

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministre de l'Enseignement Supérieure et de la recherche Scientifique
Faculté des sciences biologiques et sciences agronomiques
Département des sciences agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de master en science forestière

Thème :

**Etude dendrochronologique du cèdre de l'Atlas
(*Cedrus atlantica* Manetti) au niveau de la région
Forestière de Thigounathine Djurdjura**

Présenté par : **LEBAZ Malika** **SEBAOUI Kamelia**

Devant le jury composé de :

Présidente :	Mme. KROUCHI	Professeur	U.M.M.T.O.
Promotrice :	Mme AMIRAT	MAA	U.M.M.T.O.
Examineur :	Mr AIT SAID	MCA	U.M.M.T.O.

Année : 2022/2023

Remerciements

Avant d'aborder les détails de ce mémoire, c'est à Dieu que nous adressons toute notre gratitude en premier lieu.

Nous exprimons nos remerciements les plus vifs et notre profond respect envers notre promotrice, madame AMIRAT, pour avoir accepté de nous encadrer avec sa bienveillance extrême.

Nos remerciements vont également à la présidente, madame KROUCHI, ainsi qu'à l'examineur, monsieur AIT SAID, qui ont consentis à juger notre travail.

Nous souhaitons également remercier l'ensemble du corps enseignant qui nous a formées au fil de ces années.

Enfin, que toutes celles et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail trouvent ici l'expression de notre gratitude.

Dédicaces

Nous dédions ce travail :

A nos chers parents bien aimés.

*A nos frères(karim,Mourad,Mohand,Noureddine,Yacine
et Mustapha*

A nos sœurs (Lydia, Lamia, Fahima, Saliha)

*A nos neveux et nièces (Aksel, Abderraouf,
abderrahmane, Mélina et Maria)*

A l'ensemble de notre famille.

A nos amis proches.

A toute la promotion 2022/2023.

*A tous ceux qui nous ont accompagnés et qui nous
connaissent.*

KAMELIA et MALIKA

Table de matières

Introduction générale	9
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralités

I) Aperçu sur le cèdre de l'Atlas.	
I.1) Description de l'espèce.....	11
I.2) Taxonomie de l'espèce.....	11
I.3) Les caractères botaniques du cèdre de l'Atlas.....	12
I.4) Aire naturelle de répartition du cèdre de l'Atlas	13
I.5) L'aire d'introduction.	15
I.6) Les facteurs de répartition du cèdre.....	15
I.6.1) Le climat.....	15
I.6.2) L'altitude	15
I.6.3) L'exposition.....	16
I.6.4) Le substrat	16
I.7) Les ennemis du cèdre de l'Atlas.....	16
I.8) L'importance du cèdre de l'Atlas	17
II) Concept de la dendrochronologie.....	17
II.1) Historique de la dendrochronologie	17
II.2) Domaines de la dendrochronologie.....	18
II.3) Les principes fondamentaux de la dendrochronologie.....	19
II.4) La structure de cerne	19
II.5) La formation de cerne	20
II.6) Les anomalies des cernes	20

Chapitre II : Matériels et Méthodes

I. Description de la zone d'étude	22
II. Matériels et méthodes	22
II.1 Méthodes d'extraction des échantillons	22
II .1.a) Type d'échantillonnage.....	23
II .1.b) Préparation des échantillons	23
II .1.c) Datation et mesure des cernes.....	25
II.2) Traitement des données statistiques.....	26
II.2.1) Épaisseur des cernes moyenne (ECM).....	26
II.2.2) La sensibilité moyenne.....	27
II.2.3) L'écart type	28
II.2.4) Le coefficient de variation	28
II.2.5) Le coefficient d'inter datation.....	28

Chapitre III : Résultats et discussions

III) Analyse des caractéristiques dendrochronologique	31
III.1) Épaisseur moyenne des cernes.....	31
III.2) Les courbes individuelles	32
III.3 Le coefficient d'inter datation.....	47
III.4 La sensibilité individuelle	47
III.5 La série de synthèse ou de maitresse	48
III.6 Epaisseur moyenne des cernes.....	48
III.7 Sensibilité moyenne	50

Conclusion

Listes des figures.

Figure1 : Cèdre de l'Atlas	12
Figure 2 : Caractère botanique	13
Figure 3 : Aire de répartition de <i>Cedrus atlantica</i> Manetti (Yahi et Djellouli, 2010)	14
Figure 4 : La tarière de Pressler... ..	23
Figure 5 : Carotte d'arbre.....	23
Figure 6 : Coller la carotte	23
Figure 7 : fixation de la carotte	23
Figure 8 : Le ponçage de la carotte	24
Figure 9 : Une carotte prête.....	24
Figure 10 : Ouverture et affichage d'une image	25
Figure 11 : Calibrer la distance	25
Figure 12 : Le calcul des cernes	25
Figure 13 : La dernière étape qui consiste à enregistrer les résultats	26
Figure 14 : courbe individuelle de la placette1	33
Figure15 : courbe individuelle de la placette2	33
Figure16 :courbe individuelle de la placette3	34
Figure 17 : courbe individuelle de la placette4	35
Figure18 : courbe individuelle de la placette5	36
Figure 19 : courbe individuelle de la placette6	37
Figure 20 : courbe individuelle de la placette 7.....	37
Figure 21 : courbe individuelle de la placette 8.....	38
Figure 22 : courbe individuelle de la placette 9.....	39
Figure 23 : courbe individuelle de la placette 10	40
Figure 24 : courbe individuelle de la placette11	40
Figure 25 : courbe individuelle de la placette12	41
Figure 26 : courbe individuelle de la placette13	41
Figure 27 : courbe individuelle de la placette14	42
Figure 28 : courbe individuelle de la placette15	43
Figure 29 : courbe individuelle de la placette 16	43
Figure 30 :courbe individuelle de la placette17	44

Figure 31 : courbe individuelle de la placette 18	45
Figure 32 : courbe individuelle de la placette 19	45
Figure 33 : courbe individuelle de la placette 20	46
Figure 34 : courbe de synthèse.....	46

Liste des tableaux :

- Tableau 1:** Différentes disciplines de la dendrochronologie et ses applications (LEBOURGEOIS & MERIAN, 2012).....
- Tableau2:** analyse de la variance des placettes étudiées
- Tableau 3:**Tableau représente les paramètres dendrochronologiques.....

Introduction générale

Le cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica*, a toujours été l'objet d'un vif intérêt en raison de ses multiples qualités forestières, telles que son importance écologique, sa résistance au feu, sa production de bois de haute qualité, sa capacité à résister aux variations climatiques, ainsi que son attrait esthétique (Toth, 1978 ; M'hirit, 1994 ; Nedjahi, 1987 ; Yahi, 2007 ; Messaoudene et al., 2004).

Cette espèce de montagne, se trouve naturellement dans trois régions géographiques distinctes : l'Afrique du Nord, l'Asie Mineure et l'Himalaya (M'hirit, 1999). Elle occupe environ 16 000 hectares au Rif au Maroc, 116 000 hectares dans le Moyen et le Haut Atlas, et environ 30 000 hectares dans les Atlas tellien et saharien en Algérie (Addar, 2016). Il est devenu l'essence privilégiée pour la reforestation, en particulier dans les pays du nord de la Méditerranée (Toth, 1980).

La dendrochronologie est une discipline largement utilisée en archéologie, qu'il s'agisse d'archéologie préventive ou programmée. Elle est appliquée chaque fois que des échantillons de bois sont analysés dans le cadre d'études sur des structures anciennes ou lorsqu'ils sont découverts lors de fouilles terrestres ou sous-marines (Buntgen, 2019).

Une étude dendrochronologique a été menée sur le cèdre de l'Atlas au niveau de la région forestière de Thigounathine Tikjda. Cette étude est scindée en trois chapitres :

- Dans le premier on a des généralités sur le cèdre de l'Atlas et les concepts de dendrochronologie.
- Dans le deuxième chapitre on a décrit la zone d'étude et les différentes méthodes utilisées sur terrain et au laboratoire.
- Le dernier chapitre est consacré aux résultats et discussions, suivit d'une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralités

I. Aperçu sur le cèdre de l'Atlas

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) est une essence forestière originaire d'Afrique du Nord, considérée comme étant l'essence noble par excellence (Boudy, 1950 *in* Krouchi, 2010). Elle appartient à la famille des pinacées (Gaussen, 1967). C'est un arbre monoïque, classé parmi les plantes à ovules nus (gymnospermes).

Le cèdre de l'Atlas est une essence montagnarde, endémique à l'état spontané des montagnes du Maghreb qui représente une importante capacité de résistance aux stress climatique et la productivité de bois de qualité (Derak et al 2006). Ses valeurs bioécologiques et socio-économiques lui confèrent une importance internationale (M'hirit, 1993).

I.1. La taxonomie du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) :

La systématique du cèdre de l'Atlas est la suivante :

- **Embranchement** : Spermaphytes.
- **S/Embranchement** : Gymnospermes.
- **Classe** : Vectrices.
- **Ordre** : Coniférales.
- **S/Ordre** : Abiétales.
- **Famille** : Pinaceae.
- **Genre** : *Cedrus*.
- **Espèce**: *Cedrus atlantica* Manetti.



Figure 1 : Le cèdre de l'Atlas (*Sebaoui, 2023*)

I.3. Les caractères botaniques du Cèdre de l'Atlas :

Le cèdre de l'Atlas est un arbre de grande taille, dépassant souvent 50 m, et en moyenne 40m dans les peuplements soit anciens en sol profond, soit serrés (Boudy, 1952 ; Toth, 1990). Le port de l'arbre est pyramidal avec un fût droit, cime régulière et pointue à flèche courbée quand il est jeune ou d'âge moyen, il prend une forme tabulaire en vieillissant (Boudy, 1952).

Le système racinaire est développé, mais rarement pivotant et la stabilité de l'arbre est assurée (Boudy, 1952). L'écorce est épaisse ; rugueuse de couleur noirâtre (M'hirit ; 2006)

Les Aiguilles du cèdre de l'Atlas persistentes 3-4 ans, aigues, assez rigides, 15 à 20mm, leur couleur allant du vert clair foncé ou glauque jusqu'au bleu (M'hirit ; 2006) Sur rameaux longs : isolées et soudées à l'écorce ; sur rameaux courts : par rosettes (Boudy, 1952 ; Toth. 1990).

Le cèdre est une espèce monoïque. Floraison en automne les fleurs mâles sont des chatons cylindriques dressées, jaunes verdâtres ; les fleurs femelles : chatons ovoïdes (cônes) dressés, vert bleuâtre (Jacamon, 1987). La maturité des cônes dure 2ans après la floraison, de couleur brune violacée, ils ont 5-8 cm de dimension. Atteignent au plus 10cm (Quezel, 1962). Les graines sont triangulaire, grosse, 10-15 mm, marron roux se termine par une large aile, très résineuse enveloppée dans une pellicule résineuse protectrice (Azzouni ,1980

La longévité du cèdre de l'Atlas parait fabuleuse dépasse certainement 600 à 700 ans, on lui attribue 1000 ans et plus, il peut donner des graines fertiles jusqu' un âge avancé (Boudy, 1952).

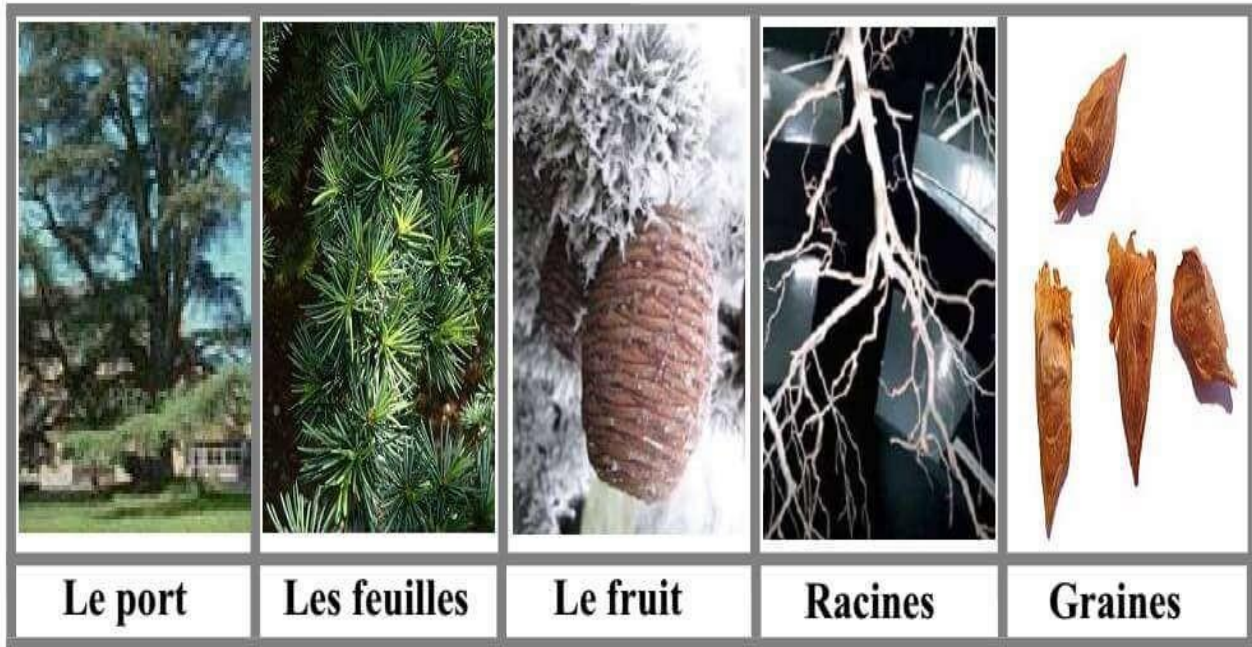


Figure 2 : les caractères botaniques du cèdre de l'Atlas

I.4. Distribution géographique

I.4.1. Aire naturelle de répartition cèdre de l'Atlas :

Le cèdre de l'Atlas est une essence adaptable, présente dans plusieurs régions couvrant divers étages bioclimatiques au Maroc et en Algérie. Sa distribution est clairement définie et essentiellement liée à l'orographie du Maghreb (Quezel 1998). Dans cette zone naturelle, on peut identifier deux grands ensembles distincts :

- -La partie méridionale est spécialement adaptée aux conditions de sécheresse.
- -La portion septentrionale est adaptée aux conditions humides.

En Afrique de Nord cette espèce se divise en sept blocs, comprenant quatre blocs dans les montagnes marocaines et trois blocs dans les montagnes algériennes (M'hirit, 1993).

Les cédraies marocaines sont localisées dans deux régions bien distinctes : le Rif, couvrant une superficie de 16000 hectares et le Moyen et le Grand Atlas, avec une superficie de 100000 hectares (Toth 1980), tandis que la superficie des cédraies algérienne est estimée à 23 254 hectares (Abdessemed, 1981)

En Algérie, la zone de répartition du cèdre est fortement morcelée (Fig.01). Les peuplements les plus significatifs se trouvent dans les Aurès, tandis que d'autres cédraies occupent les massifs montagneux de l'Ouarsenis, de l'Atlas mitidjien, des Babors et du Hodna (Abdessamed, 1981 ; Derridj, 1990 ; M'hirit, 1994 ; Benabid, 1993).

Les cédraies algériennes se structurent en deux blocs distincts, l'un caractérisé par des conditions sèches et l'autre par des conditions humides :

Le bloc humide est représenté par les cédraies de l'Atlas tellien, qui sont individualisées en quatre îlots distincts :

- Les Babors 1300 ha, Djurdjura 2000 ha. Ouarsenis 1000 ha, Chréa et Theniet el Had 1500ha (Quezel et Medial, 2003).
- Le bloc sec représenté par les cédraies de l'Atlas saharien se trouve sur le Monts des Aurès et du Belezma 1700 ha, Houdna 8000 ha. (Quezel et Medial, 2003).

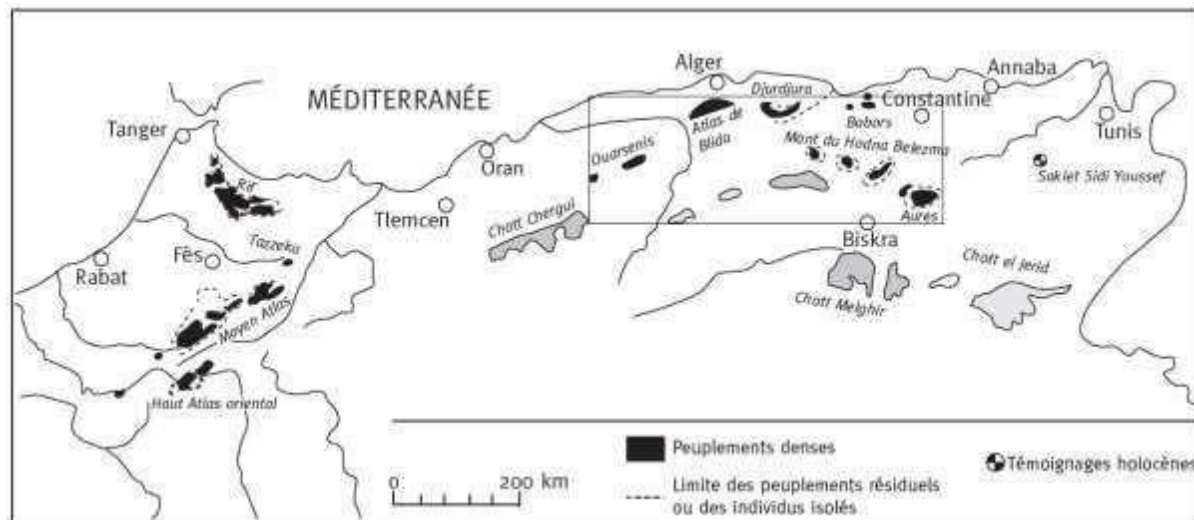


Figure 3:Aire de répartition de *Cedrus atlantica* Manetti (Yahi et Djellouli, 2010).

I.4.2 Aire d'introduction du cèdre de l'Atlas :

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) a été introduit dans plusieurs pays situés autour de la Méditerranée (circumméditerranéens), comme une espèce ornementale au début dans le but d'embellir les paysages et de promouvoir la reforestation, puis comme espèce de reboisement (M'hirit, 1999). En

raison de son attrait visuel, de ses caractéristiques distinctives et de la valeur de son bois, cet arbre a été implanté dans diverses régions à travers le globe. D'après M'hirit (1982), les dates d'introduction du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) sont les suivantes :

- ✚ En 1862, le cèdre de l'Atlas a été introduit sur le Mont Ventoux en France.
- ✚ En 1864, il a été introduit en Italie.
- ✚ En 1890, cette espèce a été implantée en Bulgarie.

Le cèdre d'Atlas a été présenté comme une essence de reboisement, même dans des régions en dehors des pays méditerranéens. Il a été introduit en ex-URSS en 1890 et aux États-Unis, il s'est parfaitement adapté, faisant actuellement l'objet de vastes projets de reboisement (Nedjahi, 1988 ; M'Hirit, 1994).

I.6) Facteurs de répartition du cèdre de l'Atlas

D'après Faurel et Laffitte (1949), la distribution actuelle des cédraies semble être influencée par divers facteurs, notamment climatiques, géologiques et humains.

I.6.1) Le climat

La répartition des cédraies est étroitement liée au climat. Selon Aussenac (1984), le cèdre de l'Atlas peut être considéré comme une espèce caractéristique d'un climat de transition en raison de sa présence à différents étages bioclimatiques :

- Semi-aride à hiver froid et humide : Djebel Azreg.
- Subhumide à hiver froid : Belezma, Chelia et S'gag.
- Humide à hiver froid: Djurdjura, Theniet El Had, Babors et Chréa.

I.6.2) L'altitude

Le cèdre est impacté par l'altitude en raison des conditions climatiques, particulièrement les précipitations et les températures. À des altitudes plus élevées, les précipitations moyennes augmentent et les températures diminuent, les cédraies se limitent exclusivement aux altitudes élevées (Faurel et Laffitte en 1949) ; sa présence se manifeste entre 1400 et 1500 mètres d'altitude sur les versants nord, tandis qu'elle commence à partir de 1600 mètres sur les versants sud, comme indiqué par Abdessemed (1981).

I.6.3. L'exposition

L'exposition joue un rôle crucial dans la distribution des précipitations et des températures pour le cèdre. En effet, les versants nord sont plus humides que les versants sud, ce qui explique la présence des plus belles cédraies sur ces versants. La limite inférieure de leur présence est

également plus basse sur les versants nord que sur les versants sud. Cette différence d'altitude est attribuable à la variation d'humidité, comme le souligne Emberger (1938).

I.6.4. Le substrat

La singularité du cèdre de l'Atlas réside particulièrement dans sa robustesse et son indifférence à la nature lithologique du sol. On le trouve sur une variété de substrats et de sols, tels que des basaltes, de la dolérite, des marno-calcaires, des marno schistes, des dolomies, des calcaires dolomitiques, des schistes et des grès au Maroc. En Algérie, il pousse également sur des grès blancs, des dolomies, des calcaires francs, des calcaires dolomitiques et des marnes. Selon Toth (1970) Bien que le cèdre puisse ne pas réagir sensiblement à la composition chimique du sol, ses exigences sont plus prononcées en ce qui concerne la qualité physique du sol. Les sols idéaux pour le cèdre sont caractérisés par leur texture meuble, leur perméabilité, leur profondeur et la présence de cailloux.

I.7) Les ennemis du cèdre de l'Atlas

Les ennemis du cèdre de l'Atlas se manifestent à travers divers facteurs, notamment des insectes, des champignons, des impacts d'origine humaine et des incendies. En ce qui concerne les insectes, deux espèces peuvent poser une menace significative. La tordeuse du Cèdre, une chenille dévastatrice selon Riou-Nivert en (2005), peut entraîner une défoliation sévère en hiver, obligeant l'arbre à puiser dans ses réserves pour régénérer de nouvelles aiguilles, le rendant ainsi vulnérable à d'autres stress. Une autre menace est la processionnaire du cèdre, qui, selon les observations de Roque en (1983), peut ravager les aiguilles, laissant l'arbre complètement dénudé, simulant les dommages causés par un incendie.

Concernant les champignons, le *Polyporus officinalis*, noté pour provoquer diverses altérations chez le cèdre (Boudy, 1952) et l'*Armillaria millea*, ciblant les racines et le tronc des arbres déjà affaiblis, selon les informations de représentent des menaces fongiques significatives (Malki, 1992). Les activités humaines, telles que la coupe, l'élagage et le défrichage, impactent négativement les cèdres. La population locale a tendance à abattre des branches d'arbres sains pour répondre à ses besoins en bois, conduisant à la mort des cèdres en perturbant leur équilibre physiologique.

Enfin, bien que le cèdre de l'Atlas soit peu inflammable, les incendies peuvent représenter une menace. En densité, le cèdre supprime la végétation herbacée, réduisant ainsi son potentiel de propagation des incendies (Boudy, 1950 ; Toth, 1970).

I.8) L'importance du cèdre de l'Atlas

Les cédraies occupent une position socioéconomique cruciale, représentant une source vitale de divers produits tels que le bois de construction et de chauffage. En plus de contribuer à la préservation des sols, elles génèrent une gamme variée de produits dérivés du bois de cèdre, dont le goudron et divers extraits utilisés dans des secteurs tels que la pharmacie et la parfumerie

Selon les observations de Toth en (1980), le cèdre de l'Atlas se distingue par sa capacité à assumer simultanément plusieurs rôles, malgré les conditions écologiques parfois difficiles et sa superficie limitée.

Le bois provenant du cèdre de l'Atlas est fortement prisé dans divers domaines tels que la construction, la fabrication de meubles, la charpenterie, l'ébénisterie, le déroulage, le tranchage et le coffrage (Courbet & Albouy, 1995 ; Barbero & al., 2005). Une variabilité écologique et phénologique marquée chez le cèdre de l'Atlas, avec la présence d'écotypes résistants à la sécheresse (Tessier et al.1993).

De plus, le cèdre de l'Atlas assume un rôle crucial dans la prévention des incendies, grâce à son feuillage peu à modérément inflammable et à la formation d'une litière très compacte et peu combustible. Les peuplements denses de cèdres, dotés d'une canopée épaisse, résistent efficacement aux incendies, et les zones touchées sont rapidement colonisées par des semis naturels.

II- Concept de la dendrochronologie

II.1) Historique de la dendrochronologie

La dendrochronologie est définie comme étant la science qui s'attache à analyser les cernes de croissance formés annuellement par certains végétaux ligneux (Munaut, 1978 in Rabhi, 2009). Son inventeur est *Elliott Douglass (1867-1962)*, elle est découverte à la fin du 19^e siècle, cette science est basée sur l'analyse des cernes de croissance des arbres, en s'attachant essentiellement à la mesure de leurs largeurs, à leurs descriptions et à leurs ordonnancement dans le temps.

La dendrochronologie est l'étude, au moyen des cernes de croissance des arbres, des relations que ceux-ci entretiennent avec leur environnement dans le but de mieux connaître les processus écologiques et les phénomènes environnementaux tels les incendies de forêt, les épidémies d'insectes, la pollution et les changements climatiques. C'est une analyse rétrospective de la croissance radiale (Lebourgeois & al, 1995 in Rabhi, 2009)

Le principe de base de la dendrochronologie est l'utilisation des différentes propriétés des anneaux de croissances des arbres pour reconstituer l'historique des changements environnementaux et des phénomènes qui leurs sont associés (Touchan & Hughes, 2000 *in* Slimani 2014).

II.2) Domaines d'étude de la dendrochronologie

La dendrochronologie s'étend sur un large spectre d'applications. L'analyse des cernes annuels de croissance suscite l'intérêt de nombreux scientifiques, qu'ils utilisent directement ou indirectement l'information chronologique contenue dans une séquence de cernes.

Domaine	Discipline	Applications
Ecologie	Dendroécologie	Historique des feux, dépérissement des forêts, Dynamique et croissance...
Climatologie	Dendro climatologie	Périodes de froid et de sécheresse, reconstruction du climat passé, analyse du climat présent...
Géologie	Dendro géomorphologie	Eruptions volcaniques...
Anthropologie	Dendro archéologie, Dendro glaciologie	Datation des constructions anciennes, arbres fossiles, monuments historiques...

Tableau 1: Différentes disciplines de la dendrochronologie et ses applications (LEBOURGEOIS & MERIAN, 2012)

II.3) Principes fondamentaux de la dendrochronologie

La dendrochronologie repose sur plusieurs principes fondamentaux qui sont cruciaux pour son application dans la datation des événements historiques, l'étude des variations climatiques, et d'autres domaines de recherche.

- Douglass (1937) cité par Trenard (1978) définit deux principes :
Le premier de ces principes est qu'aux conditions climatiques semblables qui s'étendent à l'intérieur d'une région, les arbres donnent une réponse identique inscrite dans la quantité de bois formé. En d'autres termes, il existe une similitude des variations des largeurs des cernes, et notamment des valeurs maximales et minimales, à l'intérieur d'un peuplement.
- Le second principe ressort de la mise en évidence de points de repère, de "signatures" qui consistent en série remarquable, et qui permettent de raccorder les uns aux autres des bois d'âge différent par superposition ou "pontage" de leurs parties communes.

Par l'utilisation de ces recoupements chronologiques, il est possible de dater des bois ayant vécu à des époques de plus en plus reculées. Elargissant cette notion de série remarquable, cela conduit à l'affirmation que les variations d'épaisseur des cernes se succèdent en formant de suites non reproductibles à travers les siècles.

II.4) La structure de cerne

Sur une coupe de bois transversale, on distingue une partie centrale sombre, appelée le duramen, une partie périphérique plus claire, l'aubier, et enfin l'écorce.

Le duramen est le bois mort qui permet le soutien de l'arbre tandis que l'aubier est le bois vivant de l'arbre qui assure la conduction de la sève brute. La coupe transversale fait également apparaître des rayons ligneux et des anneaux concentriques, les cernes.

La croissance du bois s'effectue au niveau d'une couche de cellules appelée le cambium. En se divisant, ces cellules engendrent le bois vers l'intérieur et le liber vers l'extérieur. Les vaisseaux du bois, ou xylème, conduisent la sève brute des racines vers les feuilles, ceux du liber, ou phloème, assurent le transit de la sève élaborée.

Sous notre climat, le cambium produit chaque année une nouvelle assise de bois qui correspond à un cerne. La production débute au printemps avec le bois initial, qui comporte des vaisseaux de gros diamètre, et s'achève en automne avec le bois final. Le nombre de cernes permet ainsi de connaître l'âge de l'arbre.

II.5) La formation de cerne

Ce sont les cercles centraux que l'on trouve après une coupe transversale du tronc de l'arbre, celle-ci sont issues de la croissance annuelle de l'arbre, qui chaque année ajoute une couche périphérique sur le tronc, on peut observer deux différentes couches qui se distinguent par leurs couleurs : le bois le plus clair correspond au printemps tandis que le bois le plus sombre correspond à l'automne.

Quand un arbre arrive à maturité, il aura connu un enchaînement de conditions favorables ou défavorables et des perturbations, tout ça se reflète dans chaque anneau par des différences de largeur, d'orientation, de couleur, de densité et de composition du bois.

II.6) Les anomalies des cernes

- Les cernes doubles : l'alternance brutale de la période favorable et défavorable au moment où se déroule l'activité cambiale peut générer la formation de cernes doubles, plus fréquemment rencontrés chez les résineux des régions méditerranéennes. Dans ce cas, le cerne double est rattaché aux fluctuations intra annuelle (Rabhi **année**)
- Cerne manquant : C'est un phénomène où le cambium peut rester inactif sans former des cernes pendant les conditions de croissance difficile, souvent observés chez les arbres âgés, stressés par la sécheresse ou défoliés par les insectes (Alileche, 2012).
- Cernes de gel : Les cernes de gel se forment lorsque des températures froides ou des gelées printanières affectent la croissance de l'arbre. Ils apparaissent généralement comme des zones anormalement étroites ou des interruptions dans les cernes annuels. Les cernes de gel sont utilisés pour étudier les variations de température et les événements climatiques extrêmes (Fritts, 1976) in Rabhi.
- Cerne incomplet : Dans ce cas, le cambium est inactif sur une partie de la circonférence et la couche formée apparaît tel un croissant (Kramert et Kozolowski, 1979)
- Cernes de stress : Les cernes de stress sont des zones de rétrécissement des cernes de croissance dues à des conditions environnementales défavorables telles que la sécheresse, la pollution atmosphérique ou la compétition avec d'autres arbres. Ils révèlent des périodes de contraintes environnementales (Fritts, 1976)

I. Description de la zone d'étude :

Le Djurdjura est une chaîne de montagnes qui s'est formée lors du plissement alpin. Elle représente la couverture sédimentaire fortement plissée et facturée du massif métamorphique de Grande Kabylie (Flandrin, 1950). La végétation de cette région est principalement constituée de forêts, de maquis, de prairies alpines et de formations végétales adaptées aux conditions environnementales spécifiques.

La station de Tigounatine située en orientation Sud a une grande importance tant sur le plan géologique que sur le plan écologique, soulignant son rôle essentiel dans la préservation de la biodiversité et de la géodiversité de la région. Elle est mixte, composée principalement de cèdres (*Cedrus atlantica*), taillis de chêne verts (*Quercus rotundifolia*) et de la précieuse réserve du pin noir (*Pinus nigra* ssp. *mauritanica*).

D'après Benmoufok (1993), les deux stations de Tigounatine et Tikjda sont situées sur deux types de substrats géologiques différents, avec des expositions de versants contrastées. Les sols dans la zone de Tigounatine appartiennent à la classe des sols calcimagnésiques, et ceux de Tikjda à la catégorie des sols gréseux.

II. Matériel et méthodes :

II.1.a) Type d'échantillonnage :

La sélection des stations d'étude a été effectuée à l'aide d'une méthode d'échantillonnage aléatoire. Une évaluation exhaustive, effectuée de manière systématique, a été conduite dans chacune des 20 stations. Pour chaque arbre, des mesures de la hauteur et du diamètre, prises à 1m30 du sol, ont été enregistrées, l'arbre présentant un diamètre moyen a été spécifiquement choisi pour être soumis au processus de carottage.

II.1.b) Méthode d'extraction des échantillons :

Un total de 20 carottes a été extrait de 20 arbres à 1,30m à l'aide de la tarière de Pressler dans la station de Tigounatine. Les vingt arbres ont été choisis aléatoirement à condition que le tronc soit plus au moins droit pour éviter le risque de déformation des cernes (Delwaide & Filion, 2010).

Le but du carottage est d'atteindre la moelle de l'arbre afin d'obtenir son âge absolu et des séries de cernes complètes. Nous avons réalisé les carottages du côté amont de l'arbre pour éviter le bois

de compression. La tarière a été insérée perpendiculairement à l'axe de l'arbre, en vissant lentement et régulièrement, sans exercer de force excessive ni faire de mouvements brusques (fig.4 et fig.5).



Figure 4: La tarière de Pressler.



Figure 5 : carotte d'arbre.

II. 3) Préparation des échantillons

Les carottes ont été fixées sur des réglattes à l'aide d'une colle spéciale bois (fig.6 et fig.7). Ensuite, un processus de ponçage a été réalisé en utilisant du papier verre. Nous avons commencé par un papier verre grossier, puis progressivement nous avons utilisé des papiers de plus en plus fins jusqu'à ce que les cernes deviennent clairement visibles (fig.8 et fig.9).

Après cette opération, nous avons procédé aux opérations de datation, d'inter-datation et de mesure des cernes.



Figure 6 : Coller la carotte



Figure 7 : Fixation de la carotte



Figure 8 : Le ponçage de la carotte

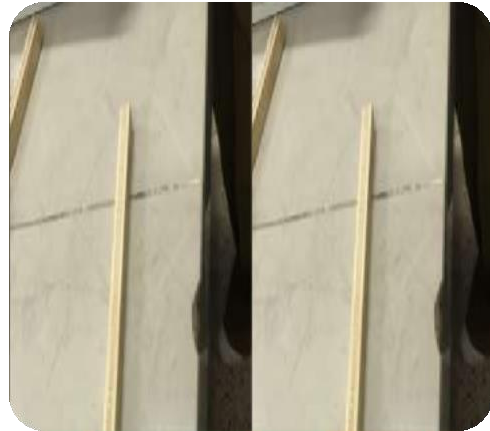


Figure 9 : Une carotte prête (Lebaz, 2023)

II.1.c) Datation et mesure des cernes

La datation permet d'étudier et mesurer les cernes de croissance annuelle de l'arbre, elle nous permet aussi de reconstituer, de comprendre et de spatialiser les petits et grands changements écologiques et anthropiques du passé et d'étudier la résilience passée des arbres face à de fortes perturbations qui risquent de se reproduire.

Les 20 carottes ont été scannées pour pouvoir les afficher dans le logiciel Image J qui est un logiciel gratuit d'analyse d'images libre développé par Wayne Rasband.

Une fois installé, le logiciel Image J est composé d'une fenêtre principale où nous pouvons ouvrir et afficher des images. Une barre d'outils en haut de la fenêtre.

Pour afficher une image il suffit de cliquer sur « option » → "File" (Fichier) → "Open" (Ouvrir).

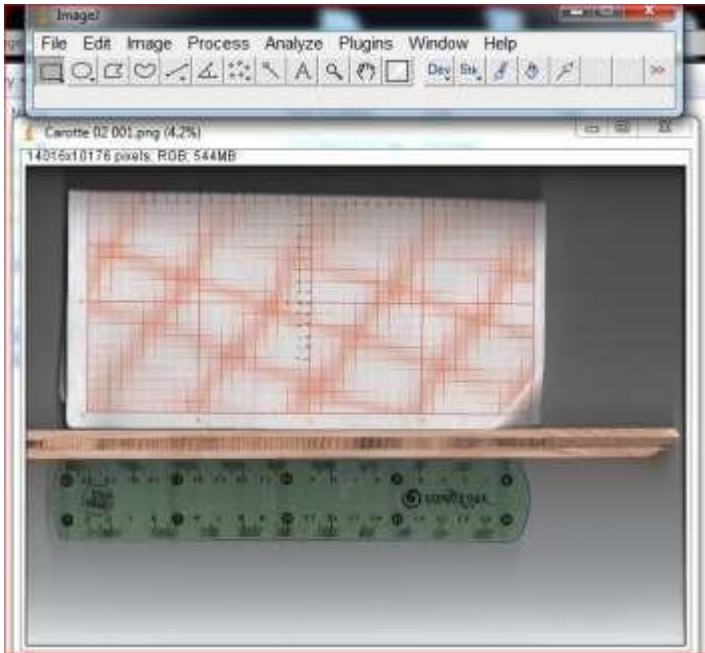


Figure 10 : ouverture et affichage de l'image

Une fois l'image ouverte, on passe au calibrage (fig.11), on sélectionne par exemple 2cm sur la règle scannée avec la carotte puis on appui sur « analyze » puis sur « set scale ».

Après validation de l'échelle on procède au mesure des épaisseurs des cernes et l'enregistrement se fait en appuyant sur la lettre « T ».

Une fois terminé, nous appuyons sur « mesures » puis sur « results » et nous sauvegardons ainsi les résultats (fig.12 et fig.13).

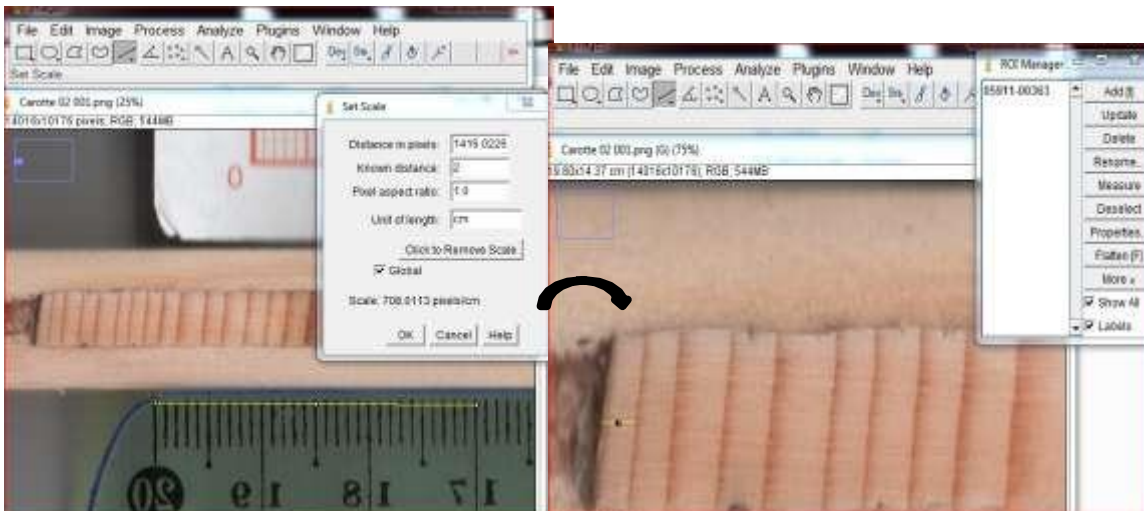


Figure 11 : Calibrage du logiciel

Figure 12 : Mesure des cernes



	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	9.974E-5	142.007	89.333	156.808	2.291	0.070
2	1.117E-4	150.683	121.741	163.571	0.000	0.077
3	1.536E-4	151.443	126.556	168.667	0.000	0.107
4	1.317E-4	159.048	135.444	169.014	0.000	0.092
5	1.835E-4	159.972	130.396	176.109	0.630	0.128
6	1.157E-4	159.663	130.704	173.333	0.000	0.081
7	1.396E-4	162.551	128.000	175.332	0.000	0.098
8	1.297E-4	163.393	123.333	179.417	-1.790	0.090
9	1.596E-4	160.579	127.370	175.203	0.000	0.111
10	2.274E-4	163.068	132.889	176.595	-1.014	0.160
11	1.716E-4	158.571	128.555	176.480	0.674	0.121

Figure 13 : Affichage des résultats

II.2) Traitement des données statistiques

Dès que l'analyse des courbes de variation de l'épaisseur est achevée, il est entendu que pour chaque série des paramètres statistiques et dendrochronologiques ont été calculés. Les paramètres statistiques permettant d'exprimer l'écart relatif des valeurs à la moyenne et comparer ces valeurs entre les différentes séries chronologiques (GELLER, 1975).

II.2.1. Epaisseur des cernes moyenne (ECM)

Afin d'établir la courbe de variation de l'épaisseur moyenne des cernes de chaque arbre, il est nécessaire de calculer la moyenne des épaisseurs des cernes. L'Épaisseur de Cernes Moyenne (ECM) est calculée pour chaque arbre des deux stations sur l'ensemble de la chronologie. Ce calcul des moyennes des épaisseurs des cernes permet de réduire les variations spécifiques à chaque arbre résultant de phénomènes particuliers, souvent liés à des microenvironnements spécifiques. Il ne conserve que les variations interannuelles des épaisseurs des cernes, principalement liées au climat, éventuellement à l'activité d'un parasite et aux pratiques sylvicoles ou anthropiques. L'ECM est exprimée selon la formule suivante :

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

X:croissance moyenne

xi: épaisseur du cerne de l'année

n : nombre d'année de la chronologie

II.2.2) La sensibilité moyenne (SM)

La sensibilité moyenne exprime la variation moyenne entre deux épaisseurs annuelles successives (*Douglass, 1936 in Tessier, 1984*). Elle est obtenue par le rapport :

$$SM = \frac{2}{n - 1} \times \sum_{t=1}^n \frac{|X(t + 1) - Xt|}{|X(t + 1) + Xt|}$$

SM: coefficient de sensibilité moyenne

N : nombre d'année de la chronologie

X_{t+1}: épaisseur du cerne à l'année t+1

Xt: épaisseur du cerne à l'année

La sensibilité moyenne permet de définir la variation moyenne entre deux épaisseurs annuelles successives (Fritts, 1976). Ce coefficient exprime l'ampleur des changements affectant à court terme l'épaisseur des cernes. Elle prend la valeur nulle pour deux cernes successifs égaux et la valeur 2 quand l'épaisseur de l'un d'entre eux est nulle (Fritts, 1976). La sensibilité moyenne quantifie le signal climatique tel qu'il résulte de l'interaction des facteurs environnementaux (*Tessier, 1982*). Elle a été calculée pour les séries individuelles et

de

synthèses.

II.2.3) Ecart-type

Il exprime les variations des individus par rapport à la moyenne, ce paramètre est obtenu par la formule suivante :

$$S = \frac{1}{n} \sum_i^n (X_i - \bar{X})$$

II.2.4) Coefficient de variation

Il est défini comme le rapport entre l'écart-type et la moyenne, il permet d'exprimer l'écart relatif des valeurs à la moyenne (Lebourgeois et Merian, 2012). Il est exprimé par le rapport :

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

CV: coefficient de variation

σ : écartype

\bar{X} la moyenne

II.2.5) Le coefficient d'inter-datation (SR)

Il correspond au plus ou moins bon synchronisme des séries élémentaires dont est issue la chronologie maîtresse (Tessier, 1984)

Ce coefficient est dégagé par rapport à la sensibilité de série de synthèse de tous les individus d'une station sur la moyenne de la sensibilité individuelle. Son calcul est fait pour les séries élémentaires, individuelles et maîtresses, en appliquant la formule suivante :

$$SR = \frac{SMm}{SMe}$$

SR: Coefficient d'inter-datation

SM: sensibilité calculée sur la chronologie maitresse

Sme : moyenne des sensibilités calculées sur les séries individuelles

Chapitre III :
Résultats et discussion

III) Analyse des caractéristiques dendrochronologiques :

III.1) Epaisseur moyenne des cernes :

L'examen des courbes individuelles révèle des accroissements annuels significatifs met en évidence une fluctuation des valeurs d'épaisseurs. La moyenne des épaisseurs des cernes varie d'une placette à l'autre, avec une moyenne 2,83 mm, un minimum de 1,36 mm (placette 05) et un maximum de 4,54 mm (placette 08). Cette mesure oscille entre 1,36 mm jusqu'à 2,76 mm pour les placettes 2, 3, 4, 5, 6,9,15,16,17,18,19,20 et entre 3,13 mm et 4,54 mm pour les placettes 1,7,8,10, 11,12, 13 ,14.

Les valeurs élevées de l'écart-type et du coefficient de variation indiquent une variabilité considérable des épaisseurs moyennes des cernes pour les 20 placettes étudiées (tab.2)

Tableau2: Tableau représente les paramètres dendrochronologiques

Paramètres dendrochronologiques Paramètres statistiques	Age	ECM Epaisseur de cerne moyenne (mm)	SMi Sensibilité individuelle	SM Sensibilité moyenne	CI Coefficient interdatation
Moyenne	45.38	3.29	0.25	0.12	0,88
Minimum	81	2.07	0.18		0,59
Maximum	15	5.49	0.39		1,3
Écartype	19.17	1.72	0.006		0.1
CV	42.23	52.81	2.4		22.23

Une analyse de la variance à un facteur a été effectuée pour tester l'hypothèse d'égalité des épaisseurs moyennes des cernes entre les placettes (tab. 3). Les résultats du test ont révélé de différences très hautement significatives entre les épaisseurs des cernes des différentes placettes, avec une valeur de Pvalue $< 2 \times 10^{-16}$ ***

Tableau 3: analyse de la variance des placettes étudiées

	SCE	DDL	CM	Fobs	Pvalue
Variation factorielle	9557949	19	503050	28,86	$< 2 \times 10^{-16}$ ***
Variation résiduelle	26025610	1493	17432		

***Niveau de significativité pour $\alpha = 0,05$

III.2) Les courbes individuelles :

La courbe individuelle de la croissance des épaisseurs des cernes en fonction de l'âge qui correspond à la première placette nous montre deux phases de croissances ; la première phase qui a duré 18 ans, c'est une phase de décroissance à partir de 10mm jusqu'à 2mm, la deuxième phase est caractérisée par une légère croissance des épaisseurs des cernes et une stabilisation durant les dernières années.

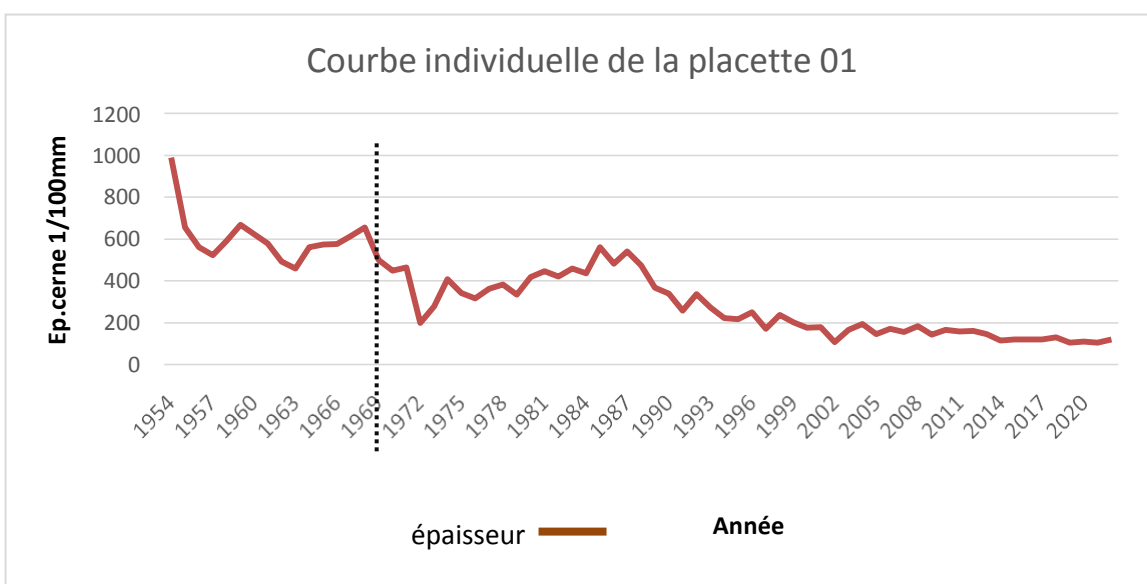


Figure 14 : Courbe individuelle de la placette 1

L'analyse de la courbe individuelle de la placette (2) nous a permis de distinguer deux phases de croissance pendant 7 ans, la première phase est une phase de croissance allant de 1mm jusqu'à 5,7mm , la deuxième phase commence par une décroissance jusqu'à 3,2mm puis stabilisation pour tout le reste des années.

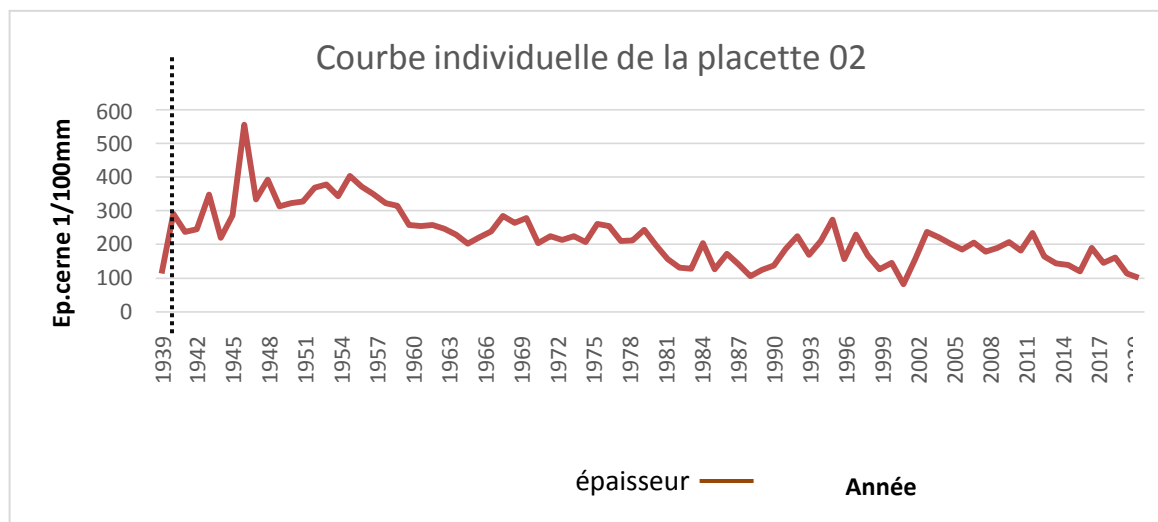


Figure 15 : Courbe individuelle de la placette 2

La courbe individuelle de la placette 03 montre 4 phases de croissance, la première phase commence par une décroissance jusqu'à 2,5mm après une croissance importante jusqu'à 4 mm suivie d'une croissance jusqu'au pic correspondant à (3,6mm). La deuxième phase marque une décroissance au début de la phase après une stabilisation pendant 19 ans et la fin on remarque une croissance jusqu'à (3,5mm), cette dernière marque le début de la décroissance de la troisième phase jusqu'à (1mm) et qui sera suivie d'une croissance. La dernière phase débute par une décroissance pendant deux années puis une croissance jusqu'à une valeur de (2,5mm), les dernières valeurs sont stables jusqu'à l'année dernière 2022.

L'étude de la courbe individuelle de la placette 04 nous permet de distinguer trois phases, la première marque une décroissance importante allant de 5,2mm jusqu'à 2,1 mm, la deuxième phase nous montre une stabilité des épaisseurs des cernes durant la période allant de 1974 à 1999, dans la dernière phase on observe une succession de phase de décroissance et de croissance.

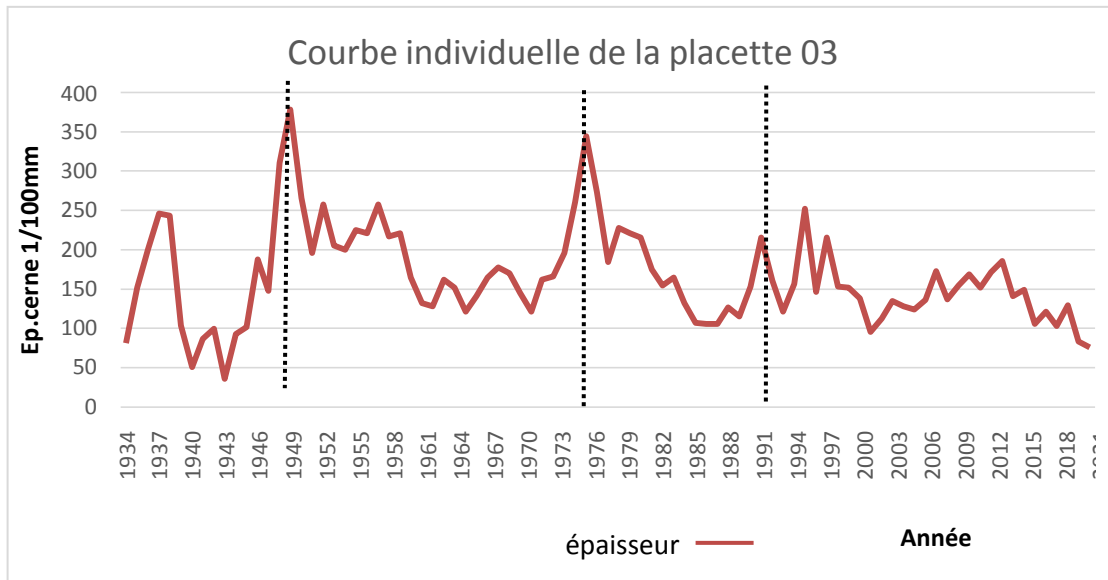


Figure 16: Courbe individuelle de la placette 3

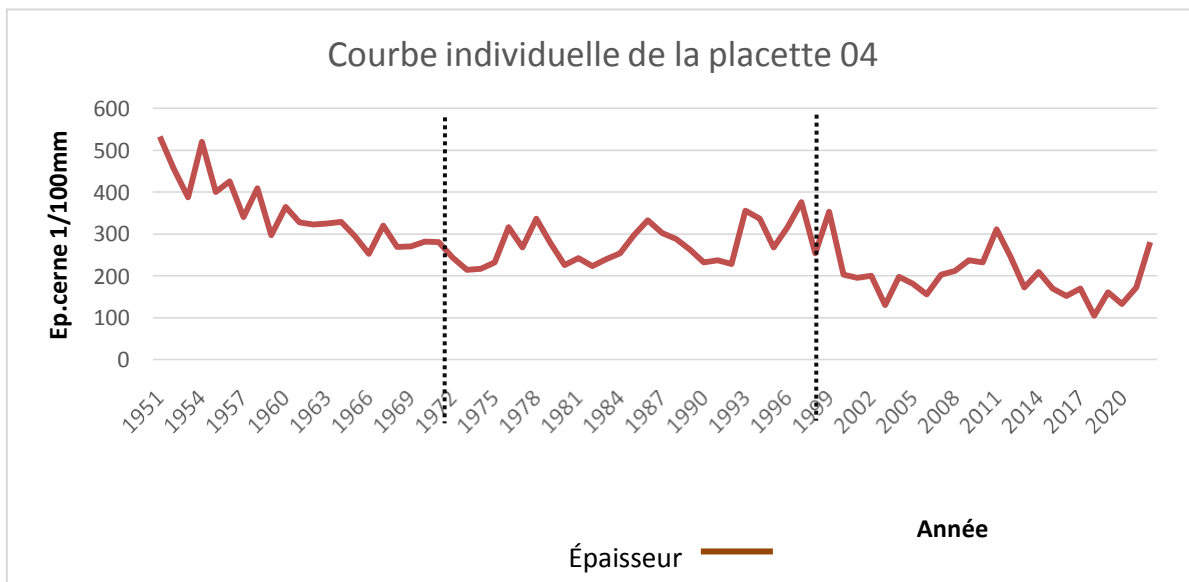


Figure 17 : Courbe individuelle de la placette 4

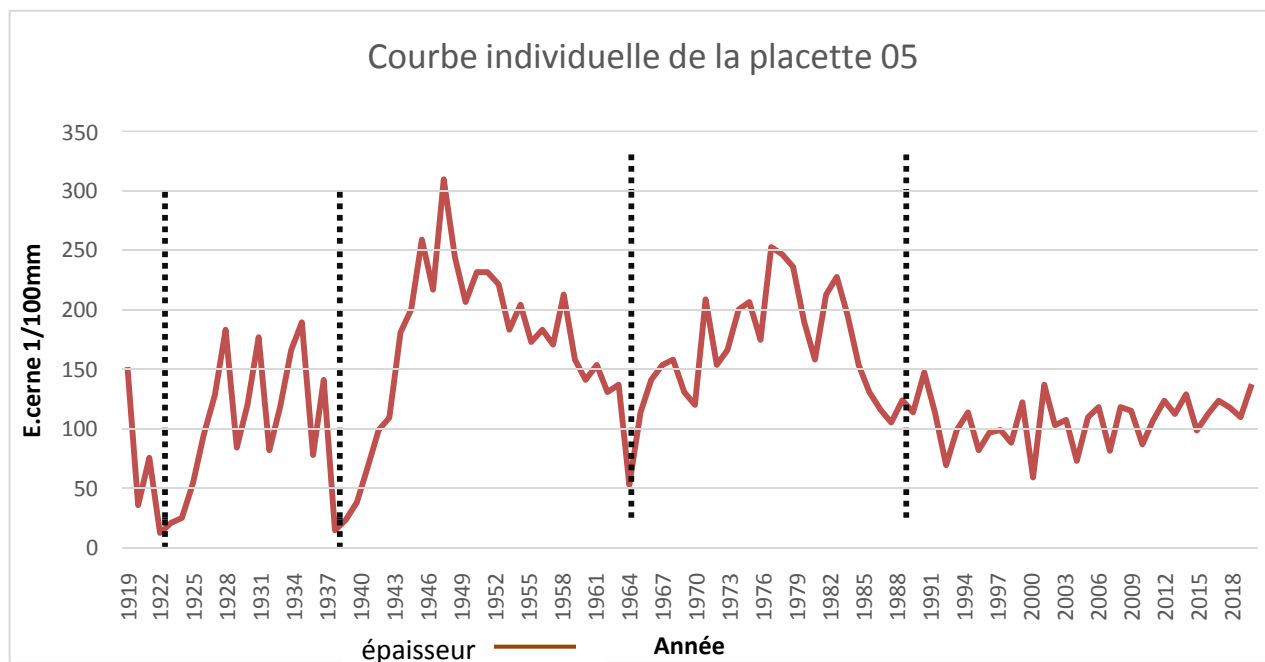


Figure 18: Courbe individuelle de la placette 5

Sur la courbe individuelle de la placette 05 on observe cinq phases de croissance des épaisseurs des cornes, la première est une phase de décroissance à partir de 1,5mm jusqu'à 0,1mm, la deuxième phase est une phase de croissance à une valeur de 1,7mm et une succession de croissance et décroissance jusqu'à 1937 où on observe une décroissance importante à une valeur de 0,2mm qui marque la fin de cette période, la troisième phase commence par une croissance jusqu'au pic avec une valeur de 3,2mm et se termine par une décroissance importante à 0,5mm, la quatrième phase débute par une croissance et se termine par une décroissance à une valeur de 1mm, la dernière phase est caractérisée par une stabilité des épaisseurs des cornes.

La courbe individuelle de la placette 06 marquée par trois phases, la première phase commence par une décroissance jusqu'à 1,5mm suivi d'une croissance, la deuxième phase aussi comprend une croissance à une valeur de 4,1mm suivi d'une décroissance à 1,8mm, la troisième phase est une décroissance progressive des épaisseurs de cornes jusqu'à l'année dernière.

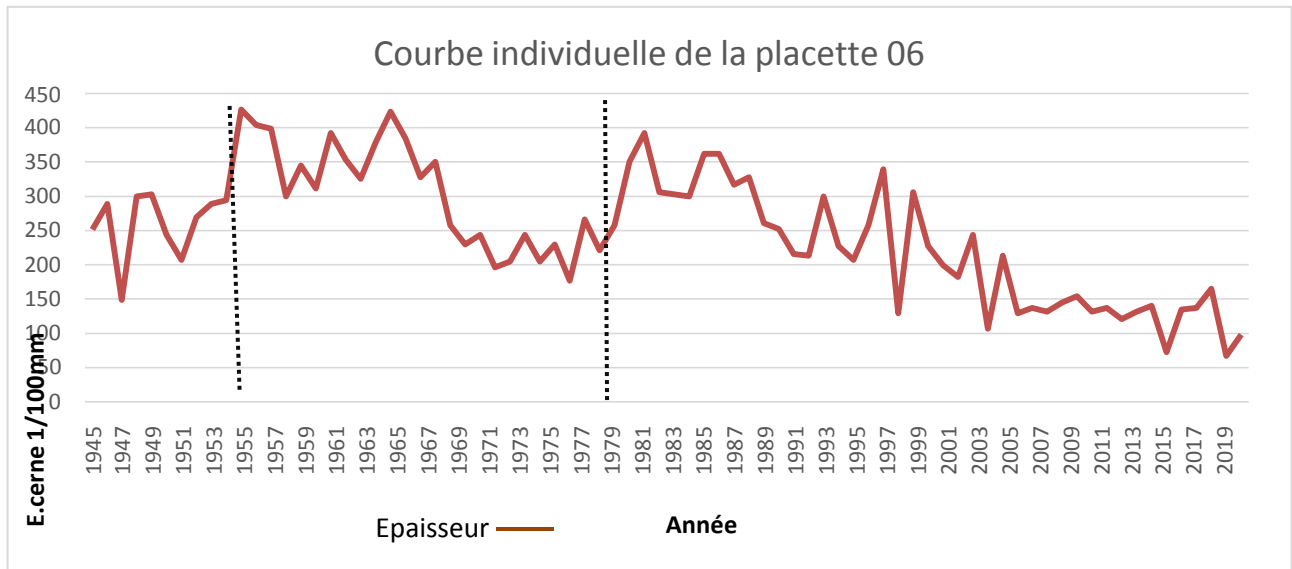


Figure 19: Courbe individuelle de la placette 6

La courbe individuelle de la placette 07 a deux phase la première est une décroissance importante d'une valeur de (10mm) jusqu'à (2,2mm), la deuxième phase on remarque une stabilité des épaisseurs des cernes jusqu'à l'an dernier.

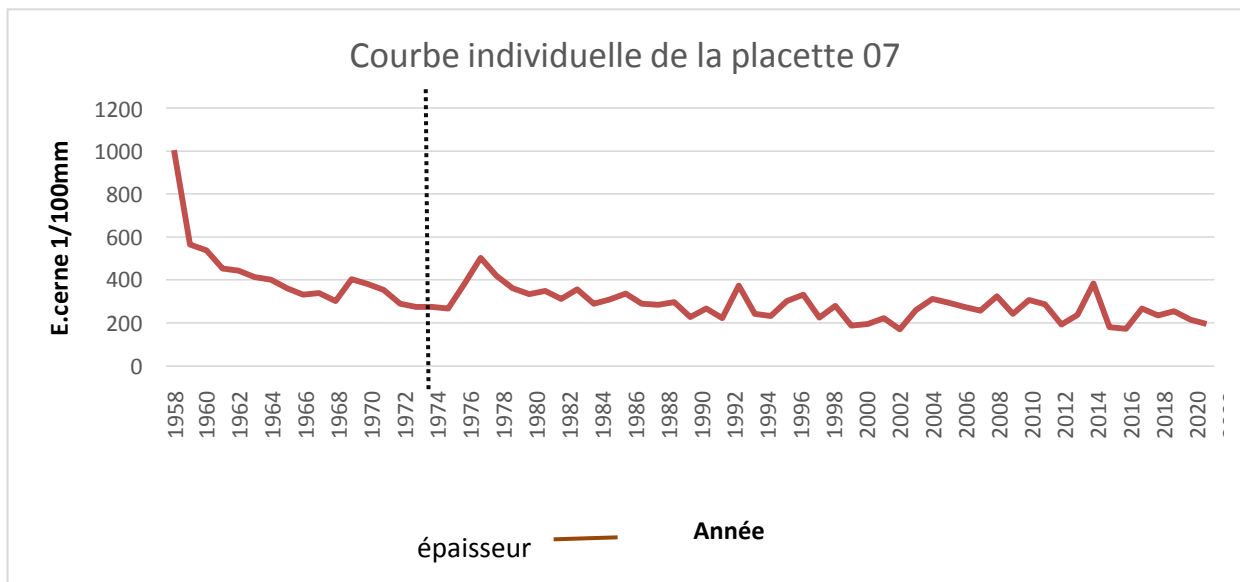


Figure 20: Courbe individuelle de la placette 7

La courbe individuelle de la placette 08 comprend deux phases dont la première on observe un changement d'épaisseurs du début de la phase en 1932 jusqu'à la fin en 1996 ou chaque décroissance est suivie d'une croissance, la deuxième phase débute par

une décroissance importante de (8mm) jusqu'à (1,1mm) suivie d'une stabilité des épaisseurs jusqu'à l'an dernier.

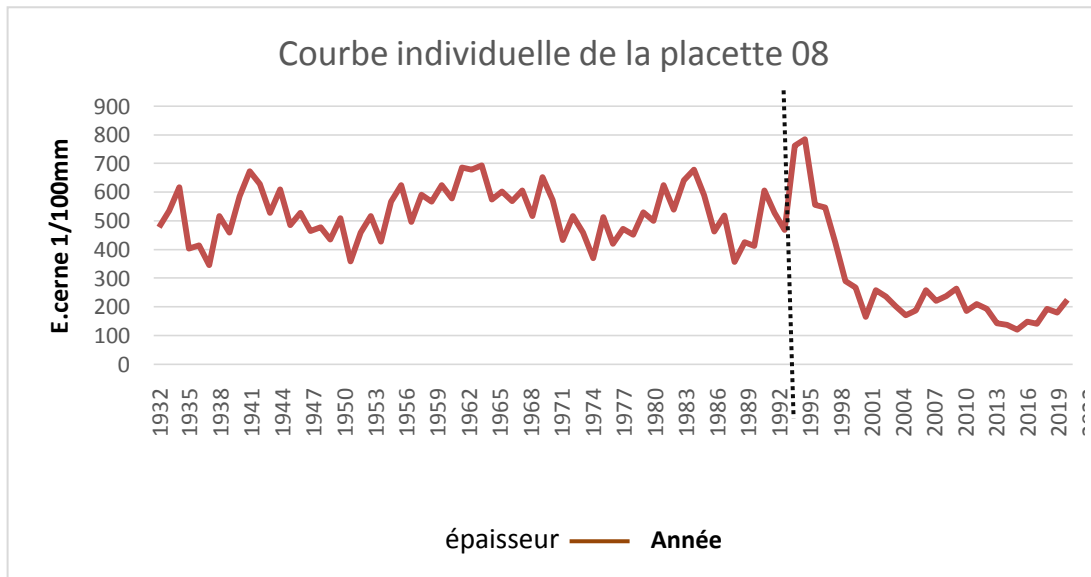


Figure 21 : Courbe individuelle de la placette 8

Dans la courbe 09 on observe trois phases ou il y a une alternance de décroissance et de croissance tout au long de la courbe avec une valeur maximale de (5mm) et une valeur minimale de (0,5mm)

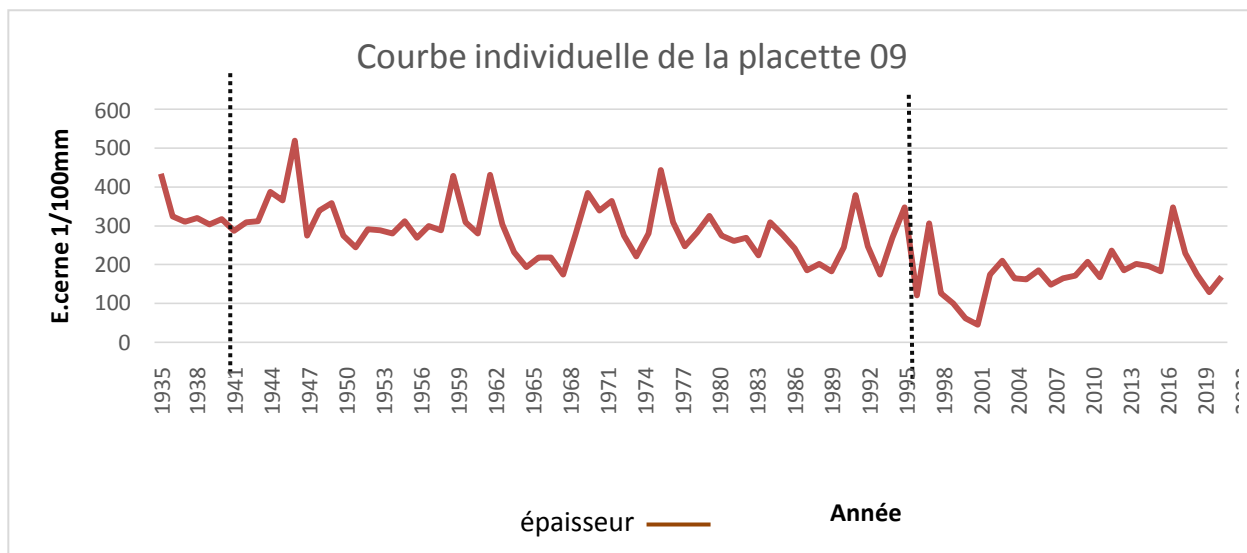


Figure 22 : Courbe individuelle de la placette 9

L'analyse de la courbe 10 nous montre trois phases, la première est une phase de décroissance de (8mm) en 1946 jusqu'à (2,7mm) en 1974. La deuxième phase marque une croissance de (5,6mm) suivie d'une croissance, la dernière phase commence par une croissance après une stabilisation des épaisseurs jusqu'à 2022.

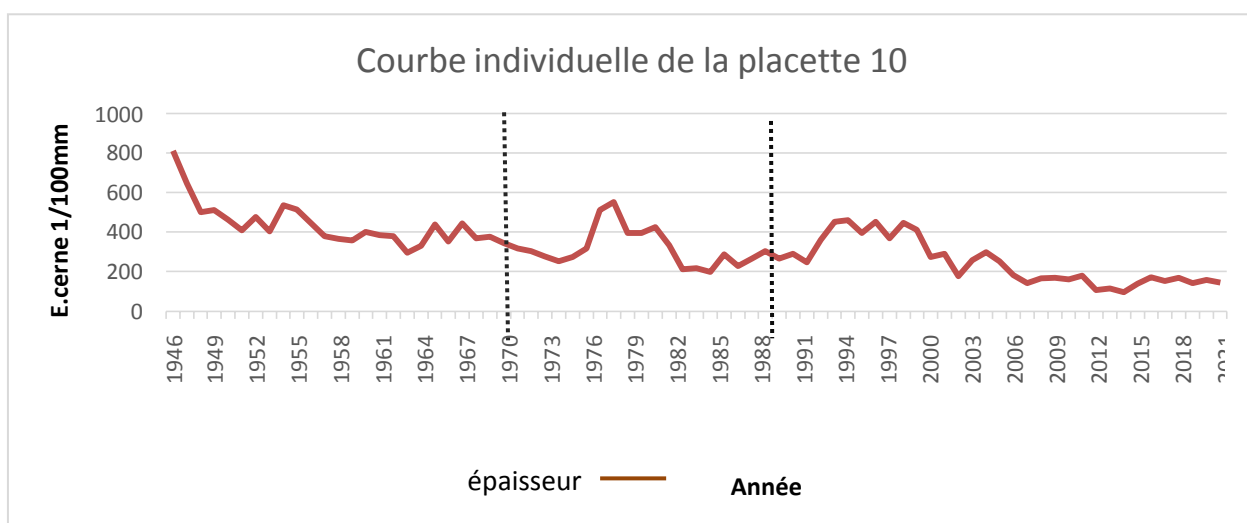


Figure 23: Courbe individuelle de la placette 10

Dans cette courbe il y a trois phases, la première est une phase décroissance et des légères croissances des épaisseurs de cernes durant les 15 années puis suivie d'une décroissance importante ensuite en deuxième phase débute d'une croissance importante de 3 mm à 7mm en

1977 pour la troisième phase on marque une décroissance de 1986 jusqu'à la dernière année 2022 .

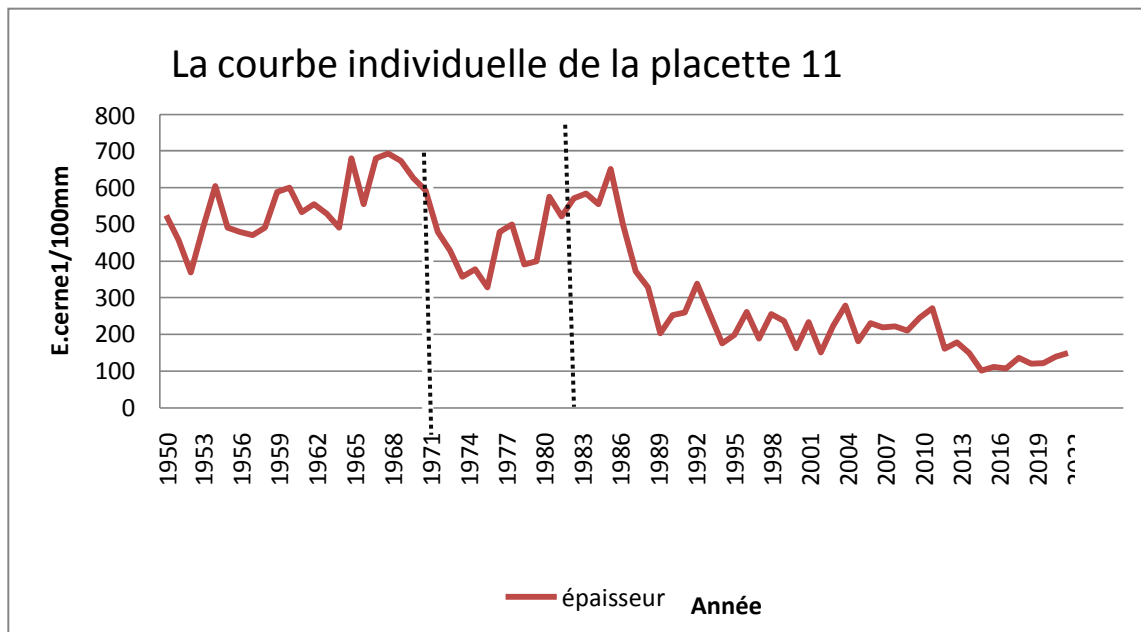


Figure 24 : Courbe individuelle de la placette 11

Dans la courbe 12 se trouve deux phases dont la première phase est une phase de croissance d'une épaisseur. La phase 2 marque une relance de la décroissance des épaisseurs jusqu'au point min 2 mm en 2022.

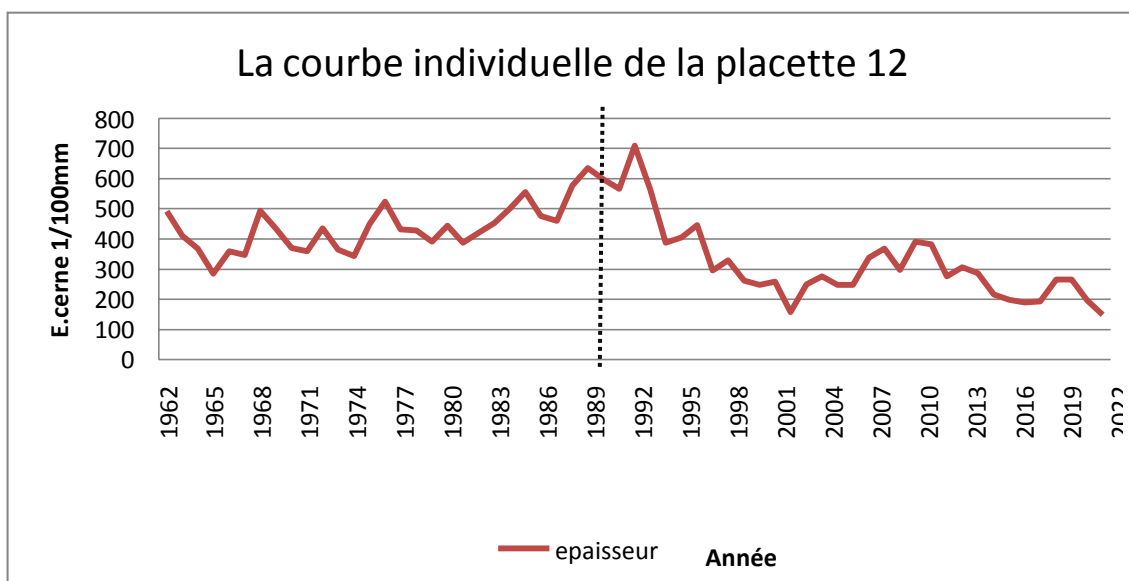


Figure 25: Courbe individuelle de placette 12

Dans la courbe 13, il y a trois phases, la première est une phase de décroissance des épaisseurs jusqu'au point min 2,5 mm en 1982. Le début de la phase deux connaît une croissance importante jusqu'à le point 5,5 mm en 1988 qui le suit avec une décroissance chaque une petite période jusqu'à 1,5 mm qui est aussi un début de la troisième phase qui marque une décroissance importante jusqu'au 00 mm en 2022. cest pas normal une epaisseur de 00 ne peut pas exister

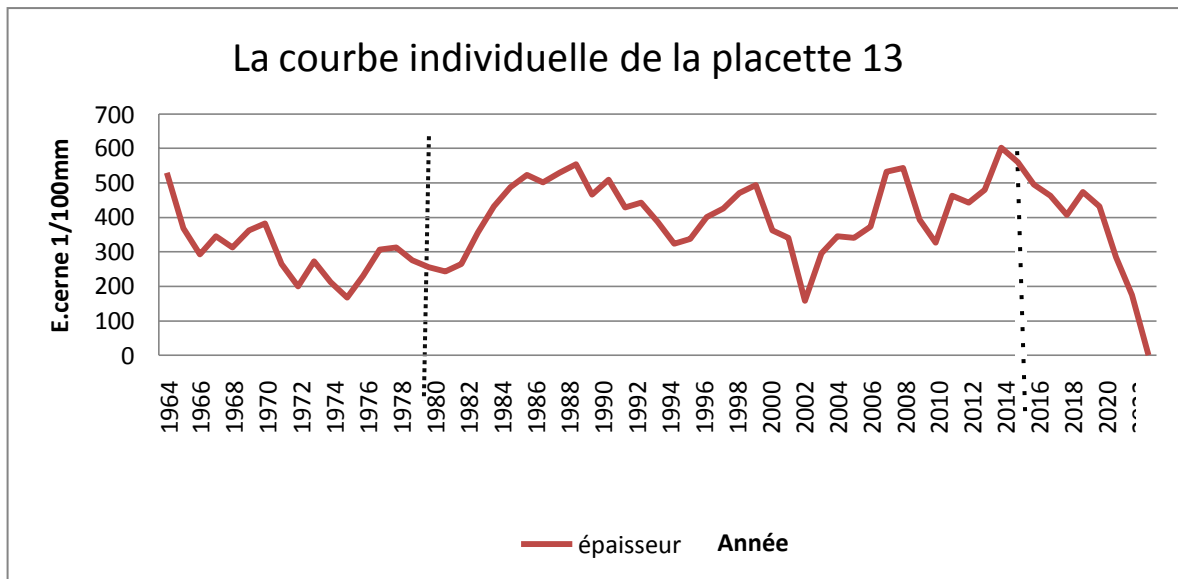


Figure 26 : Courbe individuelle de la place 13

La courbe individuelle 14 marque quatre phases dont la première débute par une légère croissance pendant 4 ans puis la phase 2 arrive la croissance au point max 5,0 mm en 1973, cette dernière est le commencement de déclin jusqu'au début de la phase troisième où s'est relancé encore pendant deux ans pour finir la phase par le déclin. La phase quatrième présente une croissance moins importante et une décroissance pareille jusqu'à la fin 2022.

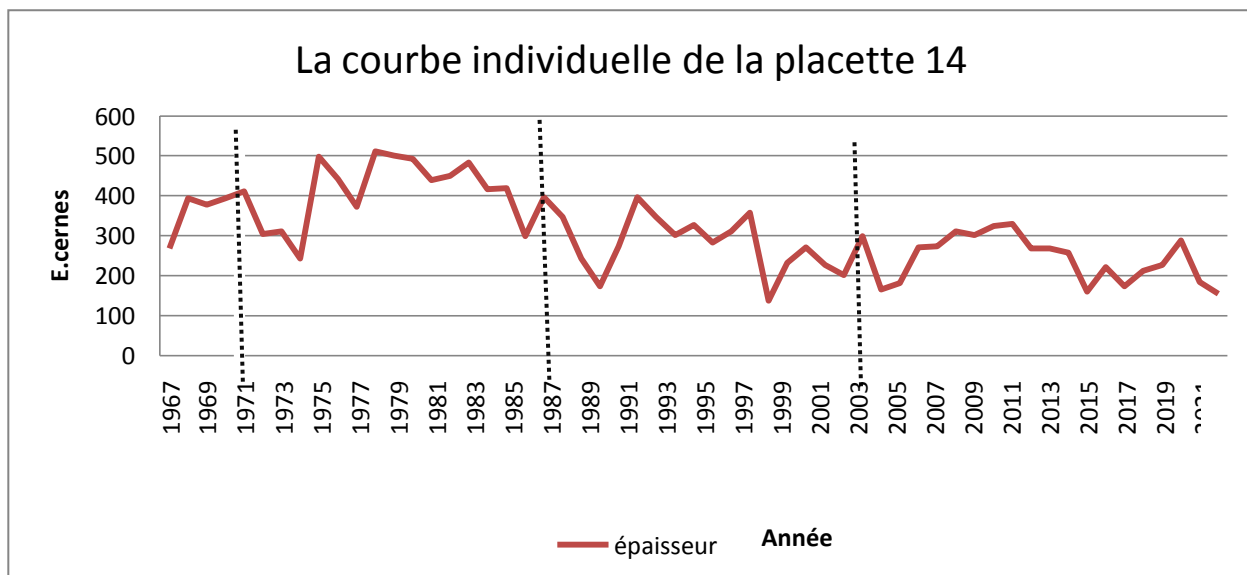


Figure 27 : Courbe individuelle de la placette 14

Dans la courbe 15, il y a 3 phases, la première est une phase de décroissance des épaisseurs de 7 mm à 2mm. Le début de la phase 2 connaît une courte croissance pendant les six ans jusqu'à une épaisseur maximale 4 mm en 1986 qui est aussi un début de la troisième phase qui marque une décroissance durant toutes les années dernières.

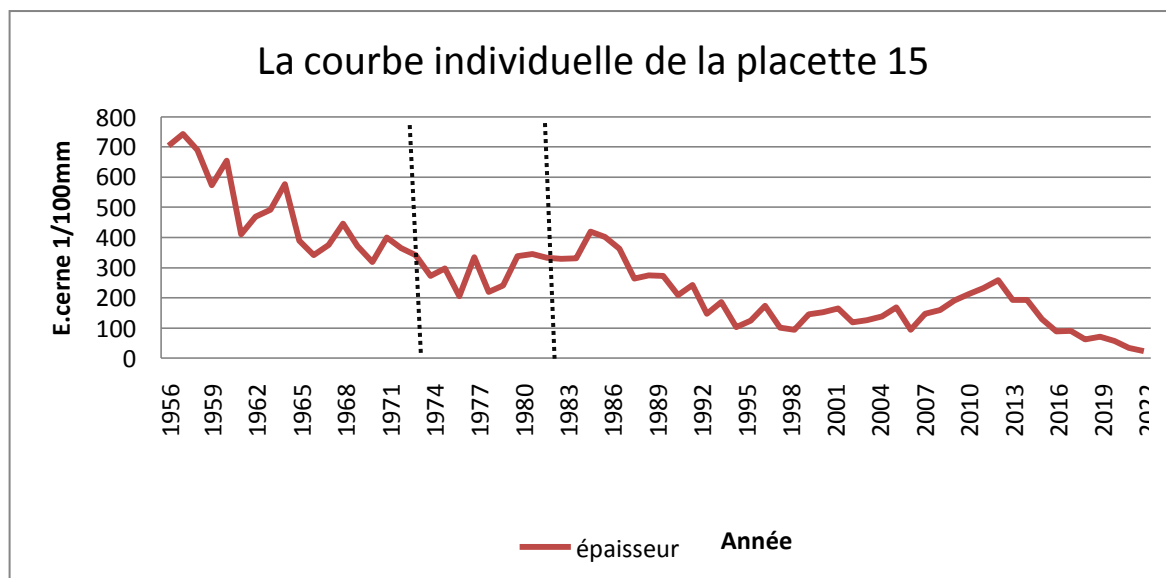


Figure 28 : Courbe individuelle de la placette 15

La courbe 16 commence par une croissance dans la première phase qui a duré 9 ans du 0,90 mm à 6,50mm. La deuxième phase s'inscrit une relance de la décroissance de 6 ans puis

suivie d'une légère croissance et troisième phase commence par une décroissance de 5,9 mm jusqu'à 1,9 mm suivie d'une croissance après marque une décroissance et stabilisation des épaisseurs des cernes jusqu'à 2012 où une importante croissance au point 5,4 mm est signalé puis une décroissance jusqu'à 2022.

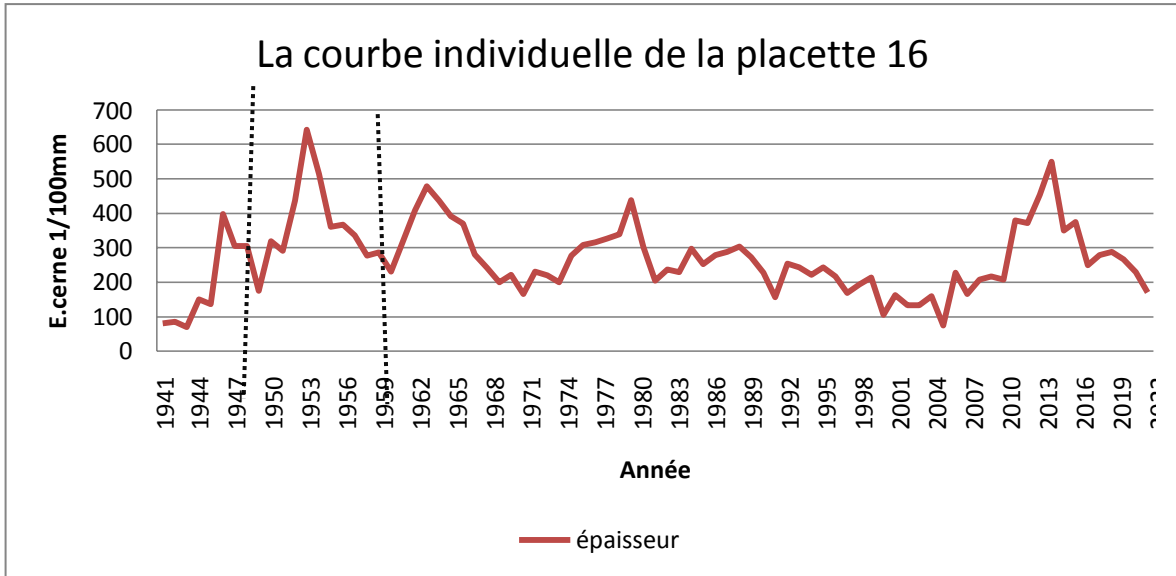


Figure 29 : Courbe individuelle de la placette 16

Dans cette courbe on trouve 4 phases où la première phase débute par la décroissance des épaisseurs d cernes et reprendre la croissance à chaque début de la phase suivante finir par le déclin final.

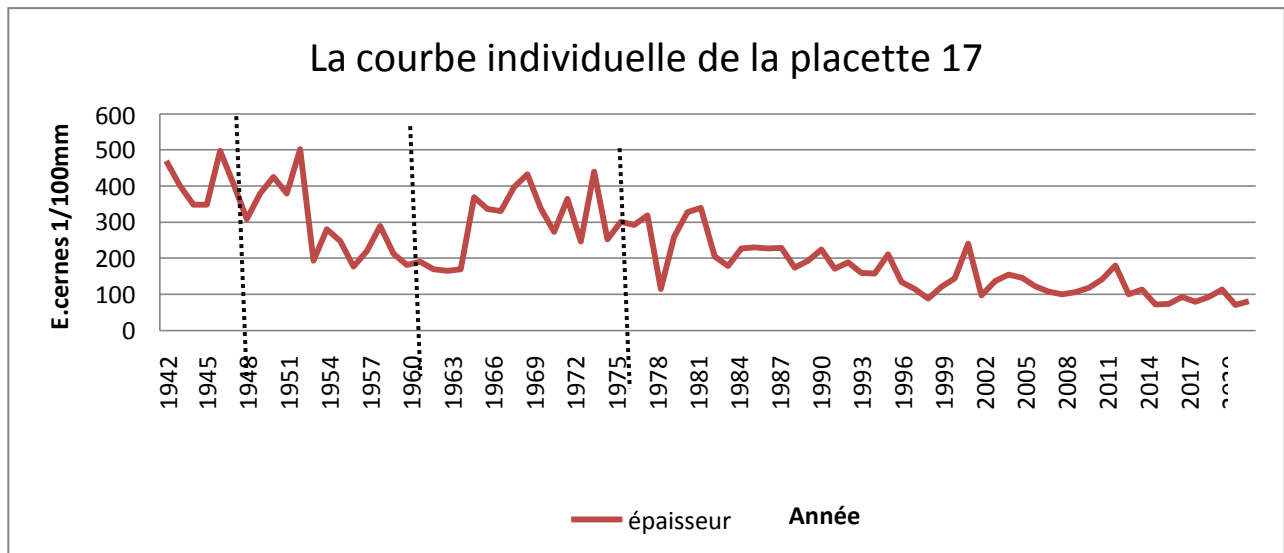


Figure 30 : Courbe individuelle de la placette 17

Dans la courbe 18 on remarque une décroissance progressive importante du 1943 avec une épaisseur 6,90 mm au 2,10 mm en 1965 puis suivie d'une croissance dans la phase 1 et la phase 2 s'inscrit des changements d'épaisseurs durant toutes les années avec des courtes

croissances et décroissances qui est suivi à chaque fois d'une courte décline jusqu'à l'année 2022.

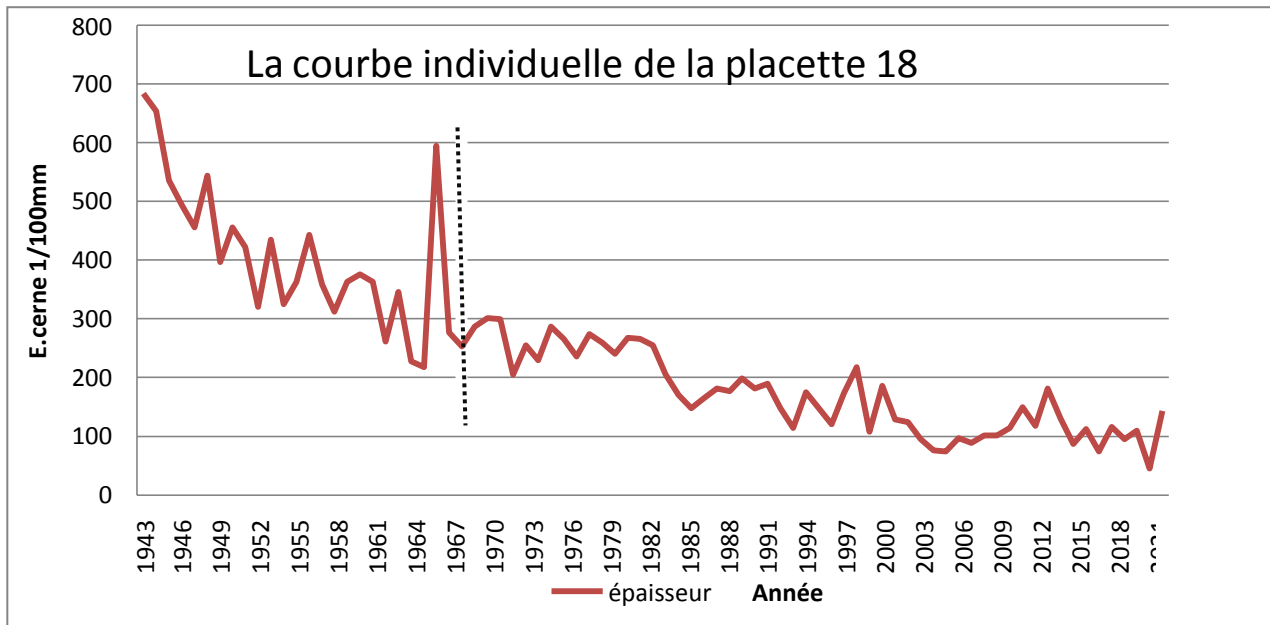


Figure 31 : Courbe individuelle de la placette 18

La première phase de la courbe commence par une croissance des épaisseurs du cerne de 3,90 mm en 1955 au 10 mm. La phase 2 débute par une stabilité de la croissance des épaisseurs des cernes durant toutes les années qui suivent jusqu'à la fin.

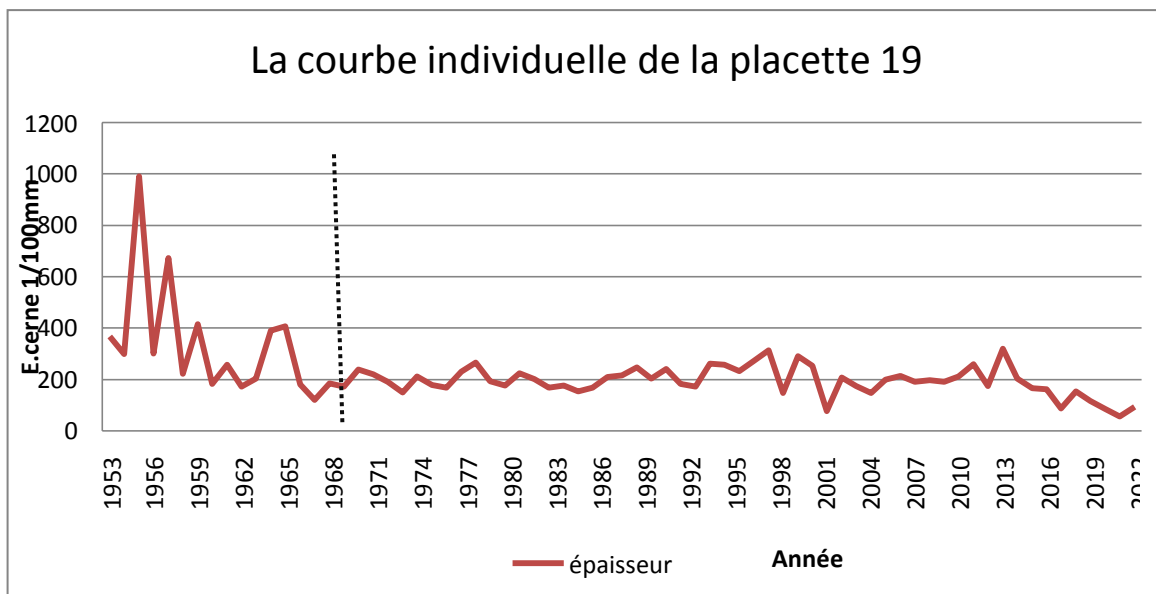


Figure 32: Courbe individuelle de la placette 19

Dans la courbe 20 se trouve deux phases dont la première est une phase de décroissance d'une épaisseur de 8,90 mm en 1966 arrive à la fin de la phase à une épaisseur 2 mm en 1978. La phase 2 marque une relance de la croissance des épaisseurs jusqu'au point max 5 mm en 1981 qui est le point où il commence le déclin progressivement jusqu'à l'arrivé au point min (0 mm) en 2022. impossible

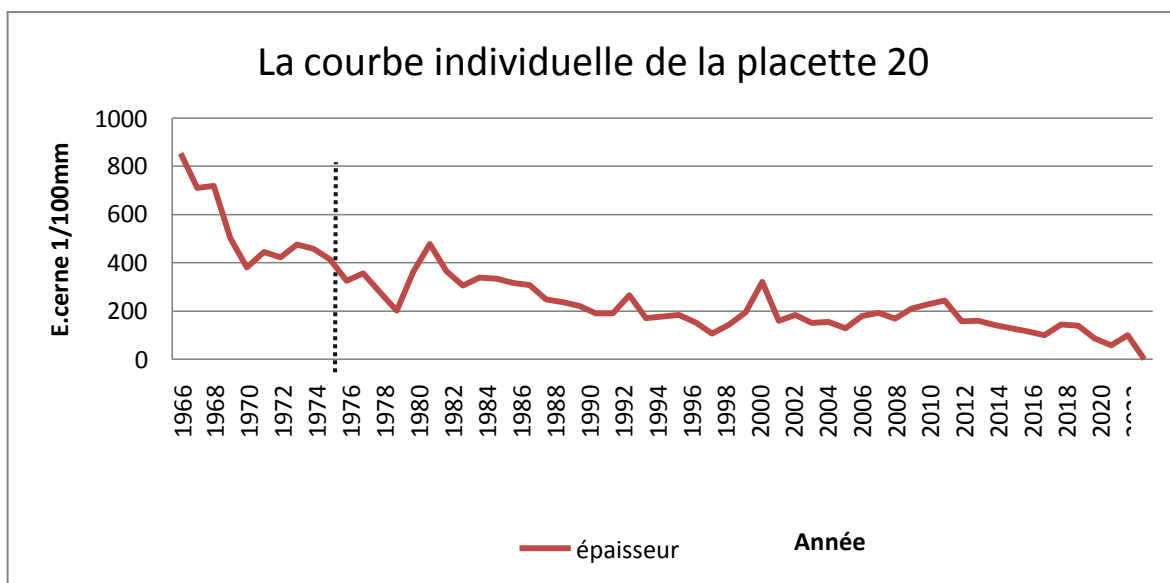


Figure 33 : Courbe individuelle de la placette 20

› Courbe de synthèse :

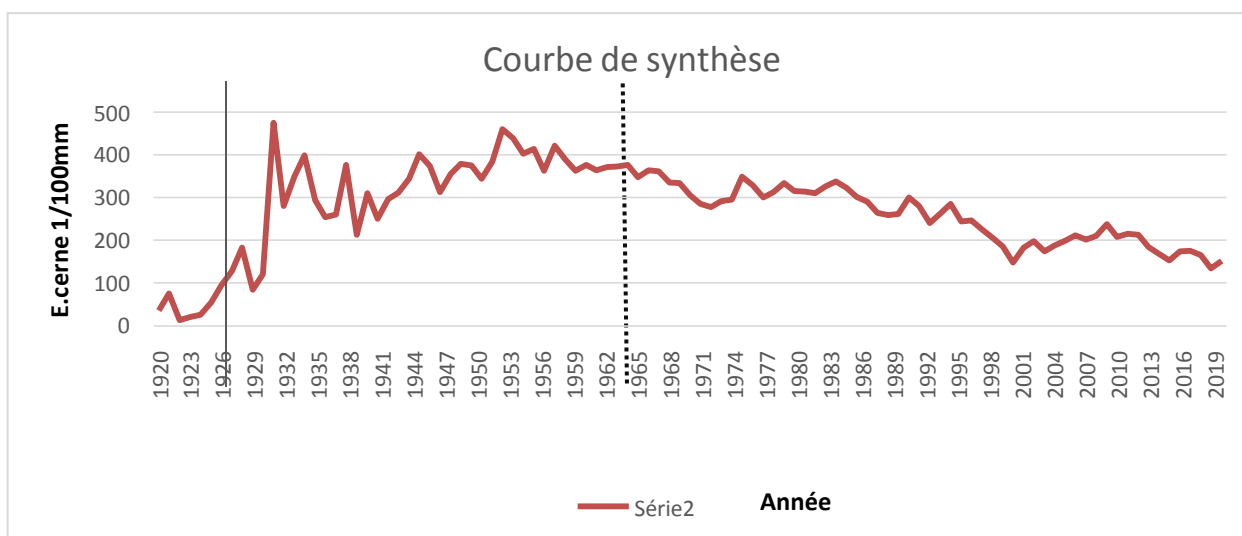


Figure 34 : Courbe de synthèse

- **La phase [1920-1932]** : c'est phase de croissance à partir (0,4mm) jusqu'au point maximale de valeur de (4,8mm)
- **La phase [1932-1968]** : elle commence par une phase de décroissance à partir du point maximale jusqu'à (2mm) suivi d'une croissance jusqu'à une valeur de (4,5) mm puis une décroissance
- **La phase [1968-2022]** : c'est une phase de décroissance de début de la phase d'une valeur du (3,8 mm) jusqu'à la fin de la phase qui correspond à une valeur de (1,2 mm)

III.3) Coefficient d'inter datation

Le coefficient d'inter datation égal au rapport de la sensibilité moyenne calculée sur la chronologie représentative de la population à la moyenne des sensibilités individuelles correspondantes (Schulman, 1956). Dans notre étude les placettes étudiées ont un coefficient d'inter datation entre 0,59 à 1,30 avec une moyenne de 0,88, cela montre un bon synchronisme.

III.4) Sensibilité individuelle

La sensibilité individuelle offre une mesure quantitative de la variation de la croissance radiale d'une année à l'autre au sein du même individu. Les résultats montrent que la valeur la plus élevée est de 0,32mm dans la placette 19, tandis que la valeur la plus faible est de 0,16mm dans la placette 01. Les placettes 02, 03, 06, 09, 11, 14, 15, 16, 17 et 18 présentent les sensibilités moyennes les plus élevées, variant de 0,21mm à 0,30mm, tandis que les autres placettes affichent des sensibilités faibles qui varient de 0,17 à 0,19mm. Cette variabilité entre les différentes placettes est peut-être dû à l'âge des placettes et aux variations des paramètres du milieu comme l'exposition qui joue un rôle important dans la répartition des précipitation sur chaque versant.

III.6) Epaisseur moyenne des cernes :

Les valeurs de l'ECM dans les placettes 2, 3, 4, 5, 6, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20 varient de 1,36 mm à 2,76 mm. La valeur la plus faible de 1,36 mm à était enregistrée dans la placette 5 qui est la plus âgé ce qui confirme l'effet de l'âge sur la croissance radiale des arbres.

Pour le reste des placettes on a obtenu des valeurs élevée allant de 3,18 mm jusqu'à 4,54 mm. La plus grande valeur a été enregistrée dans la placette 8 qui est caractérisée par la rareté du sous-bois, une faible densité des tiges, un sol meuble et la présence de quelques espèces indicatrice de milieu humide.

III.7) Sensibilité moyenne :

La sensibilité moyenne maitresse pour l'ensemble des placettes est de 0,19 mm. Cette valeur est inférieure à la norme méditerranéenne fixée à 0,23, caractérisant ainsi un état de "complaisance" selon la terminologie de Serre (1973).

Fritts (1976) classe une population comme sensible lorsque son coefficient SM est supérieur à 0,20, et comme complaisante lorsque SM est inférieur à 0,20. La sensibilité moyenne globale du cèdre de l'Atlas dans notre zone d'étude est considérée comme faible(0,19), elle rentre dans l'intervalle des valeurs obtenues par Djoumi (2018) pour la même région (0,11 à 0,22), et ceux obtenu par Chebouki (1994) dans le Moyen Atlas Marocain (0,14 à 0,46). Tandis qu'elle est supérieure à la valeur de 0,12 obtenu par Ifires & Hocini (2022) pour la cédraie de Thala Guilef.

La sensibilité du cèdre aux précipitations pendant plusieurs mois de l'année rend cette espèce vulnérable à la sécheresse qui persiste depuis plusieurs années. Les années sèches entraînent une diminution brutale des réserves hydriques du sol, exposant les arbres à un risque élevé de stress hydrique, particulièrement en période estivale (Bréda et al., 2000; Landman et al., 2003).

Les projections futures des changements climatiques en région méditerranéenne prévoient une augmentation des températures d'environ 3°C d'ici la fin du siècle, accompagnée d'une diminution des précipitations de 20 à 30% (GIEC, 2007). L'Afrique du Nord sera parmi les régions les plus touchées par ces changements climatiques (Quézel et Médail, 2003; Xoplaki et al., 2004). Dans ce contexte, l'avenir du cèdre de l'Atlas semble incertain dans son habitat naturel, avec une probable compromission due à l'évolution climatique et à l'intensification de l'action anthropique sur ces écosystèmes.

Conclusion

L'étude menée sur la dendrochronologie du cèdre de l'Atlas au niveau de la région forestière Tigounatine nous montre clairement l'existence d'une relation entre la croissance radiale et les facteurs stationnels

L'épaisseur moyenne des cernes varie d'une placette à une autre même si les placettes soumises au même climat régional ce que explique une variation micro-stationnels qu'ont une influence sur ce paramètre. En effet l'épaisseur des cernes annuelles se diminuer avec le vieillissement de l'arbre, donc le facteur âge à une influence sur l'épaisseur des cernes.

La sensibilité moyenne des placettes étudiées est faible dans la majorité des placettes où les conditions sont favorables, le sol est riche. Par contre la sensibilité moyenne est due à l'exposition sud qui caractérise par une sécheresse et ces vents chauds.

Les facteurs stationnels comprennent des éléments tels que le climat, la disponibilité en eau, la qualité du sol, l'exposition au soleil et d'autres conditions environnementales locales. Ces facteurs influent sur le métabolisme de l'arbre, régulant sa croissance et la formation des cellules ligneuses qui composent les cernes. Par exemple, une année avec des conditions environnementales favorables peut entraîner une croissance plus rapide et des cernes plus larges, tandis que des conditions moins propices peuvent conduire à des cernes plus étroits.

La croissance radiale diminue avec l'âge au fil du temps. La plupart des sites d'échantillonnage présentent une sensibilité moyenne relativement faible, bénéficiant de conditions stationnelles favorables. Cependant, dans quelques endroits, la sensibilité est légèrement plus élevée en raison de l'influence combinée de l'âge de l'arbre et de son exposition au sud.

Ainsi, l'analyse des cernes de croissance dans les arbres permet aux scientifiques et aux chercheurs de reconstruire les conditions environnementales passées, d'étudier les variations climatiques et de comprendre l'impact des facteurs stationnels sur la croissance des arbres au fil du temps.

Résumé :

L'objectif de cette étude dendrochronologique est de souligner les liens entre la croissance radiale des arbres et les facteurs environnementaux spécifiques à chaque emplacement. Pour atteindre cet objectif, un échantillonnage a été réalisé dans la cédraie de la région de Tigounatine Tikjda, située dans le massif du Djurdjura,

La relation directe entre les facteurs stationnels et la formation des cernes de croissance dans les arbres est un phénomène bien établi. Les cernes de croissance, qui sont les anneaux concentriques visibles dans la coupe transversale d'un tronc d'arbre, sont largement influencés par les conditions environnementales spécifiques à l'emplacement où l'arbre pousse. L'effet station, ou l'impact de l'emplacement sur la croissance de l'arbre, se manifeste par une variation dans l'épaisseur et la densité des cernes de croissance.

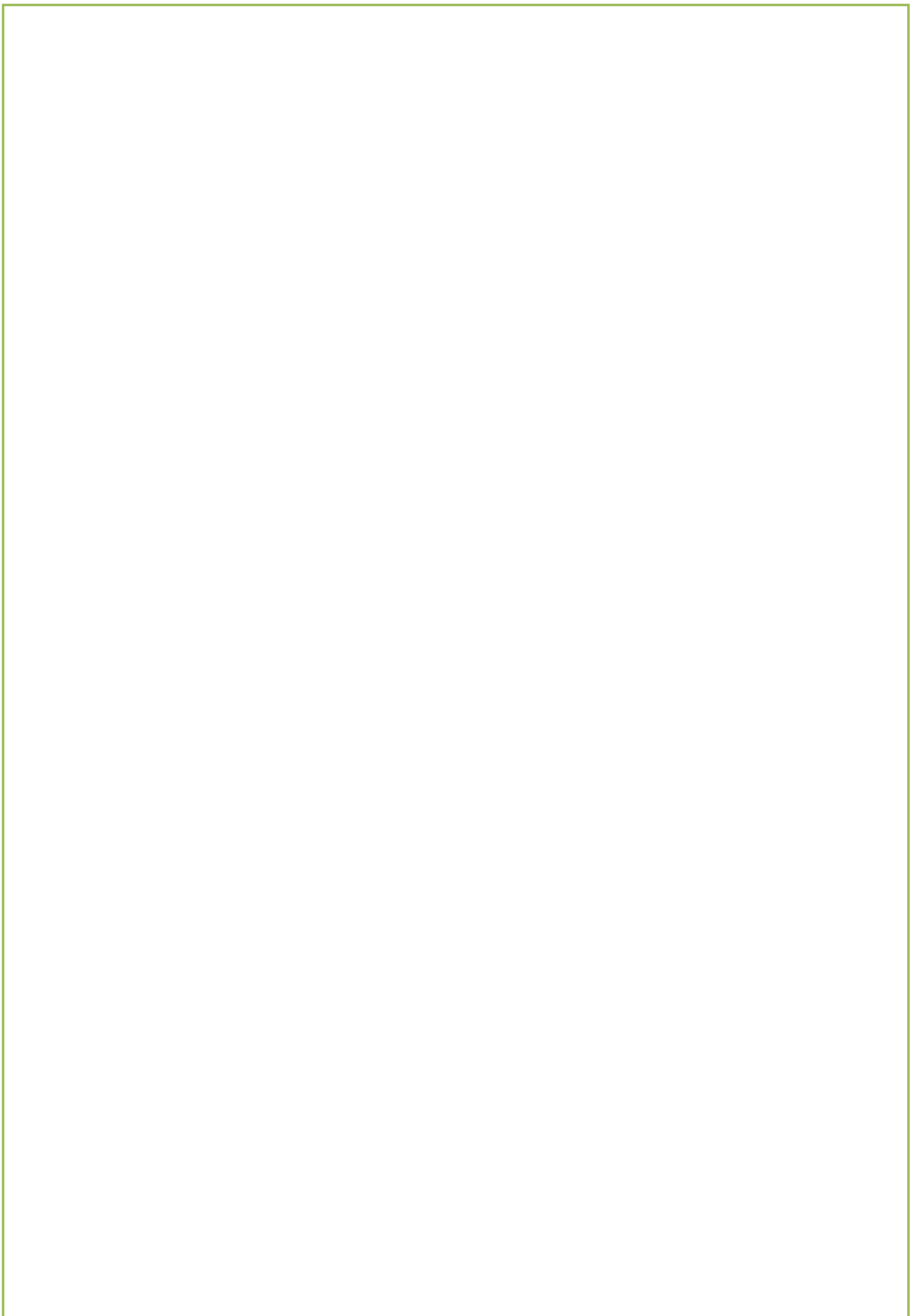
Mots clés : *Cedrus atlantica* – dendrochronologie – Tigounatine – épaisseurs des cernes – coefficient d'inter datation

Abstrat :

The aim of this dendrochronological study is to highlight the connections between the radial growth of trees and specific environmental factors at each location. To achieve this goal, sampling was conducted in the cedar forest of the Tigounatine-Tikjda region, located in the Djurdjura mountain range.

The direct relationship between site-specific factors and the formation of growth rings in trees is a well-established phenomenon. Growth rings, which are concentric rings visible in the cross-section of a tree trunk, are significantly influenced by the environmental conditions specific to the location where the tree grows. The site effect, or the impact of the location on tree growth, is reflected in variations in the thickness and density of growth rings.

Keywords: *Cedrus atlantica* – dendrochronology – Tigounatine – ring widths – interdatation coefficient



Référence bibliographiques

Abdessemed, K. 1981. *Le cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) dans le massif des aures et de belezma : etude phytosociologique, probleme de conservation et d'aménagement. Thèse Doct. Fac. St. Jerome, Marseille:199 P*

Addar, A., 2016. *Mise en évidence des processus diachroniques de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas à un niveau des massifs Djurdjura et de Chrea. Thèse. Doctorat. U.S.T.H.B. 183p.*

Alileche, A. 2012. *Etude du déperissement du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) dans la cédraie des Aures: Belezma (batna) et Chelia (khenchela). Mem. Mag. univ. Sci. & techn. Houari Boumediene, Alger.*

Aussenac G., 1984. *Le Cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écophysiological. Bull. Soc. Bot. Fr., Actual. Bot., 131, (2/3/4): 385-398.*

Barrero A., Quilez Del Moral J.-F., Mar Herrador M., Arteaga J.-F., Akssira M., Benharref A., Dakir M., 2005. *Abietane diterpenes from the cones of Cedrus atlantica. Phytochemistry, n°66. pp 105-111.*

Belaid M., 1986. *Contribution à l'étude préliminaire de la distribution de la matière organique dans quelques sols forestiers de la Kabylie du Djurdjura Thèse de D.E.S. Institut de Biologie de Tizi-Ouzou. 49p.*

Boudy P., 1950. *Economie forestière en nord-africaine. Monographie et traitement des essences forestières. Ed. Larose, Paris, T 2. 638p.*

Boudy. P (1952) : *Guide du forestier en Afrique du Nord . Les essences forestières .Ed. la maison rustique , 505 p.*

Breda N., Granier A. et Aussenac G., 2000. *Evolution possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres. Rev.For.Fra: numéro spécial, pp.73-90.*

Delwaide, A., Filion, L., 2010. *Echantillonnage et datation dendrochronologiques. Pages 167-197 in Payette, S. et Filion, L., La Dendrochronologie : Principe, méthode et applications. Presses de l'Université Laval, Québec.*

Derridj, A. 1990. *Etude des populations de Cedrus atlantica M. en Algérie. Thèse Doctorat.*

Univ. Paul Sabatier, Toulouse. 288p.

Emberger L., 1938. Contribution à la connaissance des Cèdres et en particulier du Déodar et du Cèdre de l'Atlas. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*. 18^e année, bulletin n°198, février 1938. pp. 77-92.

Faurel, L. & R. Laffite. 1949. Facteurs de répartition des cédraies dans les massifs de l'Aures et du Belezma. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, **40**: :178-186.

Fritts H.C., 1976. *Treerings and climate*. Ed. Academic press, San Diego, pp 567-582.

Jacamon M., 1987. *Guided dendrologie. T2. Feuillus*. Ed. E.N.G.R.E.F, Nancy. 256p.

Geller S., 1975. *Abrégé statistique*. 2^eme édition, Ed. Masson, Paris. 222p.

Giec, 2007. *Bilan 2007 des changements climatiques : les bases scientifiques physiques*.

Rapport du Groupe du travail I du GIEC. 27p.

Kramer P J. & Kozłowski T T., 1979. *Physiology of Woody Plants*. Ed. Academic Press, New York, Usa.

Krouchi F., 2010. *Etude de la diversité de l'organisation reproductive et de la structure génétique du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) en peuplement naturel (Tala-Guilef, Djurdjura nord-ouest, Algérie)*. Thèse. Doctorat. U.M.M.T.O.

Lebourgeois F., Becker M., 1995. *Dendroécologie du pin laricio de Corse dans l'ouest de la France. Evolution du potentiel de croissance au cours des dernières décennies*. *Ann. Sci. For* (1996) 53, pp. 931-946, INRA – Nancy

LEBOURGEOIS F & MERIAN P., 2012 - *Principes et méthodes de la dendrochronologie*. AgroParisTech, ENGREF. 88p.

Munaut A.V., Berger A.L., Guiot G. et Mathieu L., 1978. *Dendroclimatological studies on cedars in Morocco. Evolution des atmosphère planétaire et climatologie de la terre* ; CNRS, Nice, pp 373-378.

M'hirit, O., 1982. *Études écologiques et forestières des cédraies du Rif Marocaine : essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la production du cèdre de l'Atlas*. *Ann. Rech. For. Maroc*. Vol. 2. 499 p.

M'hirit, O. 1993. *Le cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti)*. Présentation générale et état des connaissances à travers le Réseau Méditerranéa « le CEDRE ». *Ann. Rech. For. Maroc*, vol 22.

M'hirit, O. 1994. *Le Cedre De L'Atlas (Cedrus Atlantica, Manetti)*. *Presentation Generale Et*

Etat Des Connaissances A Travers Le Reseau Silva Mediterranea "Le Cedre". Ann. Rech. Forest. Maroc, 27 (Special), 1:30 - 45.

M'herit, O. 1999. *Le cèdre de l'Atlas à travers le reseau Silva Mediterranea « Cèdre » Bilan Et Perspective. For. Medit. T. Xx N° 3, :91 - 100.*

M'herit, O. 2006. *Le Cedre De L'Atlas : Memoire Du Temps. Ed. Mardaga:288 P.*

Messaoudene M., 1989. *Dendroécologie et productivité de Quercus afares Pomel. Et Quercus canariensis Willd. dans les massifs forestiers de l'Akfadou et de Beni Ghorbi en Algérie. Thes. Doc. Univ. Aix Marseille, Marseille. 123p.*

Messaoudene M., Loukkas A., Gerard J., Tafer M., Dilem A. et Gonkcalez J., 2004. *Propriétés physiques du bois d'éclaircie des Cèdres, contenant du bois de compression, provenant de l'Atlas du Djurdjura (Algérie).*

Nedjahi A, 1987. *Les résultats des expérimentations du Projet intégré développement des Aurès. Projet Aurès. Séminaire ALESCO, Bou-Saadâ*

Quezel P. & Santa S., 1962. *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. Centre National de la Recherche Scientifique T 1. 618p.*

Quezel, P. 1998. *Cèdres et cédraies du pourtour méditerranéen : signification bioclimatique et phytogéographique. For. Méd.. T XIX n° 3 : 243-257.*

Quézel P. & Médail F., 2003. *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier, Paris, 592 p.*

Schulman E., 1940. *A Bibliography of tree ring analysis. Tree-Ring Bull., 6 (4), 26-39.*

Serre F., 197. *Contribution à l'étude dendroclimatologique du pin d'alep (Pinus halepensis). Thes. Doc. Es Sces. univ. Aix – Marseille III, 144p*

Slmani, S. 2014. *Reconstitutions dendrochronologiques du climat et de l'historique des incendies dans les régions des Aurès et de Kabylie, nord de l'Algérie. Thes. Doc. Univ. Ummto, 190p.*

Tessier A et al, 1993. *Response of metallothionein concentrations in a fresh water bivalve (Anodonta grandis) along an environmental cadmium gradient.*

Tessier L., 1984. *Dendroclimatologie et écologie de Pinus sylvestris L. et Quercus pubescens W. dans le sud-est de la France. Thes. Doc. Univ.Aix Marseille III. 275p*

Tessier L., 1982. *Analyse dendroclimatologique comparée de six populations de Pinus sylvestris (L) dans la Drôme. EcologiaMéditerranæa, tome VIII (fascicule 3), pp 184-202.*

Toth, J. 1970. *Plus que de centenaire et plein d'avenir : Le cèdre en France R.F.F. Vol. XXII, n° 3: 355-364*

Toth, J. 1978. *Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica M) dans le sud de la France. Thèse Doct.Ing.Fac.Sci.St.Jérôme, Marseille: 196 p.*

Toth, J. 1980. *Le cèdre dans quelques pays du pourtour méditerranéen et dans deux autres pays à grandes importance forestières Forêt Méditerranéenne. T.II.n° 1:23-30*

Toth, J. 1990. *Le cèdre: utilisation et qualite technologique. La Forêt privée:57-60*

TouchanR, Hughes M. 2000. *The role of dendrochronology in natural resource management. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-13, pp. 277-281.in Slimani 2014*

TrenadY., 1978. *L'art de faire parler le bois : initiation à la dendrochronologie. Ed. Centre Technique du Bois, N° 163, 42p*

