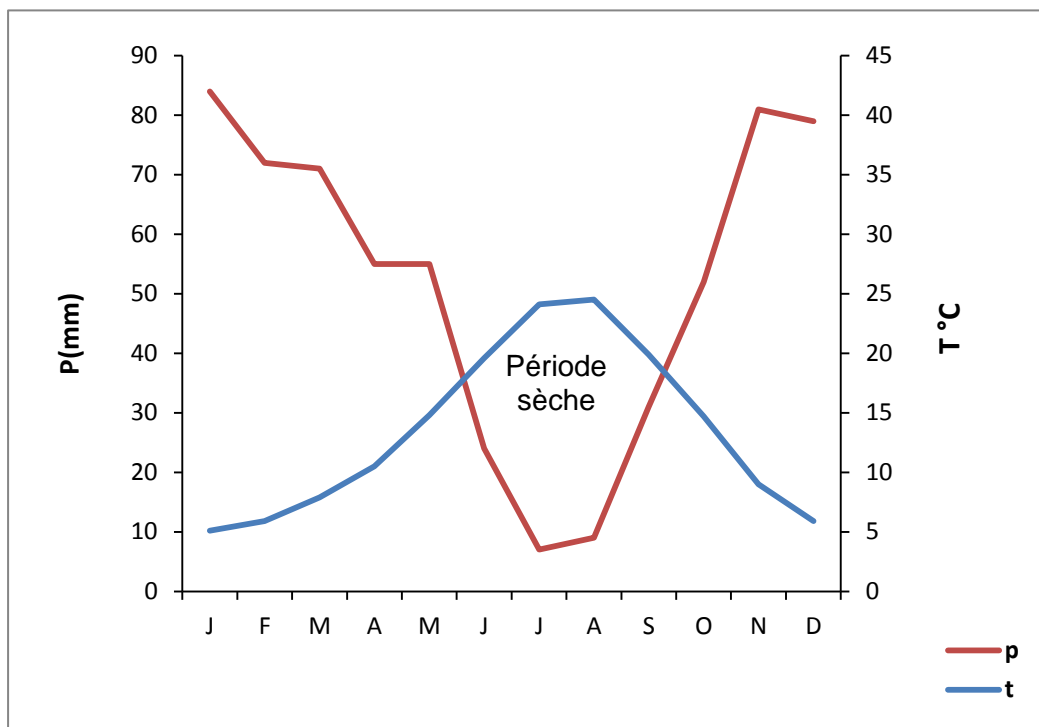


Figure (08) : Diagramme Ombrothermique de la forêt d'Ain Antar.

On peut déduire de la figure : la période sèche s'installe de début du juin jusqu'au la fin du mois de septembre.

3.6.2. Climatogramme pluviothermique d'Emberger

Le climatogramme d'EMBERGER propose un quotient pluviothermique $\ll Q_2 \gg$ pour l'analyse des formes climatiques méditerranéennes. Il part du principe que les précipitations annuelles (P) sont le moyen le plus simple pour caractériser la sécheresse et que la vie d'un végétal se déroule entre deux pooles thermiques ; la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima du mois le plus froid (m).

Ce quotient nous permet de situer schématiquement nos stations en fonction des étages de végétation sur le climatogramme pluviothermique d'EMBERGER.

$$Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

P : pluviosité moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en Kelvin.

m : moyenne des minima du mois le plus froid en Kelvin.

Tableau 04 : caractères bioclimatique.

Zone d'étude	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q ₂	Etage
1200 m	620	30.2	1.4	74.54	Sub humide à hiver frais

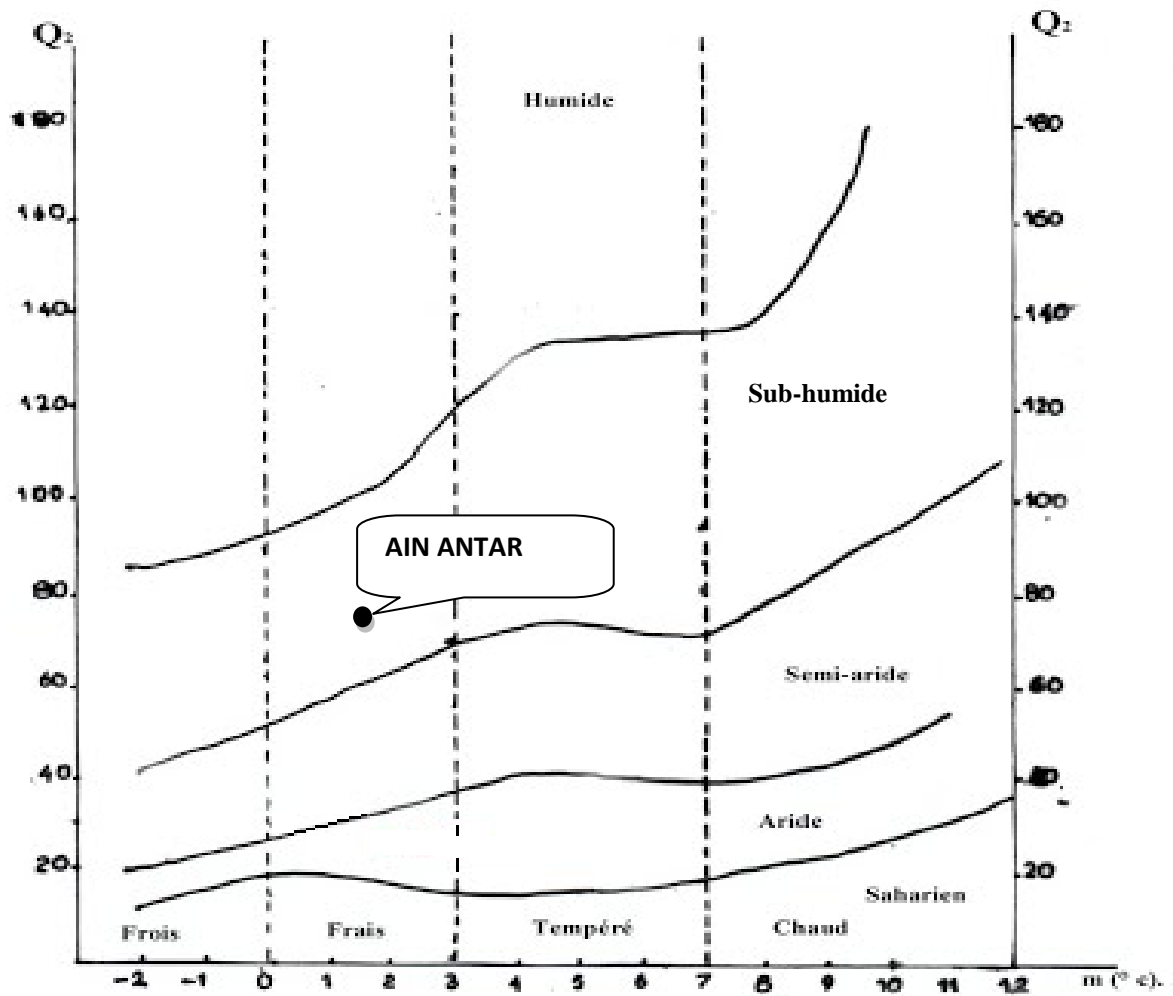


Figure (09) : Localisation de la zone d'étude.

Chapitre III

Matériels et méthodes

1. Protocole d'échantillonnage

Ce travail a été réalisé pour deux stations, dans lesquelles 10 arbres ont été échantillonnés.

1.1. Choix des stations

Le choix des stations a été dicté par deux impératifs essentiels. D'une part, la station doit être homogène en terme de densité et se trouvant dans une ambiance forestière (BOUKHELIFA, 2014). De ce fait, nous avons choisi des stations plus ou moins représentatives d'Ain Antar, avec des placettes de forme rectangulaire.

Tableau 05 : Les principaux caractères écologiques des stations étudiés

Stations	Station 1	Station 2
Coordonnées	35°53'28'' N	35°53'40'' N
Géographiques	01°40'24'' E	01°39'05'' E
Altitude (m)	1 150	1 254
Exposition	NNE	NW
Pente (%)	10-20	20-30
Édaphisme	Calcaires	Calcaires

-L'altitude est déterminée à l'aide d'un **altimètre préalablement** étalonné.

-La pente du terrain, exprimée en degrés, est déterminée à l'aide d'un **clisimètre**.

-L'exposition est déduite à l'aide d'une **boussole forestière**.

1.2. Choix des arbres

On a sélectionné des sujets dominants ou co-dominants (RONDEUX, 1993). Le choix des arbres est basé sur un examen externe de la surface de la tige (afin d'identifier des perturbations morphologiques). Il dépend également de la position de l'individu considéré par rapport à l'extension processus étudié. Plusieurs informations, relatives à l'arbre échantillonné, doivent être inventoriées dans une fiche de terrain :

- Sa localisation sur la carte géomorphologique ;

- Les perturbations de croissance visibles (cicatrices, inclinaison du tronc, enfouissement partiel de la tige, étêtement, destruction des racines, érosion) ;
- La localisation des échantillons prélevés ;
- Le diamètre à hauteur de poitrine ;
- La position par rapport aux arbres voisins (**LOPEZ-SAEZ et CORONA, 2014**).

1.3. Sondage à la tarière de PRESSLER

Extraction d'une carotte de sondage est effectuée à 1,30 m du sol, trois raisons essentielles pour le choix de cette hauteur (1,30 m) :

- Facilité de prélèvement ;
- Diminution des biais relatifs à l'effet de l'empatement ;
- Aux effets de la concurrence initiale subit par les arbres.

Les carottes sont prélevées à l'aide d'une **tarière de PRESSLER**. 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, après extraction, les trous de sondage sont rebouchés pour éviter l'attaque de parasites ou de champignons (**LEBOURGEOI et MERIAN, 2012**).

Les carottes sont collées sur un support des réglettes en bois, préalablement rainurée (profondeur 2 mm, largeur 5 mm, longueur 400 mm), à l'aide d'une colle à bois. Un grand soin doit être apporté au collage : les fibres du bois doivent être positionnées perpendiculairement au support afin de permettre une observation, une lecture et une datation optimales des cernes de croissance (**LOPEZ-SAEZ et CORONA, 2014**).



Figure 10 : Matériels utilisés au terrain.

1.4. Préparation des échantillons

Après séchage, 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. 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 (**LEBOURGEOI et MERIAN, 2012**).

Les échantillons poncés sont analysés selon un protocole en trois étapes qui inclut :

- le décompte et le pointage des cernes de croissance ;
- l'identification des cernes caractéristiques ;
- la mesure de la largeur des cernes (**LOPEZ-SAEZ et CORONA, 2014**).

2. Analyses dendrochronologiques

La première étape est de dénombrer et dater des cernes annuels visibles sur les sections transversales préalablement poncés. Cette opération se réalise à l'aide d'une loupe binoculaire avec une précision de 1/10 mm.



Figure 11 : Matériels utilisés dans laboratoire.

2.1. Principe de l'interdatation

Connaissant la date de formation du dernier cerne sous l'écorce, attribuer une date à chaque cerne compté en direction de la moelle semble évident. Il faut tenir compte des erreurs éventuelles lors de la saisie mais également d'anomalies de croissance ou anatomiques du type « faux cerne » ou « double cerne » (deux « bandes » de bois final formées la même année), « cerne manquant » (absence du cerne sur le secteur du tronc traversé par la carotte) ou plus simplement d'erreur lors de la mesure des cernes (oubli d'un cerne ou cerne compté deux fois).

L'interdatation consiste à attribuer à chaque cerne l'année exacte de sa formation et à synchroniser les différentes carottes pour obtenir des séries complètes et exactes (**VALLAURI et al, 2010**).

Le principe fondamental de cette interdatation (ou synchronisation) repose sur l'existence « d'années caractéristiques » auxquelles correspondent des conditions de croissance remarquables. Dans cette étape, chaque série individuelle est comparée à une référence supposée sans erreur. Pour cela, il est nécessaire de repérer, sur cette référence, les années durant lesquelles la croissance des arbres a été extrême (soit très faible, soit très forte) puis de vérifier le synchronisme de ces évènements avec ceux observés sur chacune des séries individuelles. Ces années témoignent le plus souvent d'évènements climatiques limitants (forte sécheresse, froid extrêmes) ou stimulants (fortes pluies, etc.) (**LEBOURGEOI et MERIAN, 2012**).

2.2. Mesure de largeur des cernes

Nous avons mesuré séparément, pour chaque carotte, la largeur des cernes à l'aide d'une loupe graduée, (figure 12).

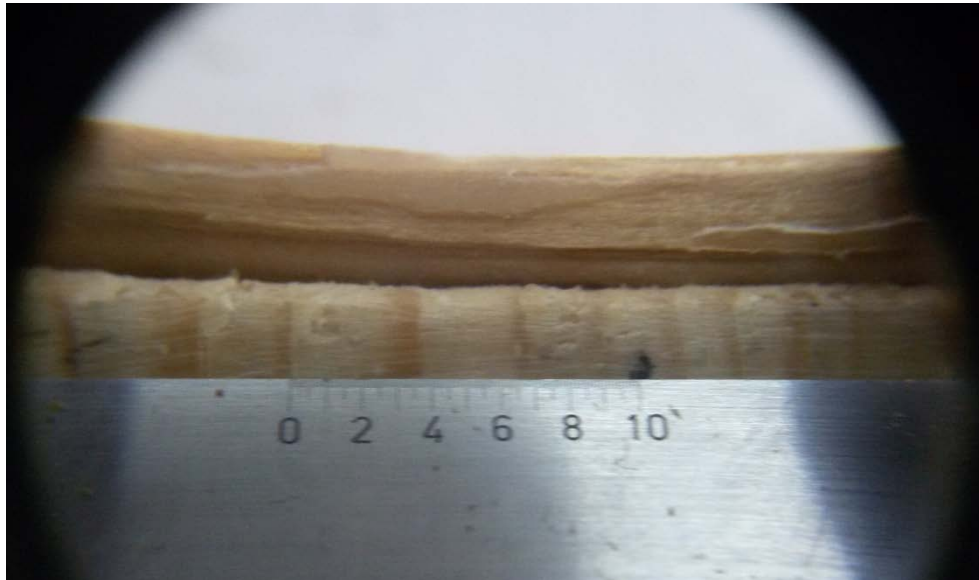


Figure 12 : La mesure des épaisseurs des cernes.

3. Traitement des données

Les différents traitements réalisés sur les séries d'épaisseurs de cernes permettent d'une part une comparaison de la croissance radiale entre les arbres de différentes populations, d'autre part de séparer les fluctuations de l'épaisseur des cernes dans la part attribuable à son environnement (type de station, climat, attaque parasitaire, intervention humaine...), et celle attribuable aux caractéristique propre de chaque arbre et chaque population (MESSAOUDENE, 1989).

4. Analyse qualitative

Les séries de données ont été présentées sous forme d'histogramme dont les années sont trouvées dans l'axe des abscisses et les épaisseurs des cernes dans l'axe des ordonnées. Pour vérifier le synchronisme entre les différentes séries.

4.1. Courbes de maîtresse ou de synthèse

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

Ces courbes caractérisent l'évolution de la croissance radiale et font ressortir les séquences des années exceptionnelles sur toute la durée de la chronologie (variation de haute et moyenne fréquence). Elles permettent aussi, d'évaluer la dynamique de la croissance en fonction de l'âge (variation de basse fréquence).

Selon SARMOUM *et al* (2016) l'interprétation de courbes est basée sur trois échelles :

- Echelle interannuelle ou variation de haute fréquence ;
- Echelle de la décennie ou variation de moyenne fréquence ;
- Echelle du siècle ou variation de basse fréquence.

5. Analyses numériques

5.1. Epaisseur moyenne du cerne (EMC)

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

$$EMC = \Sigma X_n/n$$

5.2. Ecart-type

L'écart-type (ET) mesure la dispersion des valeurs de l'EMC autour de la moyenne (SARMOUM *et al*, 2016).

5.3. Sensibilité moyenne (SM)

La sensibilité moyenne exprime la variation relative des épaisseurs de cerne, par comparaison d'une année n à la suivante. Elle est variée entre 0 et 1. Elle quantifie la sensibilité des arbres au climat tel qu'il résulte de l'interaction des facteurs du milieu.

La formule du calcul de la sensibilité moyenne est la suivantes:

$$SM = \sum_{t=1}^{n-1} 2|X_{t+1}-X_t| / |X_{t+1}+X_t| / (n-1) \text{ avec :}$$

$$t = 1$$

n : le nombre d'années disponibles.

X_t : l'épaisseur du cerne de l'année t.

5.4. Standardisation des épaisseurs des cernes

La standardisation a pour objectif d'extraire, au sein des variations des largeurs de cernes observées, le signal que l'on cherche à étudier (ex : le climat), de bruit constitué par toutes les autres sources de variation (ex : âge, sylviculture...).

La standardisation transforme les séries élémentaires brutes en séries d'indice (exprimés sans unité) (LEBOURJOI, 2007). Les valeurs de cet indice varient de 0 à 1 pour les cernes minces (croissance négative) et plus de 1 (atteignant parfois la valeur de 03 et 04) pour les cernes épais (croissance positive) (SARMOUM, 2016).

Pour chaque valeur X_t de la croissance réelle est attribuée une valeur théorique Y_t extraite de la courbe d'ajustement. Un indice de croissance annuelle (I_a) est calculé par la formule:

$$I_a = X_t / Y_t.$$

5.5. Analyse en composantes principales (ACP)

L'Analyse en Composantes principales (ACP) fait partie du groupe des méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles. L'objectif de cette analyse est de présenter sous forme de graphe le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (DUBY et ROBIN, 2006).

6. Modélisation ARMA

La méthode ARMA (Auto Regressive Moving Average) découle des méthodes d'analyse des séries chronologiques développées par Box et Jenkins (1970) (MESSAOUDENE, 1989). Les processus ARMA généralisent simultanément les modèles AR purs et les MA purs. Ces modèles présentent l'avantage d'être plus souples d'utilisation et de fournir généralement de bonnes

approximations des séries réelles avec moins de paramètres que les modèles AR ou MA purs (PERRAUDIN, 2005). Pour chaque chronologie élémentaire, le modèle AR(p) est défini sur le nombre d'autocorrélation partiels significative d'ordre $n - 1$ à $n - 13$ (valeur maximale pour laquelle l'effet des années précédentes peut affecter la croissance des arbres). L'ordre p du modèle étant défini, les coefficients Φ_1, Φ_2, Φ_p sont calculés. Si les autocorrélations persistent encore, on passe au modèle MA(q) avec q égal au nombre d'autocorrélation simple encore significatives ($\emptyset_1, \emptyset_2, \emptyset_q$) (SARMOUM, 2016).

Chapitre IV

Résultats et discussions

1. Evaluation des épaisseurs brutes des cernes

Les figures (13) et (14) dessinent les variations inter-annuelles des épaisseurs brutes des cernes dans la station 01 et 02.

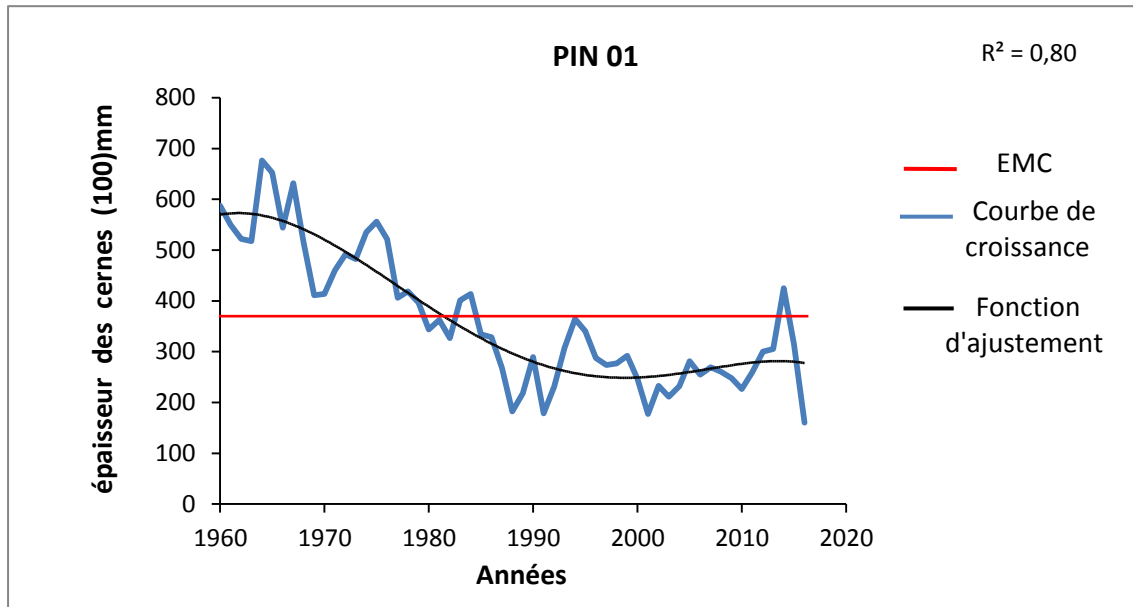


Figure 13 : La variation inter-annuelle des épaisseurs brutes des cernes (station 1).

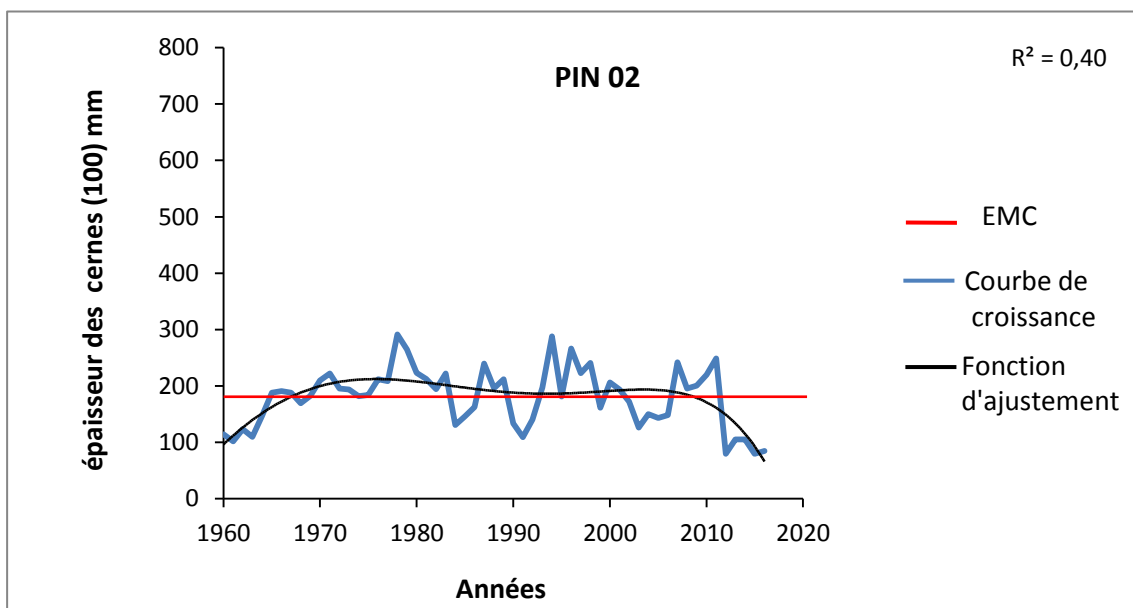


Figure 14 : La variation inter-annuelle des épaisseurs brutes des cernes (station 2).

L'analyse des courbes maîtresses représentatives des épaisseurs moyennes des cernes montre que la croissance radiale a pris sa propre démarche pour chaque station, avec quelques repères communs entre les deux stations. Cette différenciation indique que chaque population est soumise à certains facteurs différents de l'autre.

La largeur de cerne intègre de nombreux signaux environnementaux et biologiques. Ces signaux présentent des fréquences variées, de l'interannuel (échelle de temps la plus fine possible) au siècle (ou plus). Même s'il est difficile de fixer des limites objectives pour définir des classes de signal, trois fréquences sont classiquement proposées (**LEBOURGOIS et MERIAN, 2012**).

-Signal basse fréquence (échelle multi-décennale) : intègre les tendances de croissance à (très) long terme dues à l'âge (décroissance biologique), mais également aux variations lentes et continues des conditions environnementales (évolution de la sylviculture, pollutions atmosphériques, dérive climatique, etc.) (**LEBOURGOIS et MERIAN, 2012**).

Les chronologies moyennes par population mettent en évidence une forte variabilité interannuelle de la croissance radiale et une tendance générale à la diminution de celle-ci avec l'âge notamment la population pin 01. Cette tendance définit les variations de basse fréquence enregistrées sur toute la chronologie.

- signal moyenne fréquence (échelle décennale) : intègre les tendances de croissance sur plusieurs années (5 à 30 ans). Ces variations peuvent être à nouveau d'origine climatique (crises de croissance dans le cas de sécheresses répétées, d'arrière-effets, etc.), mais également d'origine sylvicole (forte éclaircie, éclaircie sélective, etc.), ou liées à des phénomènes de dépérissement (**LEBOURGOIS et MERIAN, 2012**) elles sont souvent communes entre les deux populations. Les phases de variation de croissance des arbres pour les deux stations sont :

-pour la première population :

* **phase de bonne croissance (1960-1968, 1974-1975) :** dans ces durées nous enregistrons des phases favorables à la croissance avec un maximum dans l'année 1964, ce que désigne l'effet des bonnes conditions. Bonne année climatique et alimentaire donne un large cerne (**AMAT et al, 2008**).

* **phase de diminution de la croissance (1987-1993, 1996-2011, 2016) :** nous remarquons un déclin de la croissance radiale qui peut être due aux conditions climatiques, une attaque de parasites ou encore l'effet de l'âge.

-Pour la deuxième population :

* **phase favorable à la croissance (1977-1981, 1994-1998, 2009-2011) :** caractérisée par une bonne croissance en compagnie d'un maximum dans l'année 1994.

* **phase entre 1960-1963 et entre 2012-2016 :** une diminution de la croissance radiale.

-pour les phases communes entre les deux stations :

* **phase de diminution entre 1986-1992 et l'année 2016** : ces phases sont synchrones pour les deux populations et suggèrent l'influence d'un facteur commun sur la croissance radiale qui peut être d'origine climatique par exemple un baissment de température et précipitation due à quelque jours de gelé ou un chute considérable de neige dans ce temps. Puisque la croissance radiale est essentiellement déterminée par la quantité des précipitations du printemps et de l'automne. Les températures interviennent, toujours en combinaison avec les précipitations, sur le démarrage de la croissance, et sur la mobilisation des réserves hydriques estivales (NICAULT et al, 2001) ou encore la sécheresse des années 80-90 (SARMOUM et al, 2016).

-**signal haute fréquence (échelle interannuelle)** : intègre les variations annuelles de croissance. Celles-ci concernent la physiologie de l'espèce et ont pour origine les fluctuations interannuelles des conditions environnementales telles que le climat (facteur principal) et les perturbations ponctuelles comme les incendies ou les attaques de pathogènes (LEBOURGOIS et MERIAN, 2012). Elles sont exprimées par des cernes très larges ou au contraire très minces, et traduisent la variabilité interannuelle des conditions qui agissent sur la croissance radiale (climat, attaque de parasites, coupes illicites...). Parmi les années à cernes minces on peut citer : 1961, 1991, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016.

Les années à cernes épais : 1964, 1965, 1974, 1975

2. Evaluation des épaisseurs standardisées des cernes

Les figures (15) et (16) représentent les variations inter-annuelles des épaisseurs standardisées des cernes dans les stations.

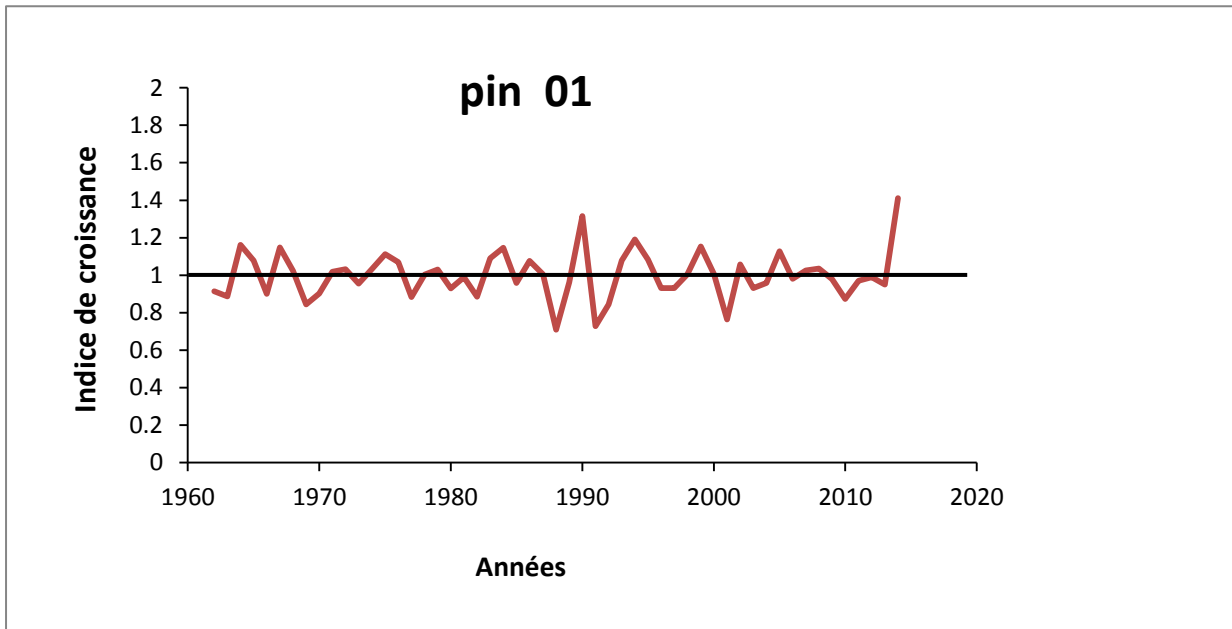


Figure 15: La variation inter-annuelle des épaisseurs standardisées des cernes (station 1)

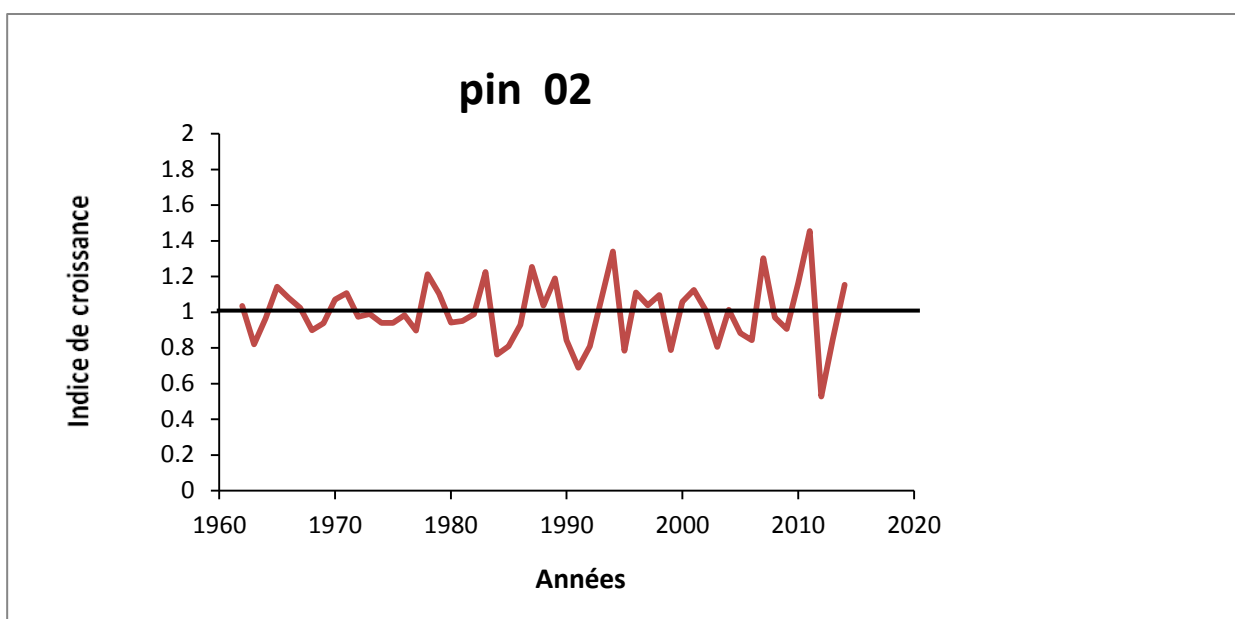


Figure 16 : La variation inter-annuelle des épaisseurs standardisées des cernes (station 2).

Les indices de croissance prennent des valeurs allant de 0 à 2, la moyenne de l'indice de croissance s'échelonne autour de la valeur 1. Les cernes minces sont ceux dont la valeur de l'indice de croissance est inférieure à 1, les cernes larges prennent des valeurs supérieures à 1 et pouvant atteindre la valeur 2. Les cernes minces et larges traduisent respectivement des années négatives ou positives de la croissance radiale.

3. L'analyse statistique des épaisseurs des cernes

Tableau 06: Les paramètres statistiques calculés

variable	N Actifs	EMC	V Min	V Max	S M	Ecart-type	C Asym	C Aplat
Station1 brute	57	3.63	1.60	6.76	0,179	1.326	0.59	-0.57
Station 1 indice	53	1.0	0.70	1.41	0,174	0.0012	0.473	1.72
Station 2 brute	57	1.80	0.80	2.91	0,217	0.0518	-0.069	-0.49
Station 2 indice	53	0.99	0.52	1.45	0,226	0.0017	0.095	0.66

Les paramètres statistiques calculés sur les chronologies maîtresses (tableau 06), représentatives de chaque population, montrent de fortes différences d'une population à l'autre.

3.1. Valeurs brutes

3.1.1. Epaisseur des cernes et leur moyenne (EMC)

Les valeurs de ce paramètre varient d'une population à l'autre, avec un maximum de 6.76 mm, minimum de 1,60 et un moyen (EMC) de 3,63 mm/an pour la station 01, et dans un intervalle de (0.80 à 2,91 mm) avec un moyen de 1,80 mm/an pour la deuxième station .

3.1.2. Sensibilité moyenne (SM)

D'après **FRITTS (1976)**, le seuil de 0,20 détermine deux catégories de population :
-Sensible à coefficient supérieur à 0,20 ;

- Complacent à coefficient inférieur à 0,20.

La population 01 est peu sensitive, comme l'attestent la valeur de SM inférieure à 0,20 (0,17), la deuxième population est sensitive avec $SM > 0,20$ (0,21).

Cette différenciation à cause de :

- les deux populations situées à des altitudes différents (1 150 m pour la station 01 et 1 254 m pour la station 02) ;

- la différence de la pente entre les 02 stations (10-20% pour station 01 et 20-30 pour la station 02).

3.1.3. Ecart-type

Les valeurs de l'écart-type (ET) indiquent une forte variabilité interannuelle de la croissance radiale due aux fluctuations des facteurs aléatoires qui agissent sur la croissance radiale (climat, coupes illicites, attaques de parasites), mais aussi l'effet de l'âge.

-La population (01) présente une valeur de 1,326 ;

-La population (02) présente une valeur de 0,051.

3.1.4. Coefficient d'asymétrie et d'aplatissement

Une asymétrie positive indique une distribution unilatérale décalée vers les valeurs les plus positives c'est-à-dire vers les valeurs élevées de la croissance radiale (**GELLER, 1975 In TOUDA et MAHI, 2012**). Ce coefficient est positif dans la première station, ce qui indique des valeurs concentrées vers les valeurs positives de la croissance radiale, et il est négatif dans la deuxième station c'est-à-dire les valeurs concentrées vers les valeurs négatives de la croissance radiale. Le coefficient d'aplatissement indique des valeurs négatives qui attendent une distribution plus aplatie que la distribution normale.

3.2. Valeurs standardisées

Les statistiques des séries standardisées sont les mêmes que celles des séries brutes, Les statistiques de la chronologie moyenne ont pour objectif principal de quantifier la force du signal commun qu'elle contient ; en d'autres termes, elles mesurent si ce signal est (i) fort (reste-t-il encore du bruit ?) et (ii) s'il est représentatif du signal théorique de la population (**LEBOURGOIS et MERIAN, 2012**).

Nos résultats obtenus indiquent une diminution des valeurs standardisées par rapport aux valeurs brutes dans les deux stations, ce qu'est justifié par l'élimination des signaux indésirables considérés comme du bruit, tel l'effet de l'âge (reste l'effet climatique seulement).

Pour la sensibilité moyenne, nous avons des valeurs presque semblables (brutes et standardisées), ce qu'est montre que l'âge n'a pas d'effet sur la sensibilité des arbres au climat.

4. Analyse en composantes principales

La figure (17) représente une projection des populations dans l'ACP en fonction des épaisseurs des cernes (données brutes).

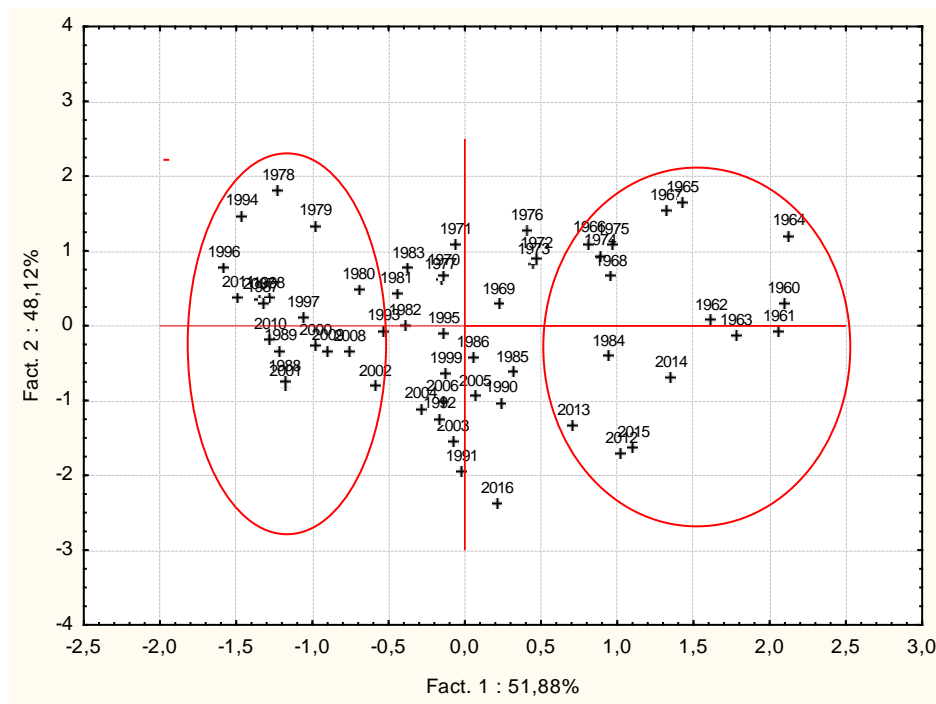


Figure 17 : Projection des populations dans l'ACP en fonction des épaisseurs des cernes (données brutes).

D'après la figure (17), on distingue deux groupes d'années :

Groupe 01 : situé dans le coté positif de l'axe 01, et renferme les années (1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1974, 1975, 1984, 2012, 2013, 2014 ; 2015). Ces années ont été caractérisé par une faible croissance radiale.

Groupe 02 : situé dans le coté négatif de l'axe 01, et contient les années (1978, 1979, 1988, 1989, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 2000, 2001, 2002, 2007, 2008, 2010, 2011). Ces années ont été caractérisé par une forte croissance radiale.

La figure (18) représente une projection des populations dans l'ACP en fonction des épaisseurs des cernes (données standardisées).

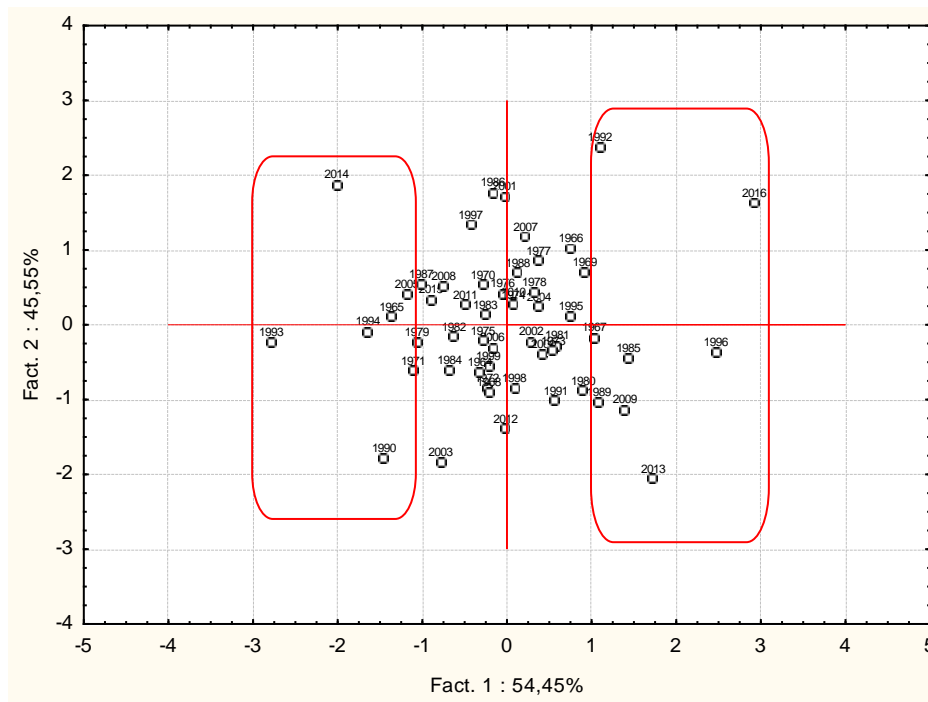


Figure 18 : Projection des populations dans l'ACP en fonction des épaisseurs des cernes (données standardisées).

Par l'élimination de l'effet des bruits (comme l'effet de l'âge), on distingue aussi deux groupes des années exceptionnelles de la croissance radiale:

-groupe situé dans le coté positif de l'axe 01, (1985, 1967, 1969, 1992, 1996, 2009, 2013, 2016) caractérisé par des épaisseurs des cernes étroites signifient une faible croissance radiale ;

-groupe situé dans le coté négatif de l'axe 01, (1965, 1971, 1979, 1990, 1993, 1994, 2005, 2014) caractérisé par des épaisseurs des cernes larges indiquent une forte croissance radiale.

D'après ces résultats, nous avons remarqué qu'il ya une différenciation entre les valeurs brutes et les valeurs standardisés.

5. Modélisation de la croissance radiale ARMA (p, q)

5.1. Station 1

D'après la figure (19) on constate que le modèle (1,0) est le plus répondu avec une fréquence de 61,53%, suivi par le modèle (3,0) avec une fréquence de 15,38%. Les autres modèles sont moins fréquents avec même pourcentage de 7,69%. Il en résulte que les arbres de la même populations ne répondent pas forcément au même modèle de croissance. Cette différence est liée aux conditions microstationnelles, au statut de l'arbre et à son patrimoine génétique. Toutefois, la croissance des arbres de la populations réponds surtout à un modèle AR(p) ce qui indique que la croissance des arbres dépends les conditions de l'année en cours, l'effet des années précédente est très faible.

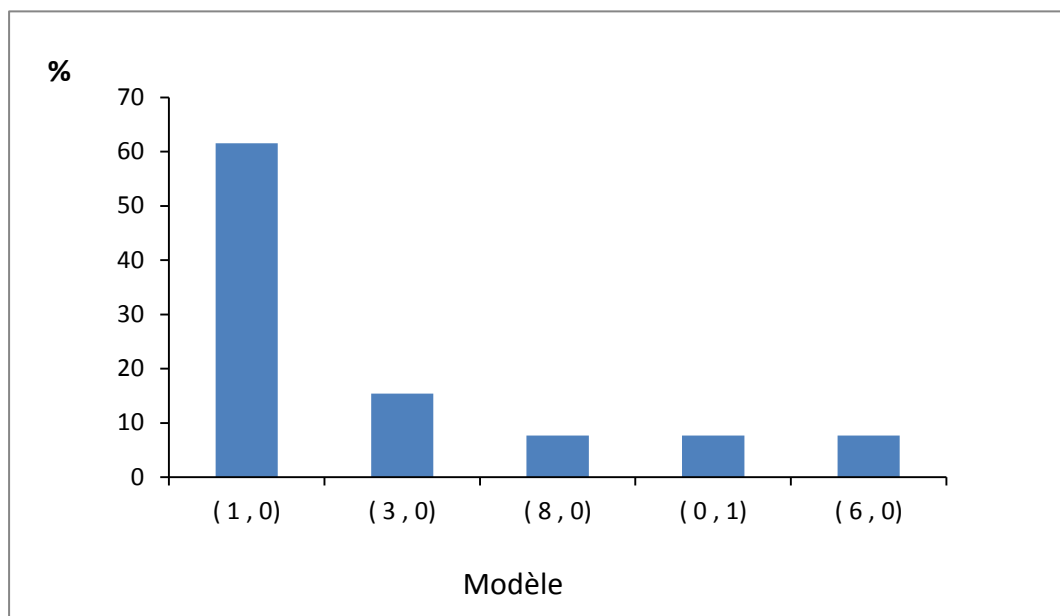


Figure 19 : Représentation en histogramme des modèles (ARMA) en fonction de la fréquence (%) pour la station 01.

5.1. Station 2

La figure (20) montre que les modèles (1,0) et (0,1) sont les plus répondus avec une fréquence de 40% et 33,33% successive, suivi par le modèle (2,0) avec une fréquence de 13,33% en fin, les autres modèles sont moins fréquents 6,66%. Il en résulte que les arbres de la même population ne répondent pas forcément au même modèle de croissance. Toutefois, la croissance des arbres de la population réponds surtout à un modèle AR(p) suivi par le modèle MA(q).

L'interprétation peut être effectuée à travers les valeurs respectives de (p) et (q). Un modèle AR (p, 0) dont p peut avoir des valeurs de 1, 2, 3...etc, indique que le climat des années précédentes n'intervient pas directement pour déterminer l'épaisseur du cerne (MESSAOUDENE, 1989). En revanche, les modèles ARMA (p, q) avec $q > 0$, indiquent un effet rémanent des années antérieures sur l'épaisseur du cerne (TESSIER, 1984).

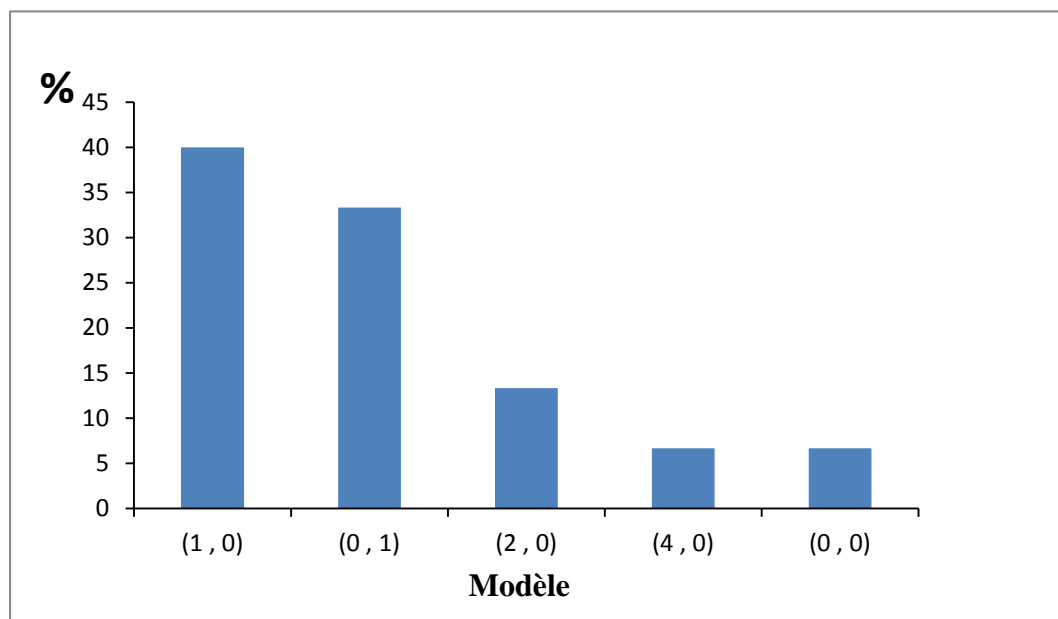


Figure 20 : Représentation en histogramme des modèles (ARMA) en fonction de la fréquence (%) pour la station 02.

Conclusion

Conclusion

Cette étude concerne la modélisation de la croissance radiale de deux populations de pin d'Alep (*Pinus halpensis* Mill) situés dans deux stations de la forêt d'Ain Antar commune de Boucaide wilaya de Tissemsilt. Ce travail a permis de mettre en évidence la relation entre la fluctuation de la largeur des cernes de cette espèce et les facteurs stationnels.

L'objectif de la modélisation de la croissance radiale de pin d'Alep est d'isoler chaque signal, notamment le signal climatique et de minimiser les «bruits de fond» lié à l'effet négatif de l'âge sur la croissance.

Cette analyse déplit en deux parties, une par l'analyse statistique des valeurs brutes des épaisseurs des cernes, et d'autre par la standardisation de ces valeurs (l'élimination des bruits comme l'effet de l'âge et reste nettement l'effet de climat).

Les résultats obtenus confirment des cernes épais influencés en grande partie par le climat et indiquent des années favorables à la croissance, et des cernes minces indiquent des conditions étroites de la croissance, parmi ces facteurs climatiques, la température et la précipitation agissent fortement sur la croissance radiale de pin d'Alep.

La modélisation de cette croissance par ARMA (p,q) indique que les arbres de la même population ne répondent pas forcément au même modèle de croissance. Les différents modèles obtenus sont liés aux conditions microstationnelles, au statut de l'arbre et à son patrimoine génétique. Dans les deux stations le modèle le plus répandu c'est ARp, ce qui indique que la croissance des arbres dépend des conditions de l'année en cours, l'effet des années précédentes est très faible.

En fin la méthode de modélisation donne des résultats plus efficaces et utilisables dans la gestion durable de pin d'Alep.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **AMAT J., DORIZE L., LE CŒUR C., 2008.** Eléments de la géographie physique. Edi : Bréal, 306 p.
- **ANONYME., 1984.** Etude de projet pour la mise en valeur des terres, aménagement des forêts et des parcs nationaux dans la massif de << l'OUARSENIS >> aménagement des parcs projet d'exécution parc national << AIN ANTAR >>. Vol 20. Ed : LECOMPLERT , Bulgarie. 5-185pp
- **BARED A., 2016.** Contribution à l'étude dendrométrique du cèdre de l'Atlas de la forêt d'Ain Antar (Wilaya de Tissemsilet). Master foresterie. Université de Tlemcen. 48 pp + Annexes.
- **BASTIEN Y et GAUBERVILLE C., 2011.** Vocabulaire forestier écologie, gestion et conservation des espaces boisés. Edi : paris. 554 p.
- **BOBBOU A-E., 2016.** Contribution à l'étude d'inventaire de peuplement de pin d'Alep de la forêt de Sig (foret de Moulay Ismail). Master en aménagement et gestion des forêts, Université de Tlemcen. 58 pp
- **BOUAZZA F., 2013.** Intérêt de la mycorhization contrôlée du Chêne ver (*Quercus ilex L.*) et du Pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*) par deux espèces de Terfez, en conditions gnotoxéniques et axéniques. Magister en Biotechnologie, Univ. Es-senia, Oran. 116 pp.
- **BOUKHLIFA A., 2014.** Diagnostique de plantation de cèdre de l'atlas à djebel - Ouahche (Costantine). Mémoire de master en écologie et environnement, Univ. Costantine. 39 pp.
- **CHAAR H., FERCHICHI A., KHOUAJA A., HASNAOUI. B., ALOUI. F., HASNAOUI F., 2014.** Le pin d'Alep face aux changements climatiques, (*institut National Agronomique de Tunisie (INAT)*), N 56, 9 p.
- **CHAZEL L., CHAZEL M., 2012.** Découverte naturaliste des garrigues. Edit : Quae. 208 p.
- **DEBAZAC E-F., 1991.** Manuel des conifères. Edit : Agroparistech.172 p.
- **DODELIN B., EYNARD-MACHET R., ATHANAZE P et ANDRE J., 2007.** Les rémanents en foresterie et agriculture les branches : matériau d'avenir. Edit : Lavoisier. 169 p.
- **DUBY C., ROBIN S., 2006.** Analyse en Composante Principales. *Institut National Agronomique Paris – Grignon.* 54 P.

- **DUPERAT M., POLESE J., 2008.** Encyclopédie visuelle des arbres et arbustes. Edi : Artémis. 109 p.
- **FOUAD M., 2016.** Simulation de l'effet du changement climatique sur la dynamique des peuplements forestiers au Maroc le cas de la forêt de la Mâamora. Edi, FAO. 1 P.
- **FRITTS H. C., 1976.** Tree ring and climate. Edi: AcademicPress, New York, 545p.
- **GHOUGALI F., 2011.** Contribution à l'évaluation de la diversité et du contrôle génétique de la croissance et de la fructification chez les pins de types halepensis (*Pinus brutia-Pinus halepensis*). Mémoire master 2. Biologie et Ecologie pour la Forêt. 28 pp.
- **GOREAUD F., D COLIGNY F., COURBAUD B., DHOTE JF., DREYFUS PH., PEROT T., 2005.** La modélisation : un outil pour la gestion et l'aménagement en forêt. science de l'environnement. V 6 N° 2.
- **GUIT B. 2015.,** Croissance et état sanitaire des peuplements de pin d'alep (*pinus halepensis* mill.) dans le massif forestier de Senalba (région de Djelfa). Thèse de Doctorat En Sciences Agronomiques, école nationale supérieure d'agronomie, EL-HARRACH-ALGER. 107 pp
- **HEBERT J ; BOURLAND N ; RONDEUX J. 2005.** Estimation de l'accroissement et de la production Forestière à l'aide de placettes permanentes concentriques. p 9.
- **HOULLIER F., BOUCHON J., BIROT Y., 1991.** Modélisation de la dynamique des peuplements forestiers: Etat et perspectives. Revue forestière française, XLIII (2), 107 pp.
- **LADJAL S., 2012.** Activité antimicrobienne des métabolites secondaires des champignons endophytes isolés du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) de la région de M'sil. Magister en Biologie végétale, Univ. Ferhat Abbas, SETIF. 81pp.
- **LATTE N., JÉRÔME D., EBRUXELLES C., ATHERINE S-A., 2012.** La dendroécologie : un outil pour affiner nos connaissances sur l'autécologie des essences forestières, Forêt Wallonne, n° 116. 15 p
- **LEBOURGEOIS F., 2007.** Dendrochronologie-Standardisation et Modélisation climatique. Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois. Unité Mixte de Recherches INRA-ENGREF 1092. Equipe Ecologie Forestière.41 p.
- **LEBOURGEOIS F., MERIAN P., 2012.** Principes et méthodes de la dendrochronologie. 85 p.
- **LOPEZ-SAEZ J., CORONA C., 2014.** La dendrogéomorphologie. Principes, Méthodes, Applications. 50 p
- **MANSION D., DUME G., RAMEAU J-C., 1993.** Flore forestière française guide écologique illustré. Montagnes. Edi : Paris. 300 p.

- **MESSAOUDENE M., 1989.** Dendroécologie et productivité de *Quercus Afares* Pomel, et *Quercus canariensis* Willd. dans les massifs forestiers de l'Akfadou et de Ben Ghorbi en algérie. These de doctorat .Univ d'Aix Marsseille IH, 123p.
- **MHIRIT O., BLEROT P., 1999.** Le grand livre de la forêt marocaine, Edi : Mardaga. 99 p.
- **MIRAULT J., REGAD J., 1992.** Le point sur la situation phytosanitaire du pin d'Alep. *Forêt méditerranéenne*. T.XIII, n°3. 222p
- **NAHAL L., 1962.** Le Pin d'Alep (*pinus halepensis* MILL) étude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Annales de l'école nationale des eaux et forêts. T. XIX, (4). 479p
- **NICAULT A., RATHGEBER C., TESSIER L., THOMAS A., 2001.** Observations sur la mise en place du cerne chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) : confrontation entre les mesures de croissance radiale, de densité et les facteurs climatiques, Vol 58, N°7.
- **NICHANE M., BOUCHIKHI-TANI Z., ANOUAR KHELIL M., 2012,** les insectes xylophages et leur rôle dans le dépérissement du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans les monts des traras (Tlemcen –Algérie), Lebanese Science Journal, Vol. 15, N° 1.
- **PAQUEREAU J., 2013.** Au jardin des plantes de la Bible Edit : Alexandra Tronchot paris. 415p.
- **PERRAUDIN C., 2005.** Séries chronologiques quelques éléments du cours, Magistère d'Economie, Univ Paris. 37 pp.
- **PREVOSTO B., 2013.** Le pin d'Alep en France 17 fiches pour connaître et gérer. Edit : Quae. 159 p.
- **QUEZEL P et BARBERO M., 1992.** Le pin d'Alep et les espèces voisines : répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France méditerranéenne. *forêt méditerranéenne* t. XIII, n° 3. 158 p.
- **RABHI K., 2011.** Ajustement de modèles hauteur – circonférence – âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d'Akfadou (Tizi ouzou); effet de la densité et de la station. Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Magister ,univ. Aboubekr Belkaïd, Tlemcen. 67 pp
- **RONDEUX J., 1993.** Les mesures des arbres et des peuplements forestiers. Edit : les presses agronomiques de Grembloux (Belgique).2eme édition.521p
- **SAAD H., 2013.** Développement de bio-composites à base de fibres végétales et de colles écologiques .thèse de doctorat en chimie. Université de pau et des pays de l'Adour. 361pp.

- **SAFAR W., 1994.** Contribution a l'étude dendroécologique du pin d'Alep (*pinushalpensismill*) dans une région semi aride de l'Algérie : l'atlas saharien (OuledNailAures –Honda) Thèse de doctorat .Université d'Aix Marseille IH, 215p.
- **SARMOUM M., 2016.** Etude de la dynamique des systèmes forestiers du massif de l'Ouarsenis dans contexte des changements globaux. Thèse de doctorat en sciences. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, USTHB, 143p + annexe.
- **SARMOUM M., GUIBAL F., ABDOUN F., 2016.** Effet des facteurs stationnels sur la croissance radiale et la réponse du pin d'Alep au climat dans le massif de l'Ouarsenis, Algérie. *bois et forêts des tropiques*. N° 32. 12p.
- **SERRE-BACHE F.,1992.** Les enseignements écologiques de la variation de l'épaisseur du cerne chez le pin d'Alep. *Forêt méditerranéenne* t. XIII, N 3. 172-173 p.
- **SGHAIER T., CLAUSTRIAUX J., 2014.** Interaction provenance-environnements du Pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*) en Tunisie
- **TASSIN C., 2012.** Paysages végétaux du domaine méditerranéen IRD. Edit : Marseille. 421 p.
- **TERCIER J., HURNI J., 2013.** Croissance et dendrochronologie, Université de Lausanne Interface sciences-société, 7p
- **TESSIER., 1984.** Dendroclimatologie de *Pinus Silvestre* (L) et *Quercus Pubescens* (W) dans le sud-est de la France. Thèse doctorat. Univ d'Aix Marseille III, 275p.
- **TOUDA K et MAHI N., 2012.** Contribution à l'étude de la croissance radiale du pin d'alep dans la forêt d'AIN ANTAR (MASSIF DE L'OUARSENIS) Wilaya de Tissemsilt. Thèse d'Ingénieur d'Etat en sciences biologiques. Univ. Ibn khaldoun, Tiaret.60 pp.
- **VALLAURI D., ANDRE J., GENOT J., DE PALMA R., EYNARD-MACHET R ., 2010.** Biodiversité, naturalité, humanité. Pour inspirer la gestion des forêts, Edit : Lavoisier. 467 p.
- **VENNETIER M., GIRARD F., DIDIER C., OUARMIM S., RIPERT C., MISSON L., ESTEVE R., MARTIN W et N'DIAYA A., 2011.** Adaptation phénologique du pin d'Alep au changement climatique. *Forêt méditerranéenne*. 18 p.
- **WEB MASTER 1 :** Climate-Data.org

Résumé

Résumé

Notre travail est réalisé dans la forêt d'Ain Antar, il repose sur l'étude de la modélisation de la croissance radiale du pin d'Alep dans deux stations écologiques, dans lesquelles 10 arbres ont été échantonnés.

Les résultats obtenus montrent des différences entre les deux stations, concernant l'épaisseur moyenne de cernes, la sensibilité moyenne et les modèles statistiques de la croissance.

La croissance radiale du pin d'Alep n'est pas limitée seulement par les conditions climatiques, mais aussi par facteurs stationnels.

La modélisation du pin d'Alep constitue un moyen efficace pour comprendre le comportement de l'espèce vis-à-vis les conditions du milieu, elle offre aussi des éléments pour une gestion durable.

Mots clés : Croissance radiale, pin d'Alep, climat, Ain Antar, facteurs stationnels, modélisation.

ملخص

قمنا بهذا العمل في غابة عين عنتر، المرتكز على دراسة نمذجة النمو العرضي للصنوبر الحلبي في محطتين بيئيتين حيث تم اختيار 10 أشجار من كل محطة.

النتائج تظهر تباينات كبيرة بين المحطتين، و هذا فيما يخص السمك المتوسط للحلقات، حساسية المتوسط والنماذج الإحصائية للنمو.

النمو العرضي للصنوبر الحلبي لا يقتصر فقط على المناخ، ولكن أيضا على عوامل الموقع .

إن نمذجة الصنوبر الحلبي تنشأ وسيلة فعالة لفهم سلوك النوع بالنسبة للظروف البيئية، وهي تقدم أيضا عناصر من أجل الإدارة المستدامة .

الكلمات المفتاحية: النمو العرضي، الصنوبر الحلبي، المناخ، عين عنتر، عوامل الموقع، النمذجة .