

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de master

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Ecologie forestière

Titre :

Etude la croissance radiale et l'analyse spatiale de la régénération naturelle du sapin de Numidie (*Abies numidica*) dans l'arboretum de Lac noir au niveau de l'Akfadou

Présenté par : SEDDI Nazime

Soutenu le : / /2023

Jury :

Présidente : Mme KROUCHI Fazia

Professeur à l'UMMTO

Encadreur : Mr RABHI Khellaf

Professeur à l'UMMTO

Examinatrice I : AMIRAT Yassina

MAA à L'UMMTO

Promotion : 2022/2023

Remerciements

*A travers ce travail, je tiens à adresser, et à exprimer mes profondes
gratitudes et mes plus chaleureux remerciements à :*

*- Mon promoteur et enseignant, Monsieur RABHI Khellaf, pour avoir accepté
de m'encadrer et pour tous les conseils techniques, les encouragements, sa
gentillesse et les orientations qu'il m'a prodigué durant la préparation de*

Mon mémoire.

*- Mme KROUCHI Fazia, chef de spécialité à l'université Mouloud Mammeri
de Tizi-Ouzou, de m'avoir encouragé à finaliser ce modeste travail.*

*Mes remerciements vont aussi à mes enseignants de la spécialité écologie
forestière.*

*Je souhaite exprimer ma reconnaissance envers toutes les personnes qui ont
contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.*

*De plus, je tiens à exprimer nos remerciements les plus sincères au président et
aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail modeste. Votre
expertise et votre temps sont grandement appréciés.*

Dédicace

*Je dédie mon travail A mes très chers parents en
reconnaissance à leurs divers sacrifices, à leurs précieux
conseils, à leurs soutiens moraux et à leurs encouragements,
je les remercie du fond du cœur*

D'être présents pour moi, Que Dieu vous garde.

À mes chers frères

À mes amies

Nazime

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....1

Chapitre I : Description de l'espèce

Le sapin en Algérie : le Sapin de Numidie (*Abies numidica* de Lannoy)2

1. Systématique2

2. Appellation2

3. Découverte2

4. Aire de répartition géographique.....3

4.1. Aire naturelle3

4.2. Aire artificielles et plantation3

5. La végétation.....4

6. Caractères botanique4

7. Exigences écologique7

7.1.Exigences climatique.....7

7.2. Exigences édaphiques7

7.3. Exigences altitudinales7

8. Les ennemies d'*abies numidica*.....7

Chapitre II : Description de la zone d'étude

1- Localisation du foret de l'Akfadou9

2- le relief et topographie 10

3- Le substrat géologique et la pédologie de la forêt de l'Akfadou 11

4-	Le climat et le bioclimat de la forêt de l'Akfadou.....	11
5-	Climagramme d'Emberger.....	13
6-	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	13
7-	La végétation de la forêt d'Akfadou.....	14

Chapitre III : Matériels et Méthodes

A.	La dendrochronologie	15
1.	Définition	15
2.	La dendrochronologie et ses applications.....	15
3.	Echantillonnage	15
4.	Préparation des carottes et des rondelles à la lecture.....	16
5.	Mesure de la largeur des cernes	17
6.	Traitement des données statistiques	19
6.1.	Epaisseur des cernes moyenne (ECM)	19
6.2.	La sensibilité moyenne (SM).....	19
6.3.	Ecart-type	20
6.4.	Coefficient de variation CV	20
6.5.	Le coefficient d'interdatation (SR).....	21
B.	Approche spatiale de la régénération naturelle	21
1.	Méthode de mesure	21
2.	Traitement des données	21
2.1.	Transformation en coordonnées cartésiennes.....	21
2.2.	Mesure de la projection des houppiers.....	22
2.3.	Présentation des houppiers sous forme d'ellipse.....	22
3.	Déférentes méthodes de calculs des distances	24

Chapitre IV : Résultats et discussions

1-	Analyse des épaisseurs des cernes	26
1.1.	Chronologies individuelles.....	26

1.2.Chronologies de synthèses	28
2. Paramètres statistiques et dendrochronologiques	30
2.1.Coefficient d'interdatation	30
2.2.Sensibilité individuelle	31
2.3.Epaisseur moyenne des cernes	31
2.4.La sensibilité moyenne.....	31
2.5Coefficient de variation.....	32
3. Analyse spatiale de la régénération.....	32
Conclusion générale	37
Références bibliographiques	38

Liste des tableaux

Tableau 01 : Les paramètres statistique et dendrochronologiques des chronologies de Sapin de Numidie	30
Tableau 02 : Calculs des distances du sapin et sa régénération	35

Listes des figures

Figure 1 : les rameaux de sapin de Numidie	5
Figure 2 : les cônes de sapin de Numidie.....	6
Figure 3 : Localisation de la zone d'étude dans la forêt d'Akfadou	10
Figure 4 : Projection des postes météorologique sur le climagramme d'Emberger.....	12
Figure 5 : Diagramme ombrothermique pour le point d'altitude moyenne de la forêt d'Akfadou.....	13
Figure 6 : Tarières de presler.....	16
Figure 7 : Rondelles du sapin de Numidie	17
Figure 8 : machine LINTAB 5	18
Figure 9 : présentation d'un individu sur in plan	22
Figure 10 : la schématisation des houppiers de chênes sous forme ellipsoïde	23
Figure 11 : illustration des structures de Répulsion, d'indépendance et d'attraction.....	24
Figure 12 : Courbes individuelles d'Akfadou 1 et 2	26
Figure 13 : Chronologie individuelles d'Azazga 1 et 2.....	27
Figure 14 : courbe de synthèse pour la station d'Akfadou.....	28
Figure 15 : courbe de synthèse pour la station d'Azazga	29
Figure 16 : la densité par unité de surface	32
Figure 17 : Simulation de la fonction g de Ripley.....	33
Figure 18 : Représentation spatiale des arbres et ces régénérations.....	34
Figure 19 : Représentation des voisinages en fonction de la surface tarière	34
Figure 20 : Distances des sapins et leur régénération en fonction de la probabilité	36

Introduction générale

Introduction générale

La flore d'Algérie affiche une remarquable variété de taxons, caractérisée par la présence de groupes floristiques significatifs. Cette riche biodiversité se trouve exposée à des menaces, tant naturelles qu'anthropiques, qui la mettent en péril. Parmi les espèces en danger d'extinction, on compte le cyprès du Tassili, le pin Noir, le genévrier Thurifère et le sapin de Numidie (selon l'UICN en 2008).

Abies numidica de Lannoy est une espèce forestière endémique des monts des Babors et Tababors en Algérie, où elle forme le seul peuplement du pourtour méditerranéen. Cette espèce est répertoriée par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature comme étant une espèce rare en danger de disparition à moyen terme (UICN, 2008).

Cette espèce se distingue de manière remarquable, présentant incontestablement un intérêt scientifique au sein de la biodiversité de la flore naturelle. Elle revêt également une importance sylvicole et forestière en raison de la qualité de son bois, ainsi qu'une valeur phytosanitaire grâce à l'huile essentielle extraite de ses aiguilles, qui confère à cette espèce des propriétés antibactériennes contre certaines souches bactériennes pathogènes (Tlili-Ait Kaki, 2013).

Dans cette étude, nous explorerons en détail le sapin de Numidie, en mettant en lumière sa biologie, son écologie, son importance culturelle et son rôle dans l'équilibre des écosystèmes méditerranéens.

Notre travail s'articule sur l'étude de la croissance radiale et l'analyse spatial de la régénération de sapin de Numidie (*Abies numidica*) dans l'arboretum de lac noir au niveau du la forêt domaniale de l'Akfadou-est.

Le manuscrit est organisé en 4 chapitre :

Chapitre 1 : Description de l'espèce

Chapitre 2 : Description de la zone d'étude

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

Chapitre 4 : Résultats et discussion

Chapitre I

Description de l'espèce

Le sapin en Algérie : le Sapin de Numidie (*Abies numidica* de Lannoy)

1- Systématique :

- Embranchement : Spermatophytes
- Sous embranchement : Gymnospermes
- Ordre : Coniférales
- Sous ordre : Abietales
- Famille : Pinacées
- Genre : *Abies*
- Espèce : *Abies numidica*

2- Appellation :

Abies numidica est communément appelé : sapin de Kabylie, sapin d'Algérie, sapin de Numidie et sapin des Babors. Les dendrologues et les botanistes ont désigné ce sapin sous diverses appellations dont : *A. numidica* De Lann, *A. pinsapo baborensis* Cosson, *A. numidica glauca* Hort, *Abies baborensis* Letourneux, *A. numidiensis* Alphand, *A. numidica aurea* Blaringhen, *Picea numidica* Gordon, *Pinus baborensis* Mac Nab, *Pinus pinsapo* Parlatore et *Pinus baborensis* Voss (Barbey, 1934 in Hachi-Illoul, 2016).

3- Découverte :

Le sapin de Numidie a été découvert en 1861 sur les montagnes des Babors dans l'est algérien par le capitaine Deguilbert. Letourneux et Cosson considèrent ce sapin comme une variété des sapins espagnols, donc il a été appelé *Abies pinsapobaborensis*. En 1861, De Lannoy décrit pour la première fois ce sapin, d'où l'appellation *A. numidica* De Lannoy mais la publication valide était par Élie Abel Carrière en 1866 (Barbey 1934, in Hachi-illoul, 2016).

4- Aire de répartition géographique :**4-1- Aire naturel :**

L'espèce forestière endémique d'Algérie appelée sapin de Numidie (*Abies numidica* de Lannoy) se caractérise par une distribution limitée dans le massif des Babors, situé en Kabylie orientale. Ce sapin pousse dans les zones montagneuses humides, à une altitude comprise entre 1500 et 2000 mètres. Selon Kolai (1986), sa superficie de couverture s'étend sur environ 300 hectares. Au Tababors, on dénombre seulement quelques spécimens de cet arbre.

4-2- Aire artificielle et plantation :

En Algérie, notamment dans les arboretums d'el Merdja (Blida), de Djbel Ouahch (Constantine), dans la forêt de Serraidi (Annaba), et dans la forêt d'Akfadou (Tizi Ouzou), on a introduit l'*Abies numidica* hors de son habitat naturel. Habituellement, le sapin de Numidie n'est pas utilisé dans les programmes de reboisement en Algérie, à l'exception de quelques tentatives timides dans les régions est et centre du pays. Cependant, selon Hachi Illoul (2016), il semble que cette espèce offre des résultats particulièrement intéressants en termes de productivité et de production de semences, notamment dans la forêt d'Akfadou, où elle fructifie naturellement et où une régénération progressive semble s'établir.

Dans l'arboretum de Djbel Ouahch, situé dans la zone du Chêne liège, le sapin de Numidie présente une croissance moyenne annuelle de 5,28 m³/ha/an (Hadjadj, 1986 cité par Hachi-illoul, 2016).

Selon Guy Albert et al. (1976), le sapin de Numidie est une des espèces qui donne entière satisfaction dans les ptéridaies exposées au nord de l'arboretum d'el Merdja, où il bénéficie des meilleures conditions écologiques. Les mêmes auteurs indiquent que l'*Abies numidica* se comporte également bien dans les expositions sud et ouest, en particulier lorsqu'il est planté dans les fonds de vallons.

Des introductions de cette espèce ont également été réalisées en France dans divers arboretums en 1861 (Parde, 1937 et Callen, 1976). Les premières graines ont été envoyées en France en 1862 par M. Davout, un officier forestier, tandis qu'un autre envoi comprenant six jeunes plants a été expédié en 1864 par M. de Lannoy (Elwes & Henry 1906–1913). Les plantes issues de ces lots de semences ont probablement été à l'origine des premiers arbres

plantés non seulement en France, mais également dans d'autres pays européens, car l'espèce est arrivée en Angleterre dès 1865 (Jacobson, 1996), et seulement deux ans plus tard à Pampisford, Cambridgeshire (Mitchell, 1972).

5- La végétation :

Même dans son habitat d'origine, le sapin de Numidie ne se trouve pas en pureté, il ne forme pas de sapinière exclusive. Il est toujours mélangé avec d'autres conifères tels que le Cèdre de l'Atlas et le If, ainsi qu'avec d'autres feuillus tels que le Chêne zéen, le Tremble, l'Érable et le Houx.

Les résultats de l'analyse phytosociologique réalisée par Kolai (1990) révèlent une association entre l'*Abies numidica* et l'*Asperula odorata*, caractérisée par les espèces suivantes: *Abies numidica*, *Calamintha baborensis*, *Galium rotundifolium*, *Asperula odorata* et *Taxus baccata*. Cette association est considérée comme un climax unique.

Dans son habitat d'origine, le sapin de Numidie présente une structure bien définie, avec trois strates distinctes :

- Une strate arborescente avec un taux de recouvrement très élevé. Les sapins et les Cèdres de l'Atlas peuvent atteindre une circonférence allant jusqu'à six mètres, voire plus, et une hauteur maximale de 22 m pour le sapin et 30 m pour le Cèdre.
- Une strate arbustive également dense, pouvant parfois atteindre plus de 90% de taux de recouvrement, où l'on observe une bonne régénération du sapin et du Cèdre.
- Une strate herbacée bien représentée, comprenant notamment l'*Asperula odorata* et la *Calamintha baborensis* (Kolari, 1990).

6- Caractère botanique

Le sapin de Numidie, arbre conique dans sa jeunesse, adopte une forme tabulaire distinctive à maturité. Il peut atteindre une hauteur de 25 à 30 mètres, et son feuillage dense, persistant et touffu confère à son apparence une grande beauté. Les branches de cet arbre se courbent délicatement et pendent gracieusement.

- **Le tronc** : Est enveloppé d'une écorce de teinte cendrée ou gris rosé, relativement lisse chez les jeunes spécimens. Avec l'âge, cette écorce devient plus rugueuse, se fissurant en plaques circulaires.
- **Les ramifications** : Denses et disposées en verticilles, partent horizontalement du tronc, le divisant souvent à une faible hauteur. Leur couleur varie du vert olive au brun, et elles sont légèrement sillonnées, presque dépourvues de pilosité.
- **Les feuilles** : Se présentent sous deux formes distinctes :
 - Les aiguilles des rameaux stériles mesurent de 15 à 25 mm de longueur et environ 2 à 3 mm de largeur, avec une épaisseur d'environ 1 mm. Elles sont disposées en demi-écouvillon, laissant les parties inférieures du rameau dégagées. Ces aiguilles sont droites et épaisses, avec une extrémité généralement pointue, bien qu'occasionnellement légèrement échancrée, en particulier sur les pousses des arbres plus âgés à croissance lente. Leur couleur est un vert foncé brillant, avec une tache de stomates blanc verdâtre près de la pointe, et deux bandes de stomates blanc verdâtre en dessous.
 - Les aiguilles des rameaux fertiles sont disposées en forme de brosse, dressées et épaisses.



Figure 1 : Les rameaux de sapin de Numidie

- **Les cônes** : Sont cylindriques et oblongs, de couleur verte glauque avec une nuance de rose ou de violet, mûrissant en brun. Ils mesurent de 10 à 20 cm de longueur et de 4 à 6 cm de largeur, et sont composés d'environ 150 à 200 écailles. Chaque écaille porte une bractée courte (non visible sur le cône fermé) ainsi que deux graines ailées qui se désintègrent à maturité pour libérer les graines. L'axe principal du cône, appelé "rachis», reste sur l'arbre.



Figure 2 : les connes de sain de Numidie

- **Les bourgeons** : Sont volumineux, ovoïdes ou conico-globuleux, avec une pointe rouge pâle à brun foncé. Ils ne contiennent pas de résine ou sont recouverts d'une fine couche de résine.
- **Les graines** : Sont de forme obovale-ovoïde, ailées, mesurant 12 mm de longueur, avec une aile de 18 mm de longueur.

7- Exigences écologique :**7-1- Exigences climatique :**

Comme la majorité des sapins méditerranéens, *Abies numidica* est très exigeant du point de vue hydrique, il occupe les étages bioclimatiques humides et perhumide avec des précipitations importantes entre 800 mm et 2000 mm, dans les monts Babors (l'aire naturelle du sapin de Numidie) La moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid (m), varie entre - 2,2 et 1,5 °C. Celle des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud (M) se situe entre 25,8 et 29,1 °C.

Selon Duckrey (1998), il est à noter que les sapins *A. numidica* et *A. nordmanniana* montrent une phénologie tardive, ce qui les rend moins vulnérables aux gelées tardives en fin de printemps. En ce qui concerne la résistance à la sécheresse parmi les sapins méditerranéens, Debazac (1964) souligne que *A. numidica* et *A. cilicica* se distinguent comme les espèces les plus robustes.

7-2- Exigences édaphique :

Le sapin de Numidie, d'après Barbero et Quezel (1975 cité dans Quezel, 1985), se trouve principalement sur des sols calcaréo-dolomitiques, en particulier dans les reliefs karstiques. Dans ces zones, les sols ont tendance à être légers, profonds et de couleur brune, comme le souligne Hachi-illoul (2016)

7-3- Exigences altitudinales :

Abies numidica, tout comme les autres sapins méditerranéens à aiguilles obtuses, présente une exigence altitudinale et se trouve rarement en dessous de 1500 mètres, selon Quezel (1985). On le rencontre généralement à partir de 1650 mètres d'altitude, et il peut atteindre jusqu'à 2000 mètres, ce qui le confine pratiquement exclusivement à la zone montagnarde méditerranéenne.

8- Les ennemis d'*Abies numidica* :

Le sapin de Numidie fait face à diverses menaces, à la fois d'origine humaine et naturelle. Parmi les menaces naturelles les plus notables, on trouve trois espèces de tordeuses en Algérie : *epinotia algeriensis*, *lazotaenia cedrivora* et *dichela numidicola*. Cependant, ces

menaces naturelles sont moins significatives que les menaces d'origine humaine. En effet, les principales causes de dégradation sont le pâturage excessif et les incendies, qui entraînent des pertes considérables pour ce sapin, étant particulièrement vulnérable au feu.

En 1988, lors de leur visite dans la région des Babors, Barbero et Quézel ont constaté une détérioration croissante d'*Abies numidica* en raison des coupes incontrôlées. La situation actuelle de cette espèce demeure préoccupante.

Chapitre II

Description de la zone d'étude

1- Localisation du foret de l'Akfadou :

Le massif forestier d'Akfadou est situé à la confluence de deux chaînes de montagnes : la chaîne du Djurdjura et la chaîne côtière. Il se trouve à environ 50 km du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou et à moins de 20 km de la mer Méditerranée en ligne droite.

La forêt d'Akfadou s'étend sur une superficie de 11 000 hectares, ce qui représente 18% des forêts de chênes caducifoliés en Algérie (Messaoudene et al., 2007).

Cette forêt est propriété de l'État et est divisée en deux parties, l'Akfadou Ouest et l'Akfadou Est, qui relèvent respectivement des wilayas de Tizi-Ouzou (4 600 ha) et de Bejaia (6 400 ha).

Les sites choisis pour cette étude se trouvent dans la partie ouest de l'Akfadou, délimitée par :

- La tranchée pare-feu qui sépare l'Akfadou Est (Bejaia) et l'Akfadou Ouest (Tizi-Ouzou) au nord-est.
- La forêt domaniale de Beni Ghobri au nord-ouest.
- La forêt domaniale de Beni Ghobri et des terrains privés à l'ouest.
- La forêt de l'Akfadou Est à l'est et au sud.
- Les terrains privés de la daïra de Bouzeguène.

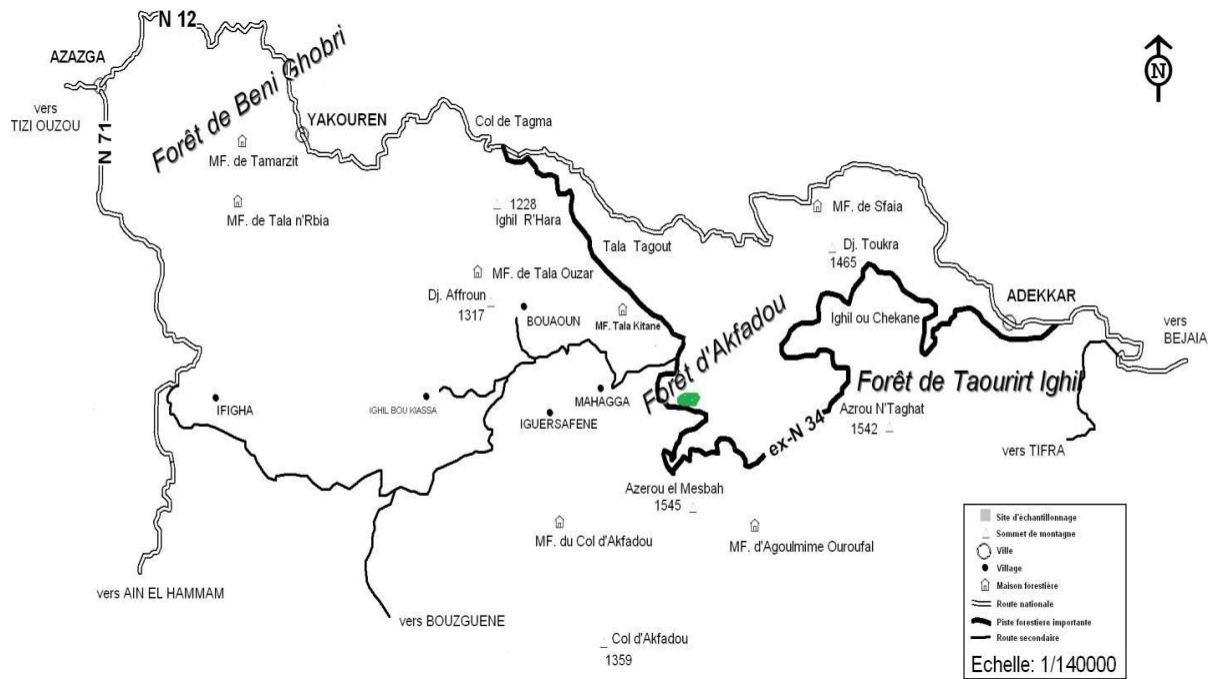


Figure 3 : Localisation de la zone d'étude dans la forêt d'Akfadou (Rabhi 2009)

2- Le relief et topographie :

Le relief de cette région est caractérisé par des montagnes, formant une succession de crêtes. Les deux principales crêtes s'orientent Est Nord-Est et Ouest Sud-Ouest dans la partie Nord de l'Akfadou, puis Nord Nord-Est et Sud Sud-ouest dans la partie orientale. L'altitude varie entre 870 mètres et 1646 mètres, avec une altitude moyenne de 1200 mètres (Anonyme, 1988).

Les sommets les plus importants comprennent Djbel Afroun (1317 m), Djbel Toukra (1465 m), Azrou El Mesbah (1450 m), Azrou n'Taghat (1542 m), Tala Guizane (1623 m) et le point culminant, Djbel Ezeen, atteint 1646 mètres (Laribi, 1999).

Les pentes les plus abruptes se trouvent principalement au sud et à l'est de la forêt de l'Akfadou. Les pentes les moins prononcées se situent dans les régions à l'ouest, à la limite de la forêt de Beni-Ghobri. Plus de 50% des pentes présentent une inclinaison supérieure à 50%, ce qui reflète les caractéristiques d'un substrat résistant à l'érosion.

3- Le substrat géologique et la pédologie de la forêt de l'Akfadou :

Selon la carte de Gelard (1978), l'Akfadou est composé de trois substrats distincts : les grès numidiens, les éboulis et les argiles sous-numidiennes de l'Oligocène qui se trouvent entre les pentes. Le flysch à microvrèche du Sénonien occupe les sommets arrondis. Durand (1950) estime que cette région comprend seulement deux types de faciès :

- Les grès siliceux du Numidien supérieur ;
- Les argiles du Numidien inférieur avec des bancs de grès intercalés (flysch).

Le même auteur souligne que la majeure partie des sols de l'Akfadou sont des sols brun lessivés, légèrement acides. Dans certains endroits, il existe des sols sujets à une hydromorphie temporaire en contact avec les argiles sous-numidiennes. Le sol est riche en humus de type mull forestier, caractérisé par un rapport C/N satisfaisant, ce qui favorise une bonne minéralisation, avec un pH inférieur à 7.

Les recherches menées par Durand (1951) dans la région démontrent que le facteur clé de différenciation des sols est la roche mère, qui, par sa perméabilité plus ou moins grande, conditionne la migration des argiles. Cela entraîne une différenciation des sols sur un substrat gréseux d'un côté et sur un substrat argileux de l'autre côté.

4- Le climat et le bioclimat de la forêt de l'Akfadou :

Le massif de l'Akfadou s'étend sur un territoire présentant des dénivellations entre ses points extrêmes ; il est donc, naturellement caractérisé par une variabilité microclimatique. Il se caractérise par les bioclimats semi-humide et humide à variante fraîche et tempérée. En effet, ses précipitations varient de 1200 à 2000 mm/an, ce qui en fait la zone la plus arrosées d'Afrique du Nord. La saison des pluies la période est importante (8 mois), la période sèche estivale est de plus de deux et demi. Le régime saisonnier des précipitations est de type: Hiver – Automne – Printemps -Eté (HAPE) (Messaoudène, 1989)

5- Climagramme d'Emberger :

La localisation des stations sur le climagramme d'Emberger est possible grâce au calcul du quotient pluviométrique (Q2) et de la valeur de la température minimale du mois le plus froid. En exploitant les données climatiques fournies par l'ANRH sur une période

relativement étalée, les quotients pluviométriques calculés positionnent le point d'altitude moyenne de l'Akfadou (1400 m) dans l'étage bioclimatique humide à variante fraîche (Messaoudène, 1989).

Q2 est calculé de la manière suivante :

$$Q2 = \frac{3,43P}{M-m}$$

Q2 : Quotient pluviométrique d'Emberger ;

P : Pluviométrie annuelle en (mm) ;

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en (°C) ;

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en (°C).

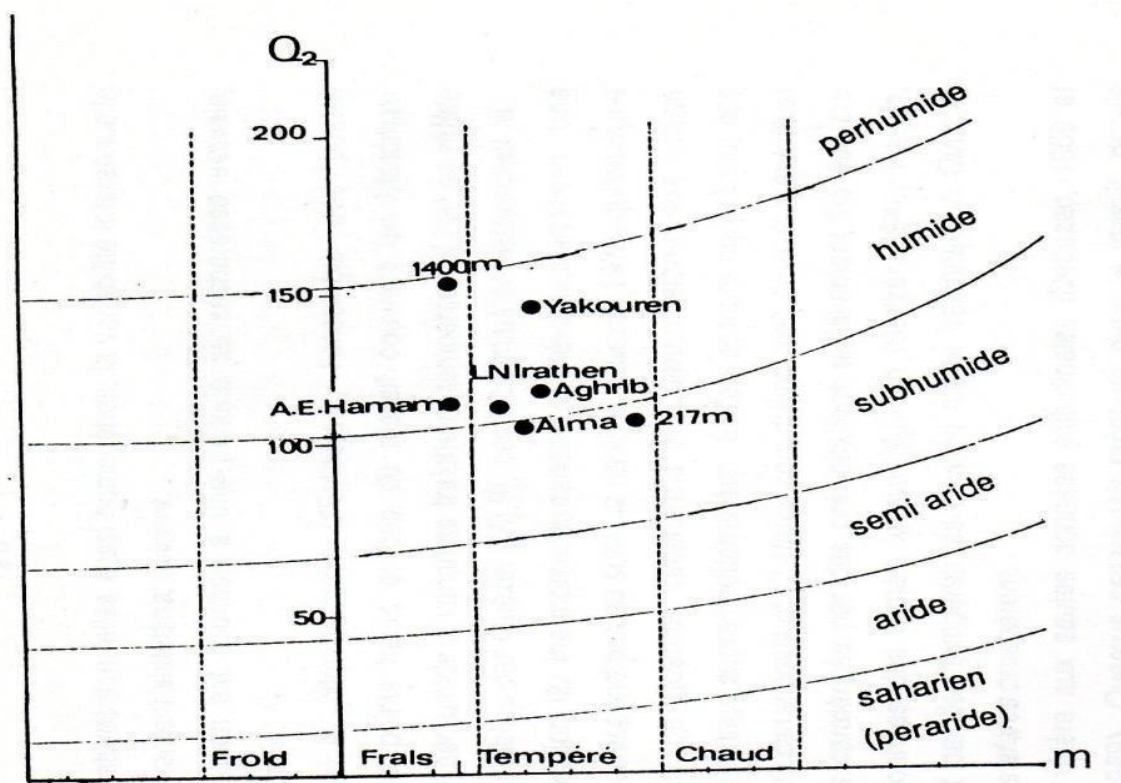


Figure 4: Projection des postes météorologique sur le climagramme d'Emberger

6- Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен :

Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен est une représentation graphique obtenue par la superposition des deux courbes de variation annuelle des précipitations et des températures. Ces dernières sont reliées par la relation : $P=2T$.

Les mois de l'année sont portés en abscisse et en ordonnée les précipitations d'un côté et les températures de l'autre côté.

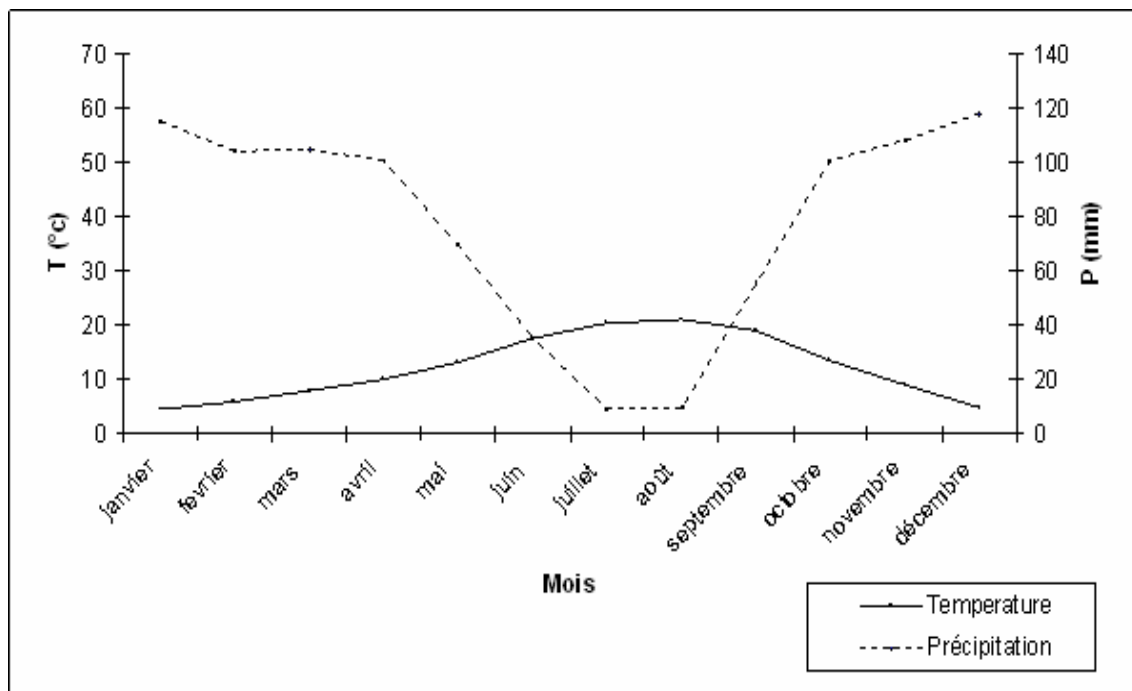


Figure 5 : Diagramme ombrothermique pour le point d'altitude moyenne de la forêt d'Akfadou

7- La végétation de la forêt d'Akfadou :

La forêt d'Akfadou est principalement composée de chêne de zéen (*Quercus canariensis Willd.*), de chêne afarès (*Quercus afares*) et de chêne liège (*Quercus suber L.*). Ces peuplements présentent une diversité d'âges, formant une mosaïque. Le chêne zéen domine jusqu'à une altitude de 1646 m, couvrant environ 45% de la superficie d'Akfadou. Le chêne afarès se trouve principalement le long des crêtes, sur les versants sud et sud-ouest, ainsi que sur les sols plus ou moins argileux, généralement en dessous de 1250 m d'altitude. Les peuplements purs représentent environ 15% de la surface boisée. Les zones de transition abritent des peuplements mixtes de chêne zéen et de chêne afarès, tout comme les peuplements mixtes de chêne zéen et de chêne liège, limités à une altitude de 1100 m. Ces peuplements mixtes couvrent environ 25% de la zone boisée. Le chêne liège pur occupe 15% de la zone périphérique d'Akfadou. Des chênes zéens et afarès matures, âgés de plus de 500 ans, sont présents dans de nombreux sites, témoignant de l'ancienneté de la chênaie d'Akfadou. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica Manetti*), introduit en 1890 puis en 1948 dans le cadre de programmes d'amélioration forestière, forme aujourd'hui de magnifiques cédraies, qui se perpétuent grâce à une régénération naturelle très importante. Le châtaignier (*Castanea sativa Mill.*), le pin noir (*Pinus nigra Ait.*), le pin coulter (*Pinus coulteri D. Don.*) et le cyprès (*Cupressus horizontalis L.*) sont également présents. On compte 75 individus d'*Abies numidica* (De Lann.) inventoriés au sud de la cédraie d'Agoulmime Aberkane. L'aulne glutineux (*Alnus glutinosa (L.) Gaertn.*), l'if et le houx colonisent les stations les plus humides et marécageuses d'Akfadou, ainsi que les sources et les cours d'eau. Parmi les espèces à feuilles caduques, on trouve également l'érable (*Acer obtusatum W. et K.*) qui peut parfois coexister avec le chêne zéen, voire le dominer pour former de véritables érablières sur des surfaces relativement réduites. Le sorbier (*Sorbus torminalis (L.) Crantz*) et le merisier (*Cerasus avium L.*), bien que relativement fréquents, sont rarement abondants. Cependant, leur importance écologique est suffisamment élevée pour que les zones restreintes où ces espèces poussent dans Akfadou soient protégées. (Messaoudène et al., 2007)

Chapitre III

Matériel et Méthodes

A. La dendrochronologie :**1. Définition :**

La dendrochronologie englobe un large champ d'application, car elle suscite l'intérêt de nombreux scientifiques qui utilisent l'information temporelle contenue dans les anneaux de croissance pour poser des questions variées, que ce soit de manière directe ou indirecte.

La dendrochronologie est la discipline scientifique qui se consacre à l'étude des cernes de croissance annuels formés par certains végétaux ligneux (Munaut, 1978 in Messaoudene, 1989).

2. La dendrochronologie et ses applications

La dendrochronologie a été initialement utilisée dans des domaines tels que l'archéologie et la climatologie, afin de dater avec précision des arbres "fossiles" et de reconstituer les climats passés. Au fil du temps, cet outil s'est avéré de plus en plus utile pour les études environnementales et la détection des changements environnementaux (Lebourgeois & Merian, 2012). Aujourd'hui, toutes les disciplines qui utilisent directement ou indirectement l'information temporelle contenue dans les séries chronologiques de cernes sont regroupées sous le terme de dendrochronologie.

Par la suite, les caractéristiques des cernes de croissance annuels ont été associées à d'autres disciplines. Par exemple, l'hydrologie (dendrohydrologie) utilise la dendrochronologie pour étudier les régimes hydrologiques des cours d'eau, les fluctuations du niveau des lacs et les inondations. La glaciologie (dendroglaciologie) l'utilise pour étudier les mouvements des glaciers, tandis que la géologie (dendrogéomorphologie) l'applique à l'étude des processus géomorphologiques tels que les glissements de terrain. De plus, l'écologie (dendroécologie) s'en sert pour étudier les relations spatiotemporelles entre les végétaux ligneux et leur environnement, incluant l'historique des feux, le dépérissement des forêts et la dynamique des écosystèmes forestiers, etc.

3. Echantillonnage :

L'échantillonnage a été réalisé dans deux stations différentes : deux carottes ont été extraites de la station d'Akfadou et deux rondelles de la station d'Azazga.

Les carottes ont été extraites à l'aide de la tarière de Pressler (Figure 9) à 1,30m dans la station d'Akfadou. Sur les arbres morts, nous avons prélevé des rondelles à la même hauteur à la station INRF d'Azazga. Le sondage a été effectué à la fin du mois de septembre,

une fois que le cerne de l'année en cours était entièrement formé.



Figure 6 : Tarières de pressler

L'objectif du carottage était 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.

Une fois que la pénétration était jugée suffisante, nous avons délicatement inséré une fine tige-canal pour extraire la carotte jusqu'au fond. Ensuite, nous avons fixé la carotte sur une réglette de bois rainurée à l'aide de ruban adhésif. Afin de prévenir les infections causées par les insectes, nous avons colmaté la cavité résultant du carottage avec une baguette en bois.

L'échantillonnage et la lecture des cernes ont été effectués à la station INRF d'Azazga.

4. Préparation des carottes et des rondelles à la lecture:

Les carottes ont été fixées sur des réglettes à l'aide d'une colle spéciale pour le bois. Ensuite, un processus de ponçage a été réalisé en utilisant du papier de verre. Nous avons commencé par un papier de verre grossier, puis progressivement nous avons utilisé des papiers de plus en plus fins jusqu'à ce que les cernes deviennent clairement visibles. et les rondelles aussi on a fait la même chose pour le ponçage (figure 7).

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



Figure 7 : Rondelles du sapin de Numidie

5. Mesure de la largeur des cernes :

La largeur des cernes est mesurée à l'aide d'une machine LINTAB 5, qui est précise jusqu'au millième de millimètre (1/1000 mm). Cette machine est équipée du logiciel TSAPWIN, qui permet l'enregistrement des mesures sur un ordinateur. De plus, la machine est dotée d'une loupe binoculaire qui permet de visualiser partiellement la carotte et d'agrandir le cerne jusqu'à 50 fois sa taille normale. (Figure 8)



Figure 8: machine LINTAB 5

A partir des mesures deux types de séries ont été obtenus :

- **Série élémentaire d'épaisseurs de cernes :**

Les données obtenues à partir des mesures fournies par une carotte sont utilisées pour vérifier la concordance entre les différentes séries élémentaires d'une même population. Cela est réalisé en juxtaposant les courbes correspondantes. Une fois que ces données vérifiées sont établies, elles servent de base à toutes les analyses ultérieures (Messaoudene, 1989). Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué une carotte par arbre, ce qui signifie que nous sommes en présence d'une série élémentaire distincte pour chaque arbre.

- **Les chronologies maîtresses :**

Les courbes maîtresses des chronologies maîtresses sont utilisées pour représenter chaque population (station) sur l'ensemble de la chronologie. Elles présentent l'évolution moyenne annuelle de la croissance radiale pour ces populations. Ces courbes permettent de minimiser les variations propres à chaque arbre, causées par des paramètres intrinsèques et extrinsèques (Tessier, 1984 ; Messaoudene, 1989).

6. Traitement des données statistiques :

6.1. 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 micro-environnements 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 :

$$X_t = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{t=n} X_{tc}$$

X_{tc} : Epaisseur du cerne d'une année t pour une chronologie c. N : nombre de chronologie prise en compte.

X : Croissance moyenne à l'année t.

6.2. 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 :

$$SM = \frac{2}{n-1} \sum_{t=1}^n \frac{|X_{t+1} - X_t|}{|X_{t+1} + X_t|}$$

SM : Sensibilité moyenne.

N : Nombre d'années de la chronologie.

X_t et X_{t+1} : sont les épaisseurs de deux cernes successifs au cours des années t et t+1

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.

6.3. Ecart-type :

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

$$S = \frac{1}{n} \sum_{1}^n (X_1 - \bar{X})^2$$

6.4. Coefficient de variation CV :

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 :

$$C = \sigma / \bar{X} \times 100$$

CV : Coefficient de variation.

σ : *Ecart - type* .

X : La moyenne

6.5. Le coefficient d'interdatation (SR) :

Il est calculé pour les séries individuelles et maitresses par la formule suivant:
(Messaoudene ,1989 in Rabhi, 2009).

$$R = \frac{\text{SM de synthèse}}{1/n \sum \text{SM individuelles}}$$

Il met en évidence le synchronisme entre plusieurs séries de cernes. Les valeurs les plus proche de 1 expriment un synchronisme maximum sans pour autant préjuger de l'intensité du signale climatique (Tessier, 1984 in Messaoudene, 1989 in Rabhi, 2009).

Le coefficient d'interdatation inter arbres est déterminé par le rapport de la sensibilité moyenne de la série de synthèse sur la moyenne des sensibilités moyennes individuelles, il permet une appréciation de l'homogénéité de la réponse aux facteurs climatiques des différents individus de la population (Tessier, 1984 in Messaoudene, 1989 in Rabhi).

Le coefficient d'interdatation inter station est exprimé par le rapport de la sensibilité moyenne de la chronologie globale sur la moyenne de la sensibilité moyenne des chronologies des différentes stations, il permet l'appréciation des similitudes de réponses au facteur climat d'une station à l'autre (Messaoudene, 1989 in Rabhi)

B. Approche spatiale de la régénération naturelle :

1. Méthode de mesure :

Mesure des coordonnées polaires (distance à un point central 'd' et azimute 'α') de tous les points d'une placette rectangulaire de 80 m X 50 m.

2. Traitement des donnés :

2.1. Transformation en coordonnées cartésiennes :

La direction de l'azimute est superposée sur l'axe des abscisses.

Donc :

$$X = d \cdot \cos \alpha \quad Y = d \cdot \sin \alpha$$

Pour avoir toutes les coordonnées positives : O(0,0) devient O' (-30,-20)

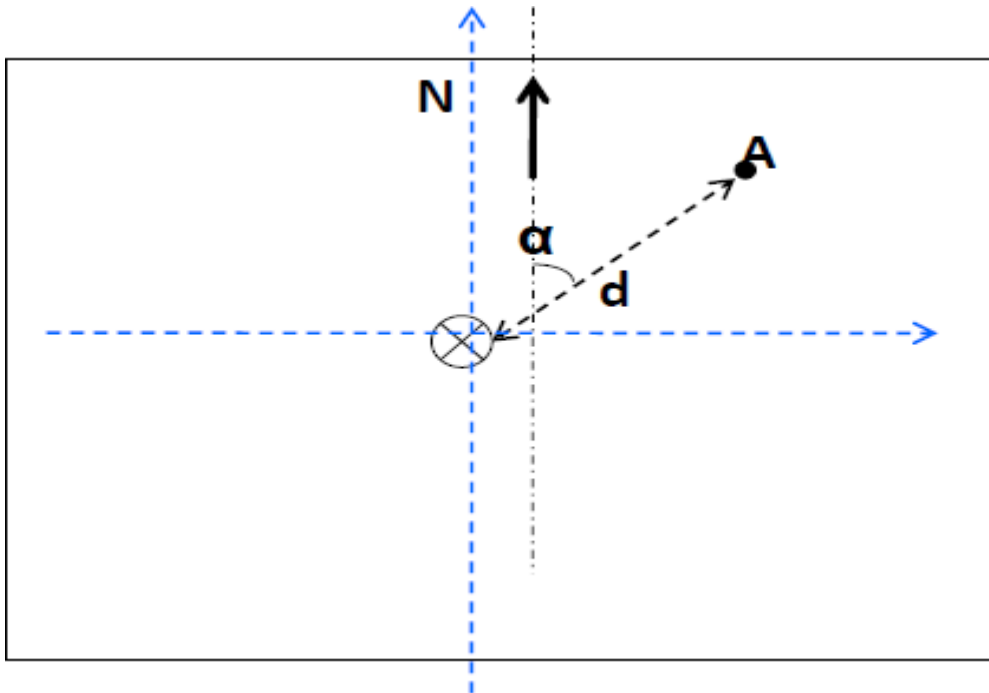


Figure 9 : Présentation d'un individu sur in plan.

2.2. Mesure de la projection des houppiers :

Deux rayons perpendiculaires sont mesurés. L'azimute du rayon maximal, présentant l'extension convexe du houppier, est mesuré.

2.3. Présentation des houppiers sous forme d'ellipse

Détermination des coordonnées (x,y)

$$X = h + a \cdot \cos t$$

$$Y = k + b \cdot \sin t \text{ où :}$$

x et y sont respectivement l'abscisse et l'ordonnée des points délimitant le grand et le petit axe de l'ellipse.

h et k sont respectivement l'abscisse et l'ordonnée de l'arbre

a : le premier rayon mesure suivant l'azimute

b : le deuxième rayon perpendiculaire au premier

t est un paramètre variant de 0 à 2π radian. Un intervalle de 15°C est utilisé pour présenter l'ellipse sur le plan cartésien (25 points)

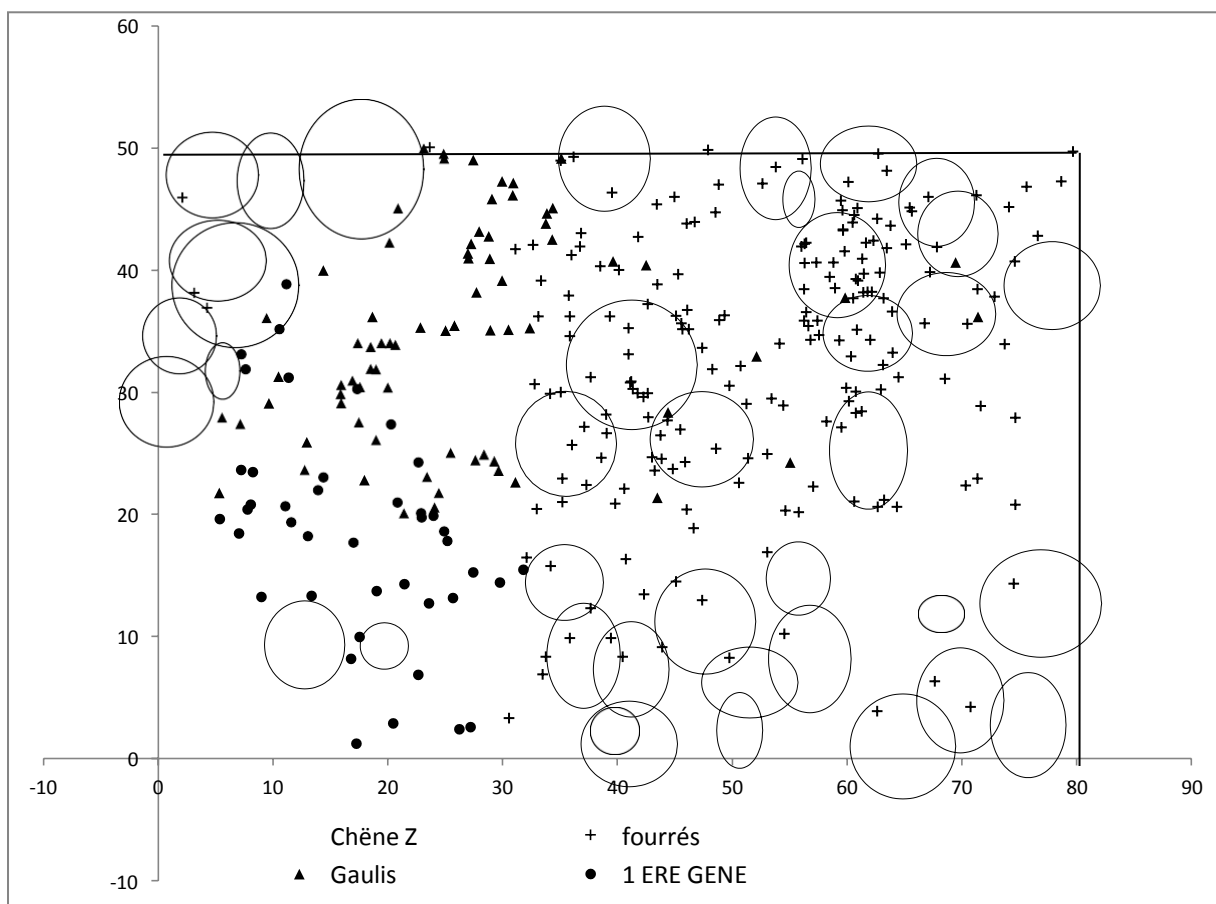


Figure 10 : exemple la schématisation des houppiers de chênes sous forme ellipsoïde.

Différentes relations spatiales :

Pour les corrélations spatiales, nous avons utilisé la statistique de Ripley. Le principe est expliqué brièvement dans le schéma ci-dessous.

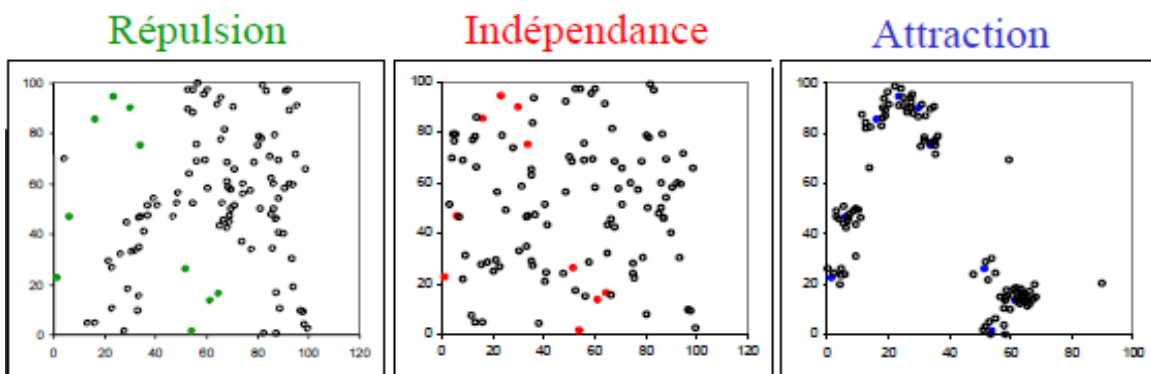
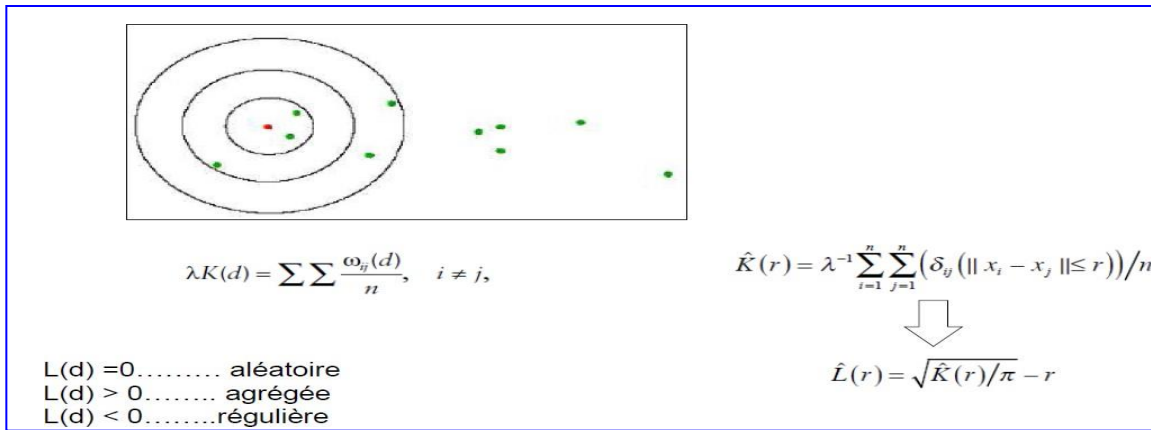


Figure 11 : Illustration des structures de Répulsion, d'indépendance et d'attraction.

3. Différentes méthodes de calcul des distances :

***Distance par paire (s_{ij} = |x_i - x_j| entre tous les points pairs i ≠ j) :**

Cette méthode consiste à calculer la différence absolue entre chaque paire de points distincts dans un ensemble de données.

Pour chaque paire de points (i et j où i ≠ j), vous prenez les valeurs correspondantes (x_i et x_j) et calculez la différence absolue entre elles, ce qui donne la distance entre ces deux points.

Cette approche est utilisée lorsque vous souhaitez connaître la distance entre tous les points de manière exhaustive. Cela peut être utile, par exemple, pour la création d'une matrice de distances complète pour l'analyse de la proximité entre les points.

***Distance du plus proche voisin ($t_i = \min_{j \neq i} s_{ij}$) pour tous les points x_i
voisins plus proche :**

Cette méthode consiste à trouver la distance la plus courte entre un point donné (x_i) et tous les autres points (x_j) dans un ensemble de données, puis à sélectionner la plus petite de ces distances.

Pour chaque point x_i , vous calculez la distance avec tous les autres points x_j et enregistrez la plus petite de ces distances comme t_i , la distance du plus proche voisin.

Cette approche est couramment utilisée dans des situations où vous cherchez à identifier le point le plus proche de chaque point dans un ensemble de données.

En résumé, la première méthode (distance par paire) calcule toutes les distances entre chaque paire de points, tandis que la deuxième méthode (distance du plus proche voisin) se concentre sur la distance entre un point donné et son voisin le plus proche parmi tous les autres points.

Chapitre IV

Résultats et discussion

1. Analyse des épaisseurs des cernes

1.1. Chronologies individuelles :

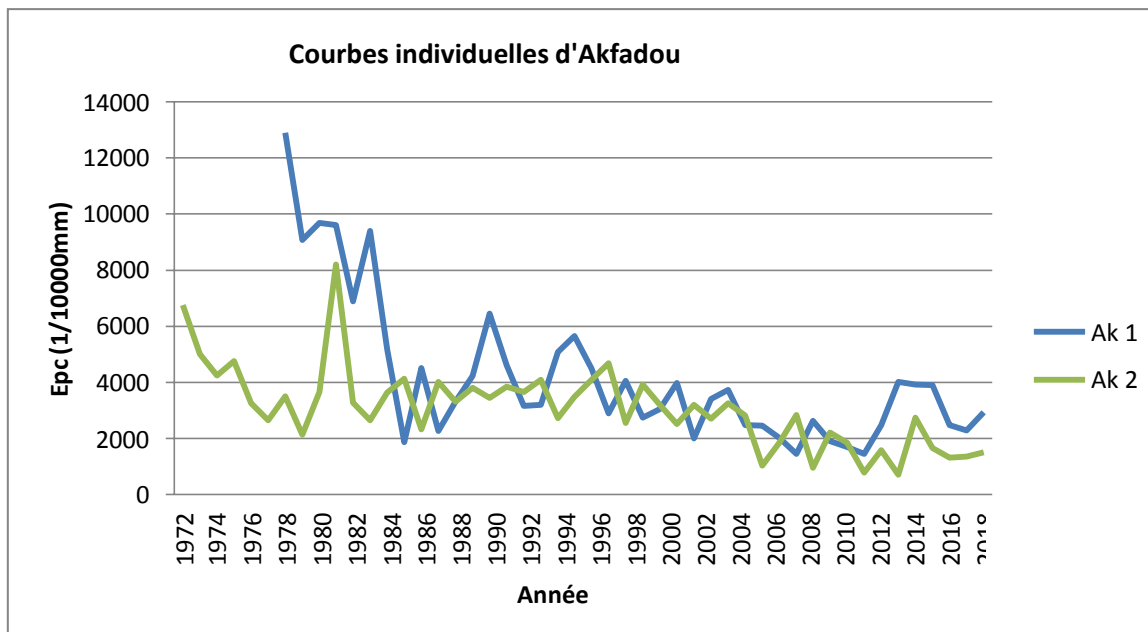


Figure 12 : Courbes individuelles d'Akfadou 1 et 2

Cette figure représente deux courbes individuelles pour la station d'Akfadou. Dans la courbe AK1, on remarque une décroissance progressive importante de 1978 à 1985, avec une épaisseur passant de 12,91 mm à 1,87 mm. Ensuite, des changements d'épaisseur se produisent tout au long des années, avec une brève croissance de 2 à 3 ans, suivie d'un court déclin à chaque fois pendant 34 ans.

En revanche, la courbe AK2 présente trois phases. La première débute par la décroissance des cernes de 1972 à 1979, avec une épaisseur de 2,76 à 2,14 mm. La deuxième phase débute par une reprise de la croissance pendant 2 ans jusqu'à atteindre un maximum de 8,21 mm en 1981, puis une importante diminution commence. La troisième phase connaît une brève croissance suivie d'un court déclin à chaque fois jusqu'à la fin en 2019.

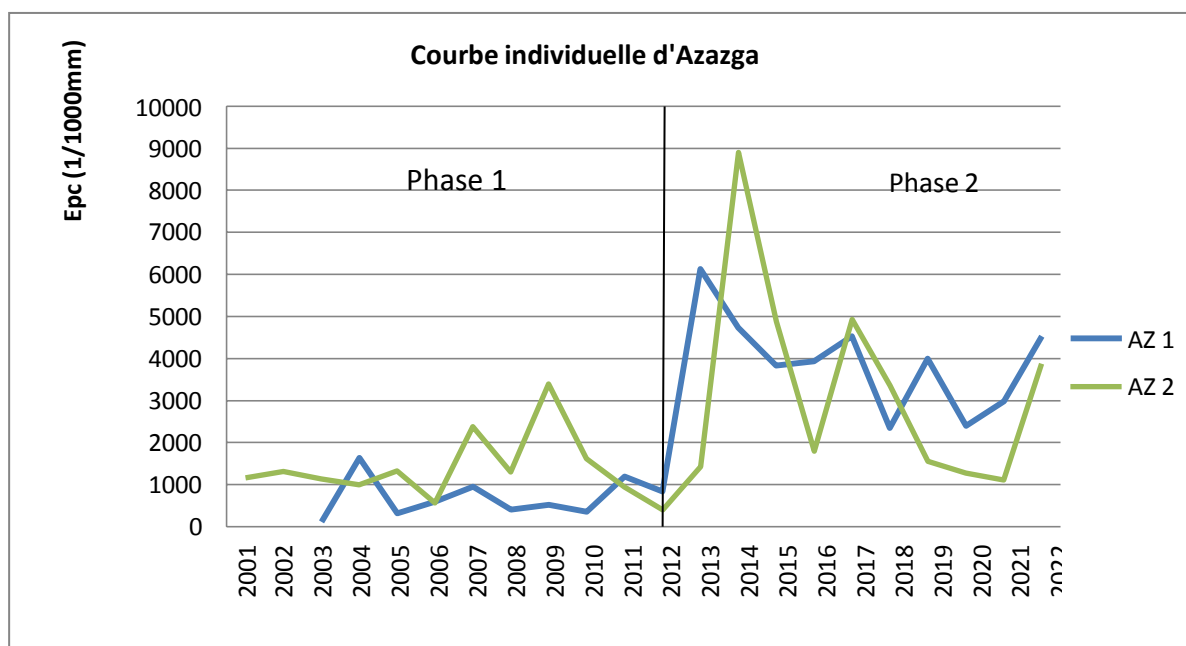


Figure 13 : Chronologies individuelles d'Azazga 1 et 2

Dans cette figure qui représente deux courbes individuelles pour la station Azazga, la courbe AZ1 présente deux phases. La première phase débute par une brève croissance, passant d'un minimum de 0,1 mm en 2003 à 1,63 mm en 2004, suivie d'un court déclin à chaque fois pendant 8 ans. La deuxième phase se caractérise par une croissance importante en 2012, atteignant une épaisseur de 0,84 mm, puis atteignant un maximum de 6,13 mm en 2013. Ensuite, il y a une décroissance de 2 ans, suivie d'une brève croissance et d'un déclin pendant de courtes périodes d'une ou deux années, jusqu'à la fin en 2022, avec une épaisseur de 4,53 mm.

La courbe AZ2 présente également deux phases qui sont presque identiques à la courbe AZ1. Elle montre une croissance importante dans la deuxième phase en 2012, avec une épaisseur de 0,4 mm, atteignant un maximum de 8,9 mm en 2014, suivi d'une décroissance progressive plus ou moins importante.

1.2. Chronologies de synthèses :

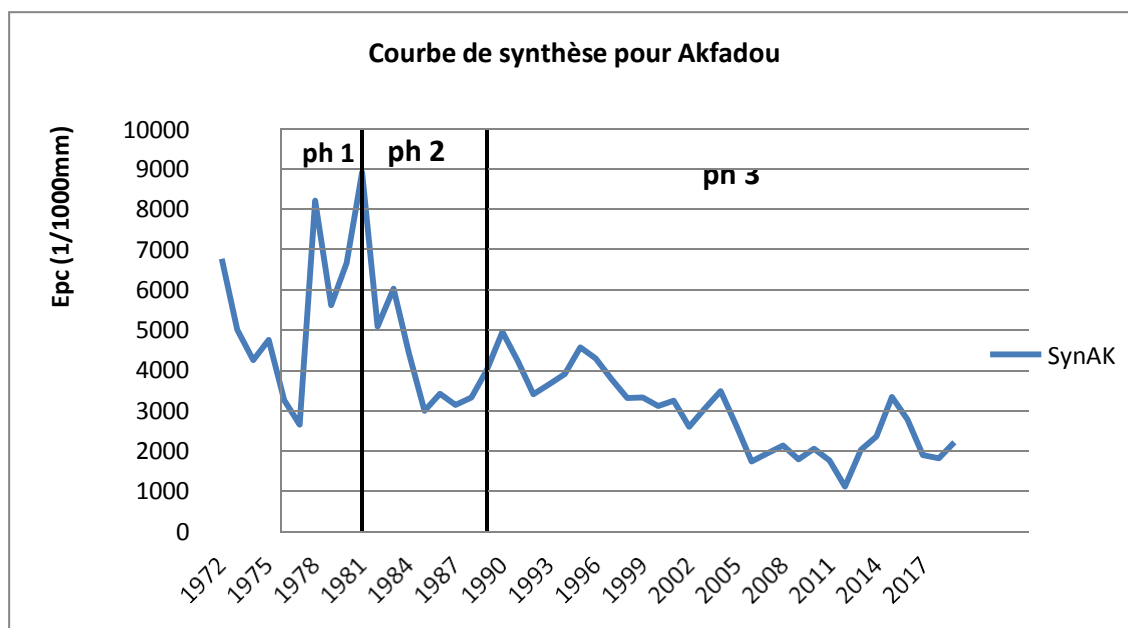


Figure 14 : Courbe de synthèse pour la station d'Akfadou

La courbe de synthèse pour la station d'Akfadou présente trois phases dont la première marque une variation décroissance remarquable, elle commence de l'épaisseur de cerne 6.76 mm en 1972 et termine par une épaisseur de 2.65 mm en 1977, cette dernière est le début de la 2 phase avec une croissance importante et remarquable qui atteint point maximum 8.91 mm en 1981 suivi directement d'un déclin progressif important jusqu'à la valeur 3 mm en 1985.

La troisième est une phase décroissante lente des épaisseurs et de relance dans des courtes périodes pour finir en 2019 par une épaisseur de 2.21 mm.

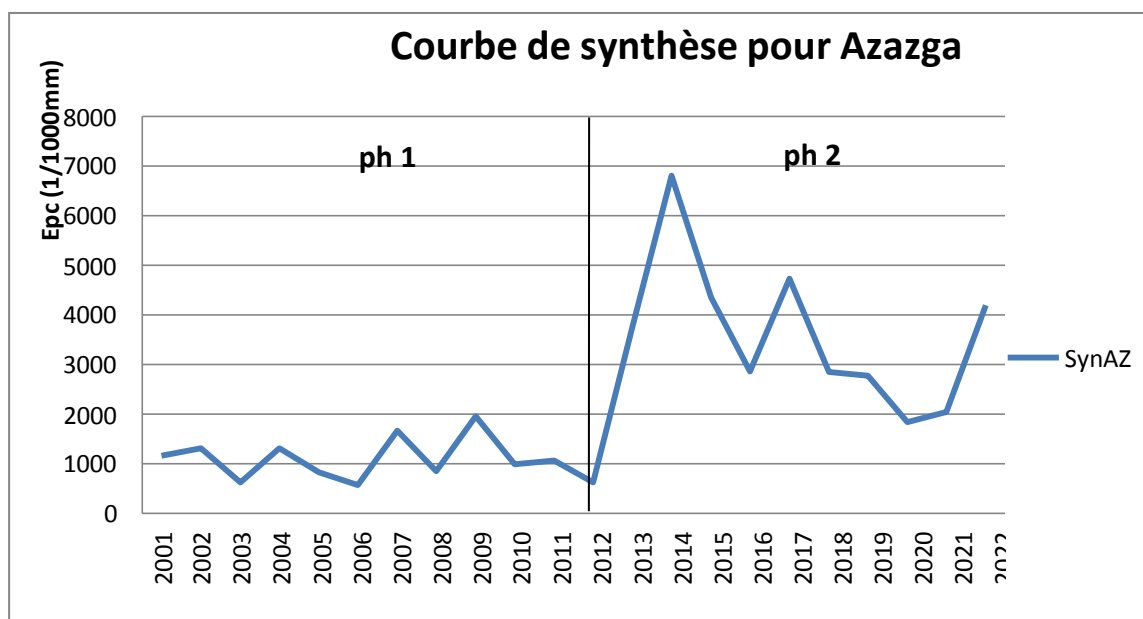


Figure 15 : Courbe de synthèse pour la station d'Azazga

La courbe de synthèse pour la station d'Azazga présente deux phases dont la première qui en remarque Que s'inscrit des changements d'épaisseurs durant toutes les années avec une courte croissance qui est suivi à chaque fois d'une courte décline du 2001 avec épaisseur 1.16 mm au 0.62 mm en 2012.

La deuxième phase elle commence par une croissance longue et importante jusqu'à atteint le point maximum 6.81 mm en 2014, puis suivi d'un déclin progressif jusqu'à 2020, après relance une autre fois jusqu'à la fin en 2022 avec l'épaisseur de 4.2 mm.

2. Paramètres statistiques et dendrochronologiques

A partir de différentes paramètres statistiques et dendrochronologiques que nous avons calculés pour les deux stations, Akfadou et Azazga, pour les chronologies individuelles et de synthèse, on observe une fluctuation des valeurs de l'épaisseur des cernes. Cette fluctuation montre que l'épaisseur minimale des cernes est de 0.7 mm pour la station d'Akfadou et de 0.11 mm pour la station d'Azazga, avec un maximum de 12.91 mm pour la station d'Akfadou et de 8.9 mm pour la station d'Azazga.

Tableau 01: Les paramètres statistique et dendrochronologiques des chronologies de sapin de Numidie

Paramètres statistiques et dendrochronologiques	Ak 1	AK 2	AZ 1	AZ 2
Age	41	47	19	21
ECM (1/1000 mm)	4178,81	2884,52	2142,35	2282,11
EC Min	1440	700	110	400
EC Max	12910	8210	6130	8900
Ecartype	2599,138	1342,47	1949,27	2071,84
CV %	62,20	46,54	90,99	90,79
SM individuelle	0,33	0,39	0,63	0,70
SM Synthèse	0,22		0,53	
CI	0,61		0,80	

2.1. Coefficient d'interdatation :

Les valeurs élevées du coefficient d'interdatation (tableau 1), égal au rapport de la sensibilité moyenne calculée sur la chronologie représentative de la population à la moyenne des sensibilités individuelles correspondantes (Schulman, 1956), ont été observées dans notre étude pour les stations étudiées. Pour la station Akfadou, le coefficient d'interdatation est de

0.61, tandis que pour la station Azazga, il est de 0.8. Ces résultats indiquent que le coefficient d'interdatation de la station Akfadou est plus faible que celui de l'autre station. Cette différence peut être attribuée à la réaction spécifique des individus aux conditions environnementales, en particulier au climat, qui est plus favorable dans la zone riche et fertile.

2.2. Sensibilité individuelle :

La sensibilité individuelle fournit une évaluation chiffrée de la variabilité de l'accroissement radial d'une année à l'année suivante à l'intérieur du même individu (dans notre cas, l'individu représente une placette). À partir du tableau, on remarque que les placettes az1 et az2 présentent les sensibilités individuelles moyennes les plus élevées, variant entre 0.63 et 0.69. En revanche, les autres placettes affichent des sensibilités individuelles moins élevées, variant entre 0.33 et 0.39. Cette différence peut s'expliquer par l'exposition des placettes, où le versant sud, plus chaud et recevant moins de précipitations que le versant nord, pourrait jouer un rôle.

2.3. Epaisseur moyenne des cernes :

On remarque que l'ECM présente des valeurs élevées dans les placettes ak1 et ak2, avec respectivement 4.18 mm et 2.88 mm. En effet, la placette ak1 est plus jeune, ce qui explique son ECM plus élevé de 4.18 mm.

En revanche, on observe des valeurs d'ECM plus faibles dans les placettes az1 et az2, qui sont proches l'une de l'autre avec des valeurs de 2.14 mm pour az1 et 2.88 mm pour az2. Cela suggère que l'effet de l'âge sur la croissance radiale des arbres ne peut être expliqué uniquement par ces valeurs d'ECM.

2.4. La sensibilité moyenne :

La sensibilité moyenne de chaque série de cernes joue un rôle d'indication sur l'intensité et le mode de réponse des arbres aux facteurs environnementaux, notamment aux facteurs climatiques (Fritts, 1976). Dans notre cas, la sensibilité moyenne la plus élevée est enregistrée dans la station d'Azazga (0.53), tandis que la plus faible est observée dans la station d'Akfadou. Cela indique que les arbres de cette station sont sensibles aux facteurs environnementaux.

2.5. Coefficient de variation :

Le coefficient de variation renseigne sur la variation des accroissements par rapport à la moyenne. Pour les deux stations, le coefficient de variation varie de 46.54% à 90.98%, ce qui traduit une forte variabilité des épaisseurs des cernes.

3. Analyse spatiale de la régénération :

Présentation de la densité par la méthode de smoothing (densité par unité de surface) :

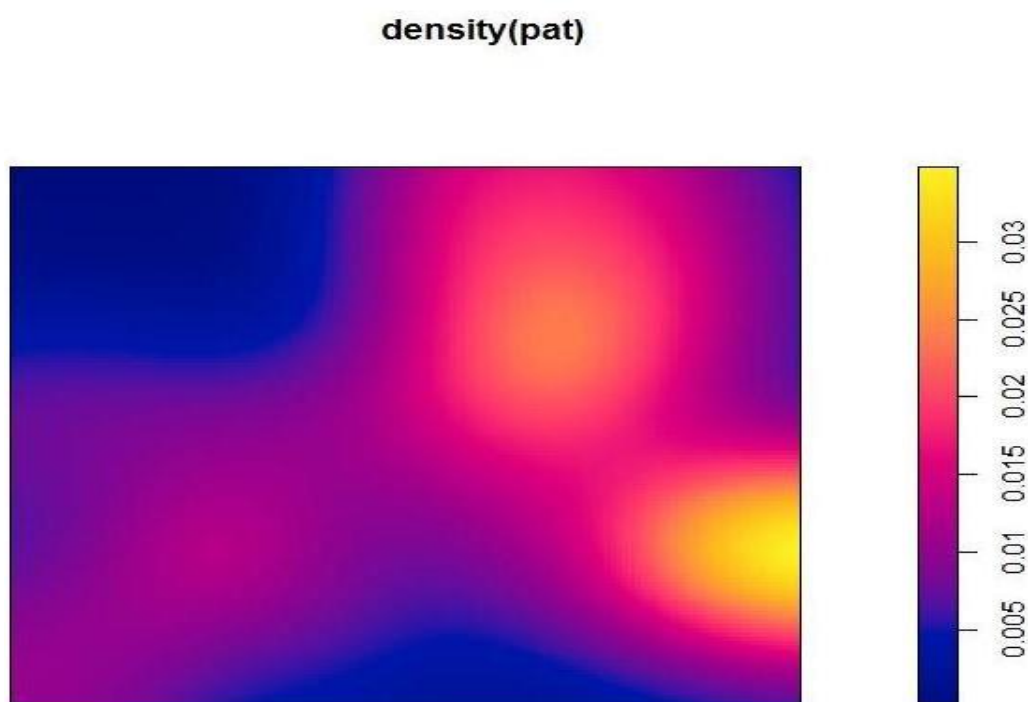


Figure 16 : La densité par unité de surface.

La figure 16, qui représente la densité par unité de surface permet d'identifier les zones à partir des couleurs. Cette figure montre que les zones de couleur bleu plus sombre indiquent une densité plus faible, de 0,005 par unité, tandis que les zones de couleur rose sombre présentent une densité moyenne allant de 0,01 à 0,025. Les zones de couleur jaune montrent une densité plus élevée de 0,03 par unité, où l'on trouve un grand nombre d'individus de sapin.

Validation du phénomène d'attraction (effet facilitateur) :

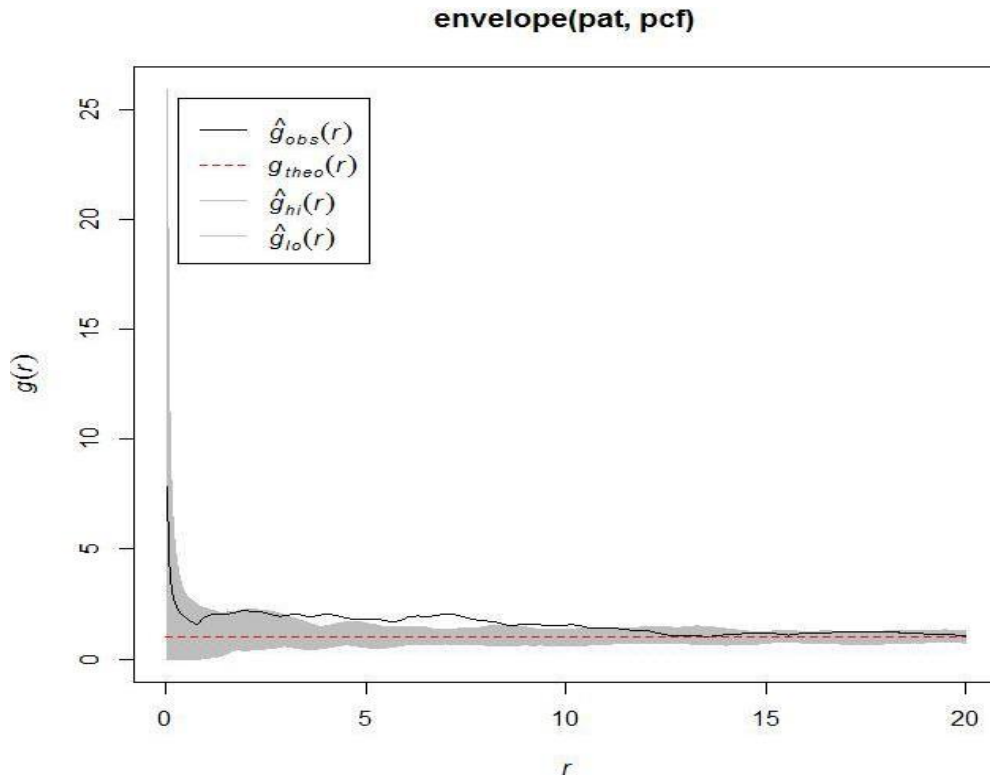


Figure 17 : Simulation de la fonction g de Ripley

La simulation de la fonction g de Ripley (figure 19) est un outil visuel qui permet de représenter graphiquement les résultats de l'analyse de la distribution spatiale des points.

Pour Ripley (1988), si la fonction gobs est supérieure à gtheo, nous sommes en face d'une agrégation spatiale des individus contenues dans les placettes. Cependant, après avoir évalué l'intervalle de confiance de la fonction g de Ripley, on peut dire que la répartition du peuplement est aléatoire ; il s'agirait probablement un effet de la compétition.

La figure 17 montre que la courbe représentant la fonction g de Ripley est supérieure à 0, ce qui signifie une agrégation spatiale des individus.

Représentation spatiale des arbres :

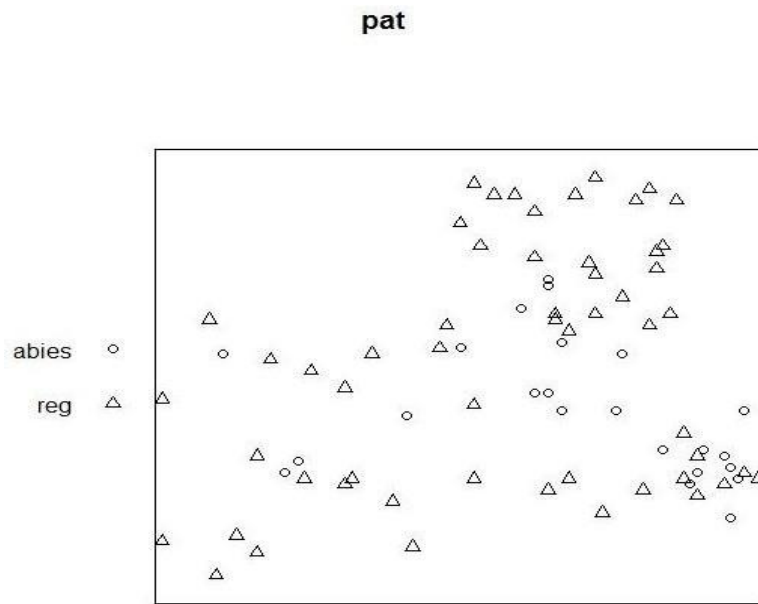


Figure 18 : Représentation spatiale des arbres et ces régénérations

La figure 18 montre la représentation spatiale des sapins et de leur régénération, ce qui indique que la disposition des individus n'est pas régulière. On remarque une agrégation des arbres entre eux. Il y a des zones où l'on trouve un grand nombre d'individus sans aucune régénération, tandis que dans d'autres zones, la régénération est plus élevée.

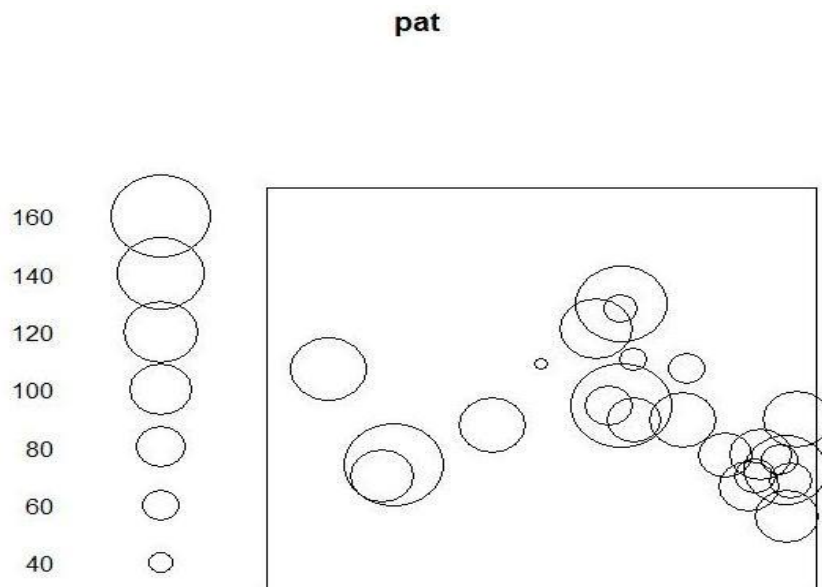


Figure 19 : Représentation des voisins en fonction de la surface tarière

Dans cette figure on remarque une augmentation progressive de la surface tarière des arbres de 40 à 160 mètre carrée, cela indique que plus la surface tarière est grande, plus les arbres sont susceptible d'être affectés négativement.

Calculs des distances :

À partir de (tableau 2), la distance par paire entre tous les points pairs, les valeurs minimales de distance sont de 1,41 m, et les valeurs maximales ne dépassent pas 37,2 m. En revanche, la distance au voisin le plus proche pour le sapin et sa régénération varie de 1 m en minimum à 10,19 m pour le sapin et 11,18 m pour sa régénération en maximum. Les quartiles, qui divisent un ensemble de données en quatre parties, représentant chacune 25% des données, montrent que les valeurs les plus basses de la distance par paire vont de 14,86 m au 1er quartile à 30 m, par rapport à la distance au voisin le plus proche qui va de 2 m au 1er quartile à 5,585 m au 3^e quartile.

Tableau 02 : Calculs des distances du sapin et sa régénération

	Min (M)	1^{er} quartile	2^{ème} quartile	3^{ème} quartile	Max
Distance par paire	1,41	14,86	22,83	30	37,2
Distance par voisin le plus proche pour le sapin	1	2	2,81	5,585	10,19
Distance par voisin le plus proche pour la régénération du sapin	1	2,23	3,6	5	11,18

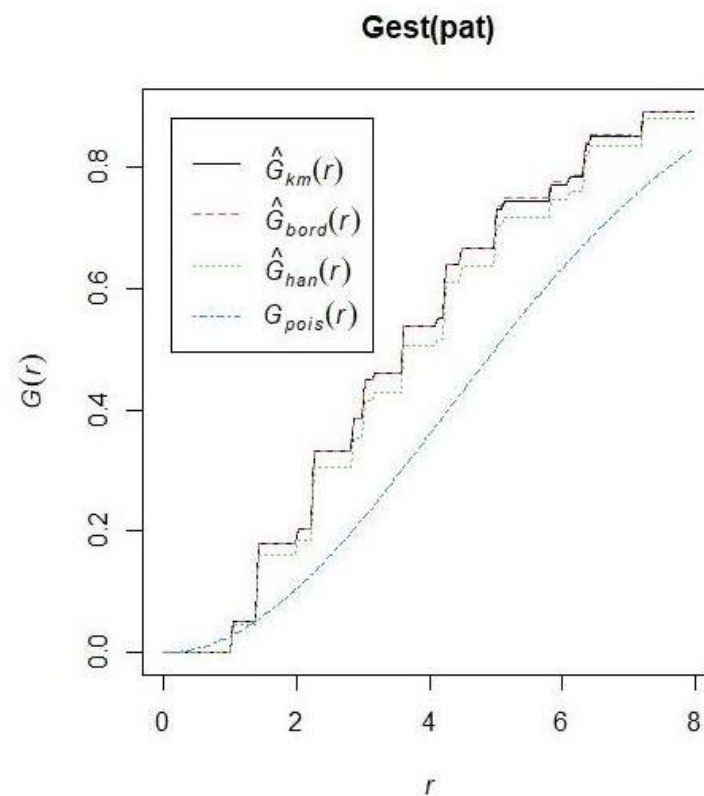


Figure 20 : Distances des sapins et leur régénération en fonction de la probabilité

A partir de cette figure on remarque que les distances de sapins et sa régénération ce n'est pas régulière. Et moins de 1 m de distance la probabilité de trouver une régénération est nul, ce que ne explique que les distances dans cette placette est agrégée.

Conclusion générale

En conclusion de cette étude approfondie sur la croissance radiale et l'analyse de la régénération du sapin de Numidie dans les stations d'Akfadou et d'Azazga, nous pouvons discerner plusieurs éléments cruciaux qui jettent une lumière significative sur la dynamique de cette espèce précieuse au sein de ces écosystèmes.

Tout d'abord, nos résultats mettent en évidence des différences notables dans la sensibilité moyenne des sapins de Numidie entre les deux stations. Avec une sensibilité moyenne de 0,22 pour Akfadou et de 0,53 pour Azazga, il est clair que la réaction de cette espèce aux conditions environnementales locales varie considérablement. Ces disparités soulignent l'importance de prendre en compte la variabilité géographique dans les efforts de conservation et de gestion.

De plus, les coefficients d'interdatation significatifs de 0,6 pour Akfadou et 0,8 pour Azazga indiquent une forte corrélation entre la croissance annuelle et la croissance de l'année précédente chez les sapins de Numidie. Cette corrélation souligne leur sensibilité aux conditions environnementales et met en évidence le besoin de mettre en place des mesures de gestion forestière adaptative pour maintenir des conditions optimales de croissance.

Un aspect particulièrement pertinent de cette étude est la constatation que la régénération du sapin de Numidie n'est pas régulière, et que la probabilité de trouver une régénération est nulle à moins de 1 mètre de distance. Cette observation met en lumière les défis spécifiques auxquels est confrontée la régénération de cette espèce et souligne la nécessité d'adopter des stratégies de conservation ciblées, notamment la protection des zones de régénération et la réduction des perturbations humaines à proximité.

La gestion durable de ces écosystèmes forestiers uniques est essentielle pour garantir la pérennité de cette espèce précieuse dans la région.

Références bibliographiques

ANONYME, 1988 : Étude d'aménagement de la forêt domaniale de l'Akfadou ou, wilaya de Tizi-Ouzou et Bejaia. Etude du milieu. B.N.E.F. 90p

Barbero M., Loisel R. et Quezel P. et Quezel, 1995 : Les essences arborées des îles méditerranéennes : leur rôle écologique et paysager. Ecol. Médit., 20 (1/2) : 53-69.

Barbero, M., Loisel, R., Médail F. et Quézel, P., 2001: Signification biogéographique et biodiversité des forêts du bassin méditerranéen. - *Boccone* **13**: 11 -25.

Duckrey M., 1998 : Aspects ecophysiologiques de la réponse et de l'adaptation des sapins méditerranéens aux extrêmes climatiques: gelée printanières et sécheresse estivale. Forêt méditerranéenne t.XIX, n°2.

Durand J.H. (1950). Sur quelques sols de la forêt de l'Akfadou et des environs de Yakouren. Direction du service de la colonisation et de l'hydraulique (gouvernement générale d'Algérie).

Elwes et Henry: the trees of Great Britain and Ireland. 1906-1913. 15 parts in 7 volumes

Flous, 1936 : La classification naturelle des Pinacées.

FRITTS H. C., 1976: Tree rings and climate. *Ed. Academic press, San Diego, pp 567-582*.

Gausson H., 1949 : L'influence du passé dans la répartition des gymnospermes de la péninsule Ibérique. Ext. Compte-rendu du XVI Cong.Int.de Géog. Lisbonne, (806-822).

Gausson H., 1964 : Les gymnospermes actuelles et fossiles. *Trav. Lab. For. Univ. Toulouse, (7), (321-480)*.

Gelard J.P. (1978). Carte géologique du nord-est de la Grande Kabylie, schéma structural, échelle 1/2.105. Travaux du laboratoire associé au C.N.R.S. N°157.

Hachi-illoul, M., 2016 : Variabilité morpho-anatomique, diversité génétique, potentiel de régénération et efficacité de la production grainière du sapin de numidie (*abies numidica* de lannoy) en plantation (cas de serraidi) Annaba. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.

Kolai L., 1986 : La sapinière d'*Abies numidica* dans les monts Babors. *Ann.Rech.For, INRF Bainem (Algérie) : 85-97*.

LARIBI M., 1999 - Contribution à l'étude phytosociologie des formations caducifoliées à *Quercus canariensis* wild. Tt Q. afares Pom. Du massif forestier d'Ath Ghorbi – Akfadou, thèse

magistère en agronomie. Université de Tizi-Ouzou, 156 p.

LEBOURGEOIS F & MERIAN P., 2012: Principes et méthodes de la dendrochronologie. agro Paris Tech, ENGREF. 88p

Messaoudene M. (1989). Dendroécologie et productivité de *Quercus afares* Pomel et *Quercus canariensis* Willd dans les massifs forestiers de l'Akfadou et Béni Ghobri en Algérie. Thèse de Doctorat Université D'Aix Marseille III, 123p.

Messaoudene M. Laribi M. Derridj A. (2007). Étude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou (Algérie). - Bois et Forêts des Tropiques, n° 291(1), p 75-81.

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 N., 1986 : Etude de la croissance radiale du chêne afares (*Quercus afares pomel*) dans la forêt d'Akfadou et Beni Ghobri (Tizi-Ouzou). Rapport de D.E.A., univ d'Aix Marseille III, fac de St Jérôme, 38 P.

MESSOUDENE M. Et TESSIER L. (1991) : Croissance radiale de *Quercus canariensis* Willd. et *Quercus afares* Pomel. En Kabylie (Algérie). *Ecologia Mediterranea*. p119-133.

MUNAUT A.V., BERGER A.L., GUIOT G. et MATHIEU L., 1978 : dendroclimatological

Parde L., 1937 : Les conifères. La maison Rustique (64-93).

Quezel P. 1985 : Les Sapins du pourtour méditerranéens. *For. Médit.*, 7(1), 27-34.

Quezel, P. & Santa S. 1962-1963 : Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions

Rabhi KH, 2009 : Contribution à l'étude du comportement du châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) dans l'Akfadou par l'approche dendroécologique. ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH –ALGER.p (52-54).

SCHULMAN E., 1940. A Bibliography of tree ring analysis. *Tree-Ring Bull.*, 6 (4), 26-39. studies on cedars in Morocco. Evolution des atmosphère planétaire et climatologie de la terre ; CNRS, Nice, pp 373-378.

TESSIER L., 1982 : Analyse dendroclimatologique comparée de six populations de *Pinus*

Références bibliographiques

silvestris (L) dans la Drôme. *Ecologia Mediterranea*, tome VIII (fascicule 3), pp 184-202.

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

Tlili-Ait Kaki Y., S. Bennadja et Chefrou A., 2013 : Revalorisation d'une essence endémique : le sapin de Numidie (*Abies numidica*). *Fl. Medit.* 23 : 123-129.

U.I.C.N.2008 : listes des plantes rares et menacées des états du bassin méditerranéen. Athènes.

Résumé

Le sapin de Numidie (*Abies numidica*) se trouve dans l'état naturel uniquement dans les monts de Babors et Tababors, et cet endémisme lui confère une toute autre valeur, c'est un bien naturel rare qu'il faut conserver et protéger et le présent travail consiste à déterminer le processus de la croissance et la régénération naturelle du sapin de Numidie au niveau du lac noir.

La méthode de recherche que nous avons employée se divise en deux volets distincts. Tout d'abord, nous avons entrepris une étude de la croissance radiale en prélevant deux carottes de la station Akfadou et deux rondelles de la station Azazga. Par la suite, nous avons mesuré la largeur des cernes à l'aide de l'appareil LINTAB 5.

La seconde partie de notre étude s'est concentrée sur l'analyse spatiale de la régénération du sapin de Numidie (*Abies numidica*) au sein de l'arboretum du lac noir, situé dans la forêt domaniale de l'Est d'Akfadou.

Les résultats de nos recherches ont révélé des différences significatives dans la réaction moyenne des sapins de Numidie dans les deux stations étudiées. Avec une sensibilité moyenne de 0,22 pour Akfadou et de 0,53 pour Azazga, il est évident que cette espèce réagit de manière substantiellement différente aux conditions environnementales locales. Les coefficients d'interdatation significatifs de 0,6 pour Akfadou et 0,8 pour Azazga indiquent une forte corrélation entre la croissance annuelle et la croissance de l'année précédente chez les sapins de Numidie.

Un aspect particulièrement pertinent mis en évidence par cette étude est le constat que la régénération du sapin de Numidie n'est pas uniforme, et que la probabilité de trouver une nouvelle génération est pratiquement nulle à moins d'un mètre de distance.

Mots clés : *Abies numidica*, forêt domaniale de l'Akfadou-est, paramètres dendrochronologiques, climat, régénération naturelle.

Abstract

The Numidian Fir (*Abies numidica*) is found in its natural state exclusively in the Babors and Tababors mountains, and this endemism confers upon it an entirely different value; it is a rare natural asset that must be preserved and protected. The current work aims to determine the process of growth and natural regeneration of the Numidian Fir at Lake Noir.

The research method we employed is divided into two distinct parts. Firstly, we conducted a study of radial growth by extracting two core samples from the Akfadou station and two cross-sections from the Azazga station. Subsequently, we measured the width of the tree rings using the LINTAB 5 device.

The second part of our study focused on the spatial analysis of the regeneration of the Numidian Fir (*Abies numidica*) within the arboretum of Lake Noir, located in the state forest of Akfadou-East.

The results of our research revealed significant differences in the average response of Numidian Firs in the two stations studied. With an average sensitivity of 0.22 for Akfadou and 0.53 for Azazga, it is clear that this species reacts substantially differently to local environmental conditions. The significant interdating coefficients of 0.6 for Akfadou and 0.8 for Azazga indicate a strong correlation between annual growth and growth in the previous year in Numidian Firs.

A particularly relevant aspect highlighted by this study is the observation that the regeneration of the Numidian Fir is not uniform, and the probability of finding a new generation is practically zero within a distance of less than one meter.

Keywords: *Abies numidica*, Akfadou-East state forest, dendrochronological parameters, climate, natural regeneration.