

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Mémoire

De fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme Master en Sciences Agronomiques

Spécialité : **Ecologie Forestière**

Thème

Etude de la productivité stationnelle du cèdre de l'Atlas à Tala-Guilef
par le biais d'un modèle de croissance hauteur dominante
en fonction de l'âge

Présenté par : KHALES Fatiha

Devant le jury :

Présidente : KROUCHI Fazia

Promoteur : RABHI Khellaf

Co Promotrice : AMIRAT Yassina

Examineur : AIT SAID Samir

Professeur à l'UMMTO

Professeur à l'UMMTO

MAA à l'UMMTO

MCA à l'UMMTO

Année académique 2021 – 2022

Remerciements

Avant toute chose je tiens à remercier ALLAH le tout Puissant qui m'a donné la santé, la force, le courage, la patience et les moyens durant toutes ces années d'étude afin que je puisse réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier particulièrement mon promoteur Monsieur *RABHI K* Professeur à l'Université Mouloud Mammeri, d'avoir accepté de diriger ce travail avec beaucoup d'attention et de soin. Je tiens à le remercier pour ses orientations, ses conseils pertinents, et pour la confiance qu'il m'a accordé pour réaliser ce modeste travail.

Mes vifs remerciements sont adressés à ma Co-promotrice Madame *AMIRAT Y* Maître Assistante à l'Université Mouloud Mammeri, pour m'avoir accordé toute sa confiance en acceptant de diriger ce travail.

Je tins à remercier Madame *KROUCHI F* Professeur à l'Université Mouloud Mammeri, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Ma gratitude va aussi à Monsieur *AIT SAID S* Maître de Conférence à l'Université Mouloud Mammeri pour m'avoir fait l'honneur d'examiner mon travail.

Dédicaces

Il est agréable au moment de présenter ce travail d'adresser mes dédicaces à ceux qui m'ont fait voir le bon côté des choses quand je ne voyais seulement que le pire, mes précieux parents, ma plus grande force dans la vie.

A mes chers frères, Belkacem mon bras droit, Abdarezak et notre

Petit ange Brahim.

A ma chère et unique sœur Lamia

A ma copine Dahbia

Figure 01 : Les caractères botanique de cèdre de l'Atlas.....	3
Figure 02 : Une grume de cèdre de l'Atlas	8
Figure 03 : Situation géographique du PND.....	19
Figure 04 : Carte de secteur de gestion de PND.....	20
Figure 05 : Le cèdre de Tala Guilef	21
Figure 06 : Les instruments forestiers dendrométriques.....	24
Figure 07 : LINTAB 5.....	25
Figure 08 : Représentation graphique de la hauteur en fonction d'âge pour le cèdre de l'Atlas	29
Figure 09 : Représentation d'histogramme de distribution des résidus pour le modèle obtenu.....	31
Figure 10 : Représentation de tracée Normale (Droite de Henry) des résidus.....	32
Figure 11 : Nuage des points en fonction des valeurs prévues	32
Figure 12 : Les classes de fertilité en fonction de l'âge et la hauteur dominante	33
Tableau 01 : Les classes de fertilité des stations étudiées.....	34
Tableau 02 : Productivité de quelques cédries.....	36

- **a et b** sont coefficient de régression
- **a_i** est un paramètre libre
- **C, d,e**, sont des paramètres ajustés statiquement à l'ensemble du faisceau
- **Cht**= Chelata
- **CMR**= carré moyen résiduel
- **DGF**=Direction générale des forêts
- **exp** = la fonction exponentielle
- **ESR** = l'erreur standard relative
- **F(g)**= fonction d'âge
- **h**, hauteur estimée par le modèle testé
- **h**, hauteur observée
- **H**= La hauteur de l'arbre
- **Hdom**=hauteur dominante
- **hest**= c'est l'erreur estimée
- **hobs** = c'est l'erreur observée
- **K1** est un paramètre libre dépendant de l'arbre, il représente la hauteur de l'arbre atteinte à un âge avancé
- **K₂** et **K₃** sont des coefficients d'ajustement des courbes
- **IS**=Indice de Site
- **Moy**= Moyenne
- **MO** = Matière Organique
- **n** = c'est le nombre couple âge/hauteur
- **p**= nombre de paramètres du modèle testé
- **PND**=Park Nationale du Djurdjura
- **PT** = volume d'un peuplement
- **R²**=Coefficient de détermination
- **SCR**= la somme des carrés des résidus
- **SCT**= la somme totale des carrés
- **TG**= Tala Guilef
- **TK**=Tikejda
- **TO**= Tizi Oujavouve
- **Trd**= Tirourda

- **UICN**=l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature
- v_e = éclaircie
- v_p = volume des peuplements sur pied
- **VR**=Variance résiduelle

Introduction générale.....	1
<u>Chapitre I: Présentation de l'espèce</u>	
1. Aperçu historique sur le cèdre de l'Atlas.....	2
2. Les caractéristiques botaniques et dendrologiques.....	2
2.1. Les aiguilles	2
2.2. Les cônes	2
2.3. L'écorce	3
2.4. Le port	3
2.5. Le tronc	3
2.6. L'enracinement	3
2.7. La longévité.....	3
3. La capacité germinative des graines.....	4
4. La fructification.....	4
5. Le cycle de production	5
6. La régénération naturelle du cèdre de l'Atlas	5
7. Le dépérissement du cèdre de l'Atlas et ces facteurs	5
8. La sensibilité aux maladies et ravageurs.....	6
9. Les conditions climatiques.....	7
10. Le bois du cèdre.....	7
10.1. La rétractibilité	7
10.2. La couleur du bois de cèdre de l'Atlas	7
10.3. Propriété papetière.....	8
10.4. Les défauts du bois de cèdre de l'Atlas	8
10.5. L'importance économique du bois de cèdre de l'Atlas	8
<u>Chapitre II: Modélisation forestière et concept de productivité</u>	
I. La modélisation forestière	9
1. L'objectif de la modélisation	9
2. Historique des modèles	9
3. Critères de justification des modèles	10
4. Modélisation de la structure des peuplements forestiers.....	10
II. Concept de la productivité.....	12
1. Définition de la productivité	12
2. Définition de la fertilité	13

3. La liaison entre productivité et fertilité	13
4. Fertilité des stations forestières	13
4.1. Estimation de la fertilité	13
4.2. Types de la fertilité	13
4.2.1. La fertilité pédologique	13
4.2.2. La fertilité écologique	14
4.3. Les paramètres qui modifient la fertilité de la station	14
4.3.1. Les paramètres pédologiques.....	14
4.3.2. Les paramètres écologiques.....	15
4.4. Les paramètres qui permettent l'estimation de la fertilité	16
4.4.1. La croissance radiale	16
4.4.2. Le coefficient d'asymétrie	16
4.4.3. La classe modale	16
4.4.4. La hauteur dominante	16
5. La relation productivité hauteur dominante	16

Chapitre III: La zone d'étude

1. Le parc national de Djurdjura	19
1.1. La situation géographique et administrative de PND.....	19
1.2. Climat et bioclimat	20
2. Le secteur de Tala Guilef.....	21
2.1. La situation géographique de Tala Guilef	21
2.2. Topographie et reliefs de Tala Guilef	21

Chapitre IV: Matériels et méthodes

1. L'objectif de l'étude	23
2. Les mesures dendrométriques.....	23
3. Le carottage des arbres	23
4. La méthodologie appliquée.....	25
4.1. Le choix du modèle	25
4.1.1. Le modèle de Chapman Richards.....	25
4.1.2. L'ajustement du modèle de Chapman Richards	25
4.1.3. Précision d'ajustement	26
4.1.4. Les modèles de types Chapman Richards.....	26
4.2. Procédure d'estimation.....	26

5. Les critères de validation	27
5.1. Le coefficient de détermination (R^2).....	27
5.2. La variance résiduelle (VR).....	27
5.3. La normalité des résidus	27
5.4. Homoscédasticité	28

Chapitre V: Résultats et discussion

I. Résultats obtenus et interprétation.....	29
1. Estimation du modèle de Chapman Richards.....	29
2. Qualité du modèle	30
2.1. Les tests arithmétiques.....	30
2.2. Les tests graphiques	31
3. Fertilité de la station	33
3.1. Les classes de fertilité	33
3. 2. La fertilité des placettes et l'indice de site "sit index" (SI).....	33
II. Discussion.....	35
Conclusion.....	38

Références bibliographiques

Résumé

Introduction générale

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica Manetti*) est une espèce résineuse et montagnarde, qui existe depuis des millénaires, occupe des surfaces d'importance inégale et forme spontanément trois blocs géographiques distincts, Afrique du Nord (Algérie et Maroc), Asie mineure et Himalaya (Mhirit, 1999). Il est classé par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) dans la liste rouge des espèces en voie de disparition. (Laaribya et Alaoui, 2021).

Cette espèce suscite un intérêt grandissant pour ses nombreuses qualités forestières et ornementales : faible inflammabilité, rusticité, richesse écologique, bois de qualité supérieure à celle des Pins méditerranéens, port remarquable et esthétique, attrait touristique en forêt de plaisance, etc. (Toth, 1980 in Krouchi, 2010).

Cette espèce a fait l'objet de plusieurs de recherche dans plusieurs domaines : biogéographique, phytosociologique, phytoécologique, eco-physiologique, génétique, fructification, régénération, production ligneuse et productivité.

La hauteur dominante à un âge de référence est le critère le plus pratique qui permet de classer les peuplements dans l'échelle de fertilité et d'estimer la production totale (Bentouati, Oudjehih, 1999).

Notre étude est complémentaire des travaux déjà réalisés dans d'autres cédraies.

L'objectif de ce travail est d'étudier la productivité de cèdre de l'Atlas dans cinq régions forestières au Djurdjura par le biais de l'âge et de la hauteur dominante, pour mieux comprendre la dynamique de la croissance en hauteur de ces peuplements naturels et reboisés et connaître les potentialités de production de cette espèce.

Les différentes parties du manuscrit sont les suivantes :

- Introduction générale ;
- Chapitre 1. Présentation de l'espèce ;
- Chapitre 2. Modélisation et concept de productivité ;
- Chapitre 3. La Zone d'étude ;
- Chapitre 4. Matériels et méthodes ;
- Chapitre 5. Résultats et discussion ;
- Conclusion générale.

Chapitre I

Présentation du cadre de l'atlas

1 .Aperçu sur le cèdre de l'Atlas :

Le cèdre de l'Atlas a pour noms berbères Inguel ou Avaoual et pour noms arabes, El arz ou El medad. Cette dernière appellation arabe viendrait du fait que les branches de l'espèce ploient sous le poids de la neige au lieu de se casser (Krouchi, 2010). Elle est considéré comme une plante à graines (Spermatophytes), elle fait partie des plantes à ovules nus (Gymnospermes), il appartient à la classe des Vectrices, ordre des Coniférales et la famille des Pinacées (Toth, 2005 *in* Djoumi, 2018).

Le cèdre de l'atlas est une espèces arborées qui a jouée un rôle important dans les écosystèmes durant l'holocène, l'ensemble des études montrent que cette espèce était présente tout au long de la période glaciaire, mais en fait tout à fait régressé pendant l'holocène (Semah, 2004 *in* Madjour, 2015). Selon les critères bio-morphologiques, le cèdre de l'Atlas est l'une des quatre espèces du genre *Cedrus* et les autres espèces sont: *Cedrus atlantica* Manetti au Maroc et en Algérie, *Cedrus libani* au Liban, en Syrie et en Turquie, *Cedrus brevifolia* Henry à Chypre (figure 01), *Cedrus deodara* Loud en afghanistan et dans l'Himalaya occidental (Aussonac, 1984).

2. Les caractéristiques botaniques et dendrologiques :

2.1. Les aiguilles:

Les feuilles du cèdre de l'Atlas (cf. fig b01.) sont sous forme des aiguilles (aciculaires), raides et fines, peu aigues et de couleur verte ou glauque (Mhirit, 2006 *in* Nourine et Fergane, 2017), elles varient du vert bleuté au vert foncé selon les individus. Cette différence de couleur est due à l'apparition d'une pruine sur les aiguilles. (Boudy, 1952 *in* Krouchi, 2010).

La longueur des égailles est de 25mm en général, et vivent trois ans (Debazac, 1964 *in* Krouchi, 2010). Elles sont persistantes (1/3 des aiguilles tombent tous les ans) et sont disposées en rosettes (Demarteau, *et al*, 2007). Selon Krouchi, (2010), le rameau qui porte les rosettes d'aiguilles peut être court ou long, Quand il est court, c'est qu'il est peu verticillé.

2.2. Les cônes :

Les cônes du cèdre de l'Atlas (cf. fig a01) constitués d'écailles disposées en spirale, les cônes mâles et femelles sont séparés, mais portés par le même spécimen (plante monoïque). Les écailles des cônes mâles et femelles portent respectivement deux sacs polliniques à leur face inférieure et deux ovules à la face supérieure. (Demarteau *et al*, 2007). Le cèdre de l'Atlas donne des graines fertiles jusqu'à un âge avancé (Boudy, 1952 *in* Derridj, 1990 *in* krouchi, 2010).

2.3. L'écorce :

L'écorce est épaisse (cf. fig c01), rugueuse de couleur noirâtre (Mhirit, 2006 *in* Djoumi, 2018).

2.4. Le port :

Le cèdre possède dans son jeune âge un port pyramidale, puis avec l'âge son port s'étale pour prendre une forme tabulaire .Le fût du cèdre est rectiligne. (Boukhelifa , 2014)

2.5. Le tronc :

Le tronc du cèdre (cf. fig f01) est monopodial à croissance rythmique (Barthelmy et al, 1989 *in* sabatier et Barthelemy, 1994 *in* krouchi, 2010). Selon Amari (1997), l'utilisation d'un tronc agé (60 à 80 ans) donnait de meilleur rendement en concrète qu'un bois issu d'un tronc plus jeune (30 ans)

2.6. L'enracinement :

Le système racinaire du cèdre (cf. fig d01) est puissant et profond. Les racines obliques sont très fortes et occupent les sols profonds et humides (Toth, 1970 *in* Djoumi, 2018). La profondeur racinaire est comprise entre 14 et 20 cm au bout d'une année pour les nouveaux plants et quand le sol est peu profond ou présente des obstacles, l'enracinement devient latéral, provoquant des chablis. (Toth, 1978).

2.7. La longévité :

D'après Derridj, 1990 *in* krouchi (2010). La longévité dépasse certainement 600à 700 ans (cf. fig e01). On lui attribue même 1000 ans et plus, ce qui est très possible (il y a des arbres de 12 à 15 m de tour).



a- Les cônes du cèdre de l'Atlas



b- les aiguille en bouquet (khales, 2022)

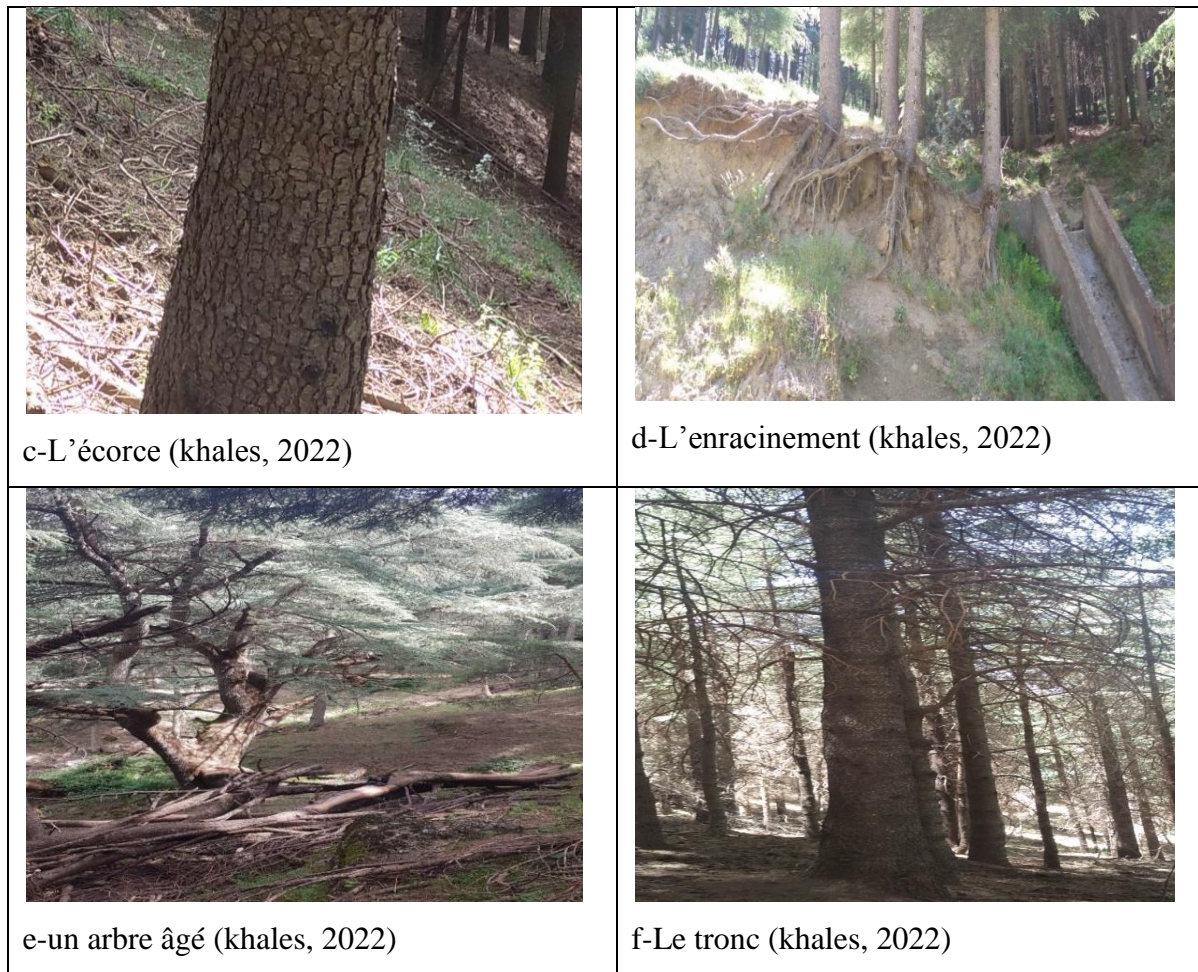


Figure 01 : Les caractères botaniques du cèdre de l'Atlas

3. La capacité germinative des graines :

D'après krouchi(2010), le poids de la graine, la date de récolte, la provenance, le séjour ou le froid sec, le froid humide, et le traitement hormonal, sont les facteurs qui peuvent gérer la capacité germinative des graines du cèdre de l'Atlas. Un séjour au froid humide de 48 heures suffit à lever la dormance des graines de cette espèce, et cette démarche aide pratiquement les forestiers et les pépiniéristes.

4. La fructification :

La fructification est un paramètre très important caractérise les arbres du cèdre de l'Atlas, qui se commence de 35 à 40 ans. Et les cônes sont abondants à partir de 60 ans. La fécondation des fleurs a lieu en automne et le cône est mur à l'automne de la 3eme année. La graine épanchée passe l'hiver en stratification sous la neige. Le gel est important pour la désarticulation et la dissémination des graines, et l'absence des gelées à faible altitude pouvant compromettre la régénération des peuplements (Boudi, 1952).

5. Le cycle de reproduction :

Selon krouchi(2010), Le cycle de reproduction du cèdre de l'Atlas dure deux ans, il commence par une initiation florale durant l'été de l'année et une pollinisation d'automne de la même année. En suite, la fécondation se fait après la dormance hivernale qui s'accompagne d'une augmentation du poids du cônelet fécondé, qui acquiert sa maturité morphologique à la fin septembre de l'année suit la désarticulation des cônes qui se fait en automne de l'année. D'après le même auteur, les graines dispersées en automne séjournent au sol durant l'hiver et peuvent être recouvertes d'une couche de neige qui leur assure une sorte de stratification au froid humide les préparant à la germination au cours du printemps suivant.

6. La régénération naturelle du cèdre de l'Atlas :

La régénération est la condition fondamentale de la pérennité des peuplements, elle est semis à des contraintes climatiques étroites, déterminés par des exigences vis-à-vis de l'eau, du sol, du froid. Ces trois facteurs sont les plus importants pour assurer une bonne croissance (Madjour, 2015).

Certaines études montrent l'importance du gel pour la désarticulation et la dissémination des graines, et l'absence de gelées à faible altitude pouvant compromettre la régénération des peuplements et constituant ainsi une limitation à la pérennité des reboisements en conditions climatiques trop douces et le semis de cèdre peut être confronté selon les cas, à des froids tardifs, une sécheresse précoce, des froids précoces ou à une combinaison de ces trois contraintes climatiques (Aussenac, 1984).

La strate herbacée peut avoir des rôles antagonistes sur le développement des semis. Dans les milieux ouverts, en période humide et au début des germinations, elle joue un rôle d'écran vis-à-vis des rayons lumineux. Mais, en période estivale, les herbacées concurrencent fortement les semis pour l'eau et la nutrition minérale. (Nambiar, 1993 et *al in* Addar et al, 2016).

Les facteurs de réussite de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas notamment les facteurs du milieu tels que: un sol profond, des températures minimales et maximales propices, une importante lame de précipitations annuelle avoisinant 600 mm, une faible concurrence des semis et l'importance de l'éclairement due au recouvrement et à l'exposition ainsi la bonne fructification et la qualité des graines produites (Madjour, 2015).

7. Le dépérissement du cèdre de l'Atlas et ces facteurs :

Le cèdre possède une valeur écologique irremplaçable, mais il est subi à une dégradation continue, Cette dégradation plus ou moins accélérée des peuplements et l'éclaircissement progressif des strates arborescentes font évoluer la cédraie vers une structure de végétation de type pré forestier et naturalisation (Quézel, 1998 *in* Bentouati, 2008). Le dépérissement

caractérise plus les cédraies méridionales, en contact avec l'Atlas saharien où les taux de dépérissement varient de 30 à 85%.) (Messaoueden et al, 2013).

Les symptômes commencent par un dessèchement de la cime engendrant un jaunissement et une chute des aiguilles de l'arbre qui descend progressivement vers le bas, dans ce cas là présentent des signes d'affaiblissement au niveau des rameaux et ce phénomène attaque les sujets les plus âgés et moins vigoureux (Moukouri, 2006 in Bentouati ,2008). Les causes de cette dégradation est multiples, elles sont liées à la fois aux facteurs prédisposant (sécheresse, stress hydrique, influences sahariennes âge des arbres, potentiel génétique), facteurs déclenchant (l'action humaine par le biais du surpâturage et les incendies, de l'exploitation non contrôlée, des coupes illicites et enfin à la nature de certains types de substrats ainsi les facteurs aggravants comme les insectes xylophages et aussi les défoliateurs et les champignons qui sont fréquemment observées sur les arbres dont la vitalité a diminué ou sur des arbres déjà morts selon Kherchouche (2013).

8 .Sensibilité aux maladies et ravageurs:

Le nombre d'insectes qui vivent aux dépens des essences forestières est estimé à plusieurs milliers d'espèces, représentant autant d'ennemis potentiels dont certains deviennent périodiquement ou localement de redoutables ravageurs (Chararas, 1962 in Abdelhamid et Benfekih, 2017).

D'après l'étude d'abdelhamid et Benfekih, (2017), parmi les 47 espèces d'insectes rencontrés sur le cèdre de l'Atlas, il y a des espèces qui se nourrissent à partir des aiguilles ou dans le bois de l'arbre et d'autres vivent aux dépend de la faune de la plante hôte et certaines d'autres se rencontrent sur l'arbre parce qu'elles y trouvent des conditions propices à leur développement et en fin un groupe d'insectes qui utilise le cèdre comme refuges.

Le pathogène opportuniste et de blessure Parmi les pathogènes *diplodiasapinea*(Ss) qui est observé sur les sujets affaiblis ou blessés et pourrait ce développer dans un contexte d'augmentation des températures et d'épisodes plus fréquents d'affaiblissement des arbres (Coubert, Lagacherie et al, 2016). Le même auteur indique une vigilance particulière s'impose pour ce qui concerne le fomes (Ha), et les dégâts observés sur les cèdres sont actuellement importants dans les parcelles déjà contaminées ou celles déjà n'ayant pas fait l'objet de traitement préventif des souches.

Selon Dikrallah (2007), la dégradation biologique due à deux champignons lignivores (*Ungulina officinalis* et *Trametes pini*), le premier est une pourriture rouge qui attaque les arbres à travers les blessures ou par la voie des branches mortes là qu'il propage ensuite dans le tronc en ravageant le bois de cœur jusqu'à sa destruction totale et l'arbre dans ce cas là devient creux

ou rempli de bois dégradé, en suite le second type de champignon dégrade la cellulose et la lignine.

9. Les conditions climatiques :

Selon Aussenac (1984), les cèdres sont des espèces susceptibles de se développer dans des conditions climatiques variées, le cèdre a été très largement introduit dans des climats méditerranéens, subhumides à hivers frais et subhumides à hivers tempérés dans certaines stations et reste cantonné à des climats plus froids dans d'autres stations.

Le flux d'entrée d'eau dans le sol est constitué par les précipitations, qui sont elle-même répartie entre pluie et neige (Hubert *et al*, 1998 in Demarteau *et al*, 2007). Cette espèce peut se développer dans des stations où les précipitations peuvent atteindre 600 à 2000 mm sans ou avec sécheresse estivale (Aussenac, 1984).

Le cèdre de l'Atlas tolère des températures moyennes annuelles comprises entre 7,5 et 15°C, avec des hivers froids (moyenne des minima de janvier de -8 à -1°C) et des températures moyennes maximales de juillet pouvant dépasser les 30°C, d'une autre part, il présente une bonne résistance au vent contre le chablis, mais il est sensible aux bris de branches, aux feux et à la pollution atmosphérique urbaine (Lebourgeois, 2016).

10. Le bois du cèdre de l'Atlas:

10.1. La rétractibilité

La rétractibilité est une notion relative au phénomène du retrait (quand le bois perd de l'eau et se rétrécit). C'est un paramètre physique très important pour la qualification du matériau bois puisqu'il nous renseigne sur le comportement du bois dû à ses variations dimensionnelles au cours du séchage, ainsi il présente une anisotropie plus faible des valeurs de retrait par rapport à toutes les autres espèces, ce qui veut dire que ce bois présente une meilleure stabilité dimensionnelle et se comporte donc bien vis-à-vis du séchage, El Azzouzi (1998).

10.2. La couleur du bois de cèdre de l'Atlas :

Le bois de cèdre présente deux zones (cf.fig 02), l'aubier c'est la zone claire du côté écorce, et une autre zone sombre centrale c'est le duramen et la zone intermédiaire correspond à la partie externe du duramen, sa limite avec le duramen est difficilement distincte, d'autre part la limite entre l'aubier et le duramen est très nette, El Azzouzi (1998).

D'après le même auteur, la zone intermédiaire représente la partie la plus rouge dans les arbres, c'est aussi la partie la plus jaune, ces colorations fortes peuvent être expliquées par des taux de résine et d'extraits à l'eau plus élevés dans la zone intermédiaire, la densité y est aussi légèrement plus élevée.



Figure 02 : une grume de cèdre de l'Atlas (Lac noir Akfadou)

10.3. Propriétés papetières :

Selon Toth (1990), le bois de cèdre de l'Atlas donne un rendement assez faible en pâte à papier. Ce bois a un avantage de pouvoir être mélangé avec des pins pour améliorer la qualité de la pâte, et ça due à la longueur des fibres qui sont voisines de celles de l'épicée commun.

10.4. Les défauts du bois de cèdre de l'Atlas :

L'étude de la typologie a montré que les deux types de défauts majeurs se caractérisent à une structure typique (Dikrallah, 2007). Le même auteur a montré que la pourriture cubique est souvent centrée ou légèrement excentrée avec la moelle, la dégradation est plus intense au pied de l'arbre. Tandis que la pourriture nucléaire n'est rencontrée qu'à partir d'une certaine hauteur, dans le plan transversale est Parfaitement excentrée.

10.5. L'importance économique de cèdre de l'Atlas :

D'après Sebti (2011), le cèdre est une essence qui forme une source vitale des populations de fait de qualité, et est une essence capable de remplir plusieurs rôles socioéconomiques :

- Le bois de cèdre est tendre et odorant de couleur brune rosée, se conserve bien en grume, et facile à scier ;
- Ces caractères supérieurs lui assurant toutes sortes d'utilisation à savoir la construction des chalets de montagne, la menuiserie, la charpente poteaux, les placages intérieurs, meubles rustiques ;
- Le cèdre donne une huile essentielle employée en pharmacie et parfumerie, et aussi antiseptique aux vertus résorbant la cellulite et répulsive pour les mites et les moustiques ;
- Le cèdre bénéficie d'une grande facilité de régénération naturelle ;
- Grace à son feuillage peu inflammable, le cèdre à un rôle important dans la protection des peuplements contre l'incendie ;
- Il intervient dans la protection du sol.

Chapitre II

Modélisation forestière et concepts de productivité

I. La modélisation forestière:

La modélisation forestière est un outil pour la gestion et l'aménagement en forêt, contient des modèles forestiers pour prédire l'évolution des peuplements et prendre en compte l'effet d'un changement de productivité sur leur croissance (accroissement en diamètre, en hauteur, en surface terrière et en volume). Ces modèles constituent d'un ensemble d'équations mathématiques permettant de décrire et de simuler des relations entre les variables d'un peuplement forestier, et tout particulièrement de prédire leur évolution au cours du temps (Goreaud et al, 2005).

1. L'objectif de la modélisation :

Les chercheurs forestiers ont construit des modèles différents, pour pouvoir prendre en compte la grande diversité des peuplements. D'après Charpentier (1995), Hadjaj (2010) *in* Rabhi (2011), on peut distinguer plusieurs objectifs de la modélisation qui sont :

- La simulation des effets de divers traitements sylvicoles ;
- La prédiction de la croissance des arbres ou de la production du peuplement ;
- la gestion de la production de bois ;
- La prédiction de la croissance individuelle des arbres ;
- L'utilisation de la modélisation permet d'analyser des données expérimentales, et d'optimiser les expériences et tester différents scénarios sans contraintes de faisabilité.

2. Historique des modèles:

Un modèle est une représentation simplifiée de l'ensemble des données expérimentales sous forme d'un dessin, d'un schéma, d'une équation conceptuelle, qui permettent la mise en évidence d'un certain nombre d'informations qualitatives et quantitatives (Goreaud, 2000 *in* Rabhi, 2011).

Selon les différentes procédures d'utilisation, il existe deux types de modèles (CHARPENTIER, 1995 *in* Rabhi, 2011):

- Les modèles déterministes : lorsque la valeur exacte de la variable dépendante est prédite par une fonction de variable indépendantes ;
- Les modèles probabilistes: lorsqu'une valeur probable de la variable dépendante est prédite par une fonction de variable indépendante.

Par la suite, les forestiers sont arrivés à mettre une touche sur neufs types des modèles (Parde et al, 1988 *in* Rabhi, 2011) :

- les modèles dynamiques ;
- les modèles statiques ;

- les modèles stratégiques ;
- les modèles tactiques ;
- les modèles globaux ;
- les modèles de peuplement ;
- les modèles arbre ;
- les modèles architecturales ;
- les modèles de gestion.

D'après Larocque (2008 *in* Rabhi, 2011), l'aménagement forestier exige une synthèse des modèles dans la prévision et l'utilité de la dynamique des écosystèmes forestiers. Il a distingué trois principaux types de modèles:

- 1-les modèles empiriques: utilisés dans le calcul de possibilité et dans l'appréciation des effets des traitements sylvicoles ;
- 2-les modèles de succession: ils donnent des informations sur la succession forestière dans un contexte d'application des principes de l'aménagement éco systémique ;
- 3-les modèles basés sur les processus: ils contiennent des représentations mathématiques qui représentent les processus éco physiologiques.

3. Critères de justification des modèles :

La justification des modèles peut reposer sur des nombreux critères différent, et utiliser à divers manuels de leur construction. (Rabhi, 2011)

Les critères qui sont nécessaires pour atteindre l'objectif fixé sont :

- la cohérence rationnelle du modèle ;
- l'ajustement aux données expérimentales ;
- la justification de toutes les caractéristiques du modèle ;
- l'unicité ;
- la falsifiabilité ;
- le pouvoir de prévision.

4. Modélisation de la structure des peuplements forestiers:

La structure d'un peuplement est représentée par la répartition du nombre de tiges en fonction des classes de diamètre qui obéit à certaines lois (Stewart et al, 1974 *in* Rabhi 2015). La distribution des caractéristiques individuelles des tiges, indique la stabilité des peuplements et permet de traiter plusieurs objectifs tel que la construction de tables de production, l'ajustement de modèles de croissance par classe de dimension, l'estimation de la quantité de matériel ligneux par assortiments de produits et la simulation des normes de traitement sylvicole.

L'analyse de la stabilité des peuplements requiert une bonne description de leur structure c'est-à-dire la distribution des caractéristiques individuelles des tiges et leur répartition (Rabhi et Messaoudene et al, 2016). Et pour modéliser cette structure ya eu plusieurs distributions théoriques qui ont déjà utilisées et ont fait l'objet d'étude testent leur degré d'adéquation par rapport à la structure observé (Sghaier et al *in* Rabhi et Messaoudene et all, 2016). D'après Spellmann (1992) *in* Goreaud et al (2005), les peuplements irréguliers ont une dynamique et une structure plus complexe et très difficile à gérer par rapport aux peuplements réguliers, et les modèles classiquement utilisés sont pas vraiment adaptés pour ces deux peuplements en même temps tels que: la loi de forme uni modale pour la distribution des tiges dans un peuplement régulier, alors que dans un peuplement irrégulier, la distribution des tiges est représentée par une courbe exponentielle en J-inversé (Pardé et Bouchon, 1988 *in* Rabhi, 2015).

Par la suite y a eu apparition d'une nouvelle loi « la loi de weibull » qui est le modèle de distribution le plus populaire des statistiques modernes qui étudier la répartition des tiges avec un minimum d'erreur, parmi les distributions normales, exponentielle, KHI 2, student et Fisher.(Rinne, 2009 *in* Rabhi, 2015). Cette appellation « WEIBULL » est relative à l'ingénieur suédois Wallodi Weibull (1887, 1979).

Ce modèle est intéressant de par sa capacité à s'adapter aux données de divers champs (biologique, climatique, financier et économique).

Le maximum de vraisemblance, les moments et les percentiles, sont les méthodes utilisées pour effectuer une étude sur l'ajustement de cette loi aux fréquences empiriques. (Rabhi et Messaoudene et all, 2016)

D'après Rinne, 2009 *in* Rabhi (2015), la formule de la fonction de weibull est la suivante :

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c}$$

a, b,c, c'est les paramètres de modèle

x, c'est la mesure de diamètre

Quant à sa fonction de répartition, utile en matière de modélisation de la production des peuplements et d'estimation du nombre de tiges compris entre deux limites de diamètre, elle s'écrit :

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c}$$

Une fois la distribution est paramétrée, l'effectif estimé d'une classe de diamètre $[d_1, d_2]$ est calculé par l'intégrale suivante :

$$\int_{d_1}^{d_2} \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-a}{b} \right)^c} dx = \left[1 - e^{-\left(\frac{d_2-a}{b} \right)^c} \right] - \left[1 - e^{-\left(\frac{d_1-a}{b} \right)^c} \right]$$

D'après Rinne, 2009 *in* Rabhi (2015), cette distribution est décrite à l'aide de deux ou trois paramètres aux quels l'application forestière fait souvent appel:

1-Le paramètre « a » est défini sur \mathbb{R} ($-\infty < a < +\infty$), il est mesuré dans la même unité que la variable aléatoire. Ce paramètre traduit le temps de garantie ou la durée de vie maximum (relatif à l'étude des durées de vie des matériaux et des processus) où il doit être positif ($a \in [0, +\infty[$). En foresterie, il est considéré comme la plus petite valeur possible du diamètre dans le peuplement, il sera donc compris entre zéro et le minimum observé.

2-Le paramètre « b », il est valide sur \mathbb{R}^* et tient l'unité de mesure de la variable aléatoire. L'augmentation de l'échelle induit une compression de la probabilité, par contre la réduction cause un étirement.

3-Le paramètre « c ». Ce paramètre est valide sur \mathbb{R}^+ et il n'accepte aucune dimension. Il détermine l'aspect de la courbe de densité, celle-ci étant à dissymétrie gauche ou droite selon que « c » est supérieur ou inférieur à 3,6.

II. Concept de la Productivité :

1. Définition de la productivité:

La productivité est définie par le volume des arbres sur pied complété par celui des souches des arbres enlevés. Elle est évaluée à partir d'un tarif de cubage à une entrée pour l'ensemble des données des placettes échantillonnées (Decourt et le Tacon, 1970 *in* Bentouati et Oudjih, 1999).

La productivité revêt, à plusieurs égards, une importance considérable en matière d'aménagement des forêts. Sa connaissance conditionne largement le choix des essences et l'estimation de la « production » ligneuse, elle est aussi un élément essentiel dans le contexte de gestion durable des ressources forestière (Massenet, 2012). Elle est considérée comme le taux de changement ou la croissance annuelle de toutes les composantes vivantes à l'intérieur d'un écosystème forestier (Field et al, 1995 *in* Miranda, 2007)

La productivité d'un peuplement, il va s'agir de mettre en table dépend ainsi de trois facteurs (Soulère, 1975):

- La fertilité de la station. C'est là qu'il conviendra de parler des types de fertilité ;
- La densité du peuplement, en fait de sa surface terrière, mesure qui rend le mieux compte de l'occupation de la station ;

- de l'âge enfin ou plutôt de l'âge moyen.

2. Définition de la fertilité:

C'est une aptitude à produire beaucoup, ou la propriété d'un milieu à produire, c'est une caractéristique du milieu naturel qui constitue une ressource productive nécessaire à l'activité forestière (Temple et Achard, 1995).

C'est l'effet des différents facteurs de production qu'ils appartiennent à la station ou à l'espèce (Decourt, 1967 in Rondeux, 1977).

3. La liaison entre productivité et fertilité

La notion de productivité ou de capacité de production est étroitement liée à la notion de station, celle-ci s'identifiant généralement pour le gestionnaire forestier à une étendue de forêt écologiquement homogène sur laquelle il peut pratiquer la même sylviculture et peut espérer obtenir une même production. Donc la notion de productivité intègre généralement les effets des différents facteurs de production, qu'ils appartiennent à la station ou à l'espèce. Il semble plus logique de définir cet effet complexe par « productivité » et de réserver le terme de fertilité à ce qui concerne les facteurs liés à la station (Massenet, 2012).

Et la meilleure productivité indique les meilleures classes de fertilité de la station.

4. fertilité des stations forestières:

4.1. Estimation de la fertilité:

Pour l'appréciation ou la prévision de la fertilité de la station, y a plusieurs démarches qui peuvent être utilisées telles que (Massenet, 2012):

- Approches dendrocentriques: où on fasse référence à des caractéristiques dendrométriques comme la hauteur dominante à un âge donné et la production totale en volume à un âge donné d'un peuplement ;

-Approches géocentriques: contiennent des mesures des précipitations annuelles de la station, les températures moyenne annuelle de la station, le type de sol et la réserve maximale en eau du sol,... ;

-Approches phytocentriques: où on analyse la végétation, elle même liée aux facteurs de l'environnement (sol, climat, topographie,...).

4.2 Types de fertilité:

4.2.1. La fertilité pédologique:

Est une conception relativement nouvelle de la science du sol, ainsi une étude approfondie du profil permet compte tenu de l'action des divers facteurs du milieu. Le sol ne reflète pas uniquement la composition de la roche mère, mais il évolue sous l'action des facteurs écologiques et aussi la matière minérale et une certaine matière organique (duchouffeur,

1983). Cette fertilité est basé sur des paramètres pédologiques tels que: le sol et la roche mère, la litière et la diversité végétale et le ph de sol.

4.2.2. La fertilité écologique:

Selon Boisseau (1996), la fertilité écologique est classée parmi les indices de fertilité d'une station, sa description aboutie à noter ces caractéristiques topographiques et climatiques telles que: l'altitude, l'exposition, la latitude, la distance au littorale, la pente et la position topographique aussi.

4.3 Les paramètres qui modifient la fertilité de la station :

4.3.1. Les paramètres pédologiques:

Les sols sont des systèmes complexes et thermodynamiquement ouverts qui échangent continuellement de l'énergie et de la matière organique avec le milieu environnant (Batjes et al, 1992 *in* Bensid, 2015). Les véritables sols, sont caractérisés par une épaisseur plus grande et une humification plus poussée en débit d'un taux de saturation souvent moins élevé du complexe absorbant. Le sol est subdivisé en sous classes, des sols essentiellement minéraux, des sols organiques, et des sols mi organiques- mi minéraux. (Duchaufour, 1983)

La fraction minérale des sols provient de la transformation des roches mères qui subissent à la désagrégation physiques et mécaniques sans modifications chimiques des minéraux, ainsi l'altération chimique provoquant une transformation des minéraux primaires et formation des minéraux secondaires. L'altération chimique donne naissance à des produits solubles, le sel et la silice, et aussi donne naissance à des gels colloïdaux, ainsi à des éléments microcristallins, et le rôle de la roche mère est beaucoup plus marqué dans les sols calcaires que les sols de steppe iso humique. (Duchaufour, 1983)

Selon Bentouati et Oudjehih, (1999), le sol est l'un des compartiments biologiques les plus riches en espèce d'arthropodes et des micros habitats pour obtenir la matière organique stable (Humus) par la défoliation, ainsi la productivité des peuplements forestiers. L'humus provient de l'assemblage de certains produits transitoires et de matières minérales en de nouvelles molécules de plus en plus complexe. La matière organique stable représente couramment plus de 90 % de la matière organique totale d'un sol, elle assure la fertilité du sol à moyen et long terme et est une composante essentielle de la qualité des sols. La teneur en matière organique donnée par l'analyse de sol correspond en grande partie à cette forme l'humus (Bensid, 2015).

L'acidité et l'alcalinité aussi affectent la disponibilité des nutriments, et la décomposition de la matière organique par les organismes du sol, c'est la raison pour laquelle la matière

organique s'accumule dans les sols acides car l'activité et la biodiversité spécifiques sont limitées à cause de la forte acidité de ces milieux (Bensid, 2015).

Dans le sol, la biomasse végétale est constituée par des racines qui contribuent à l'apport de matière organique au sol (racines mortes et exsudats racinaires), les exsudats racinaires présentent des compositions variées (sucres, acides aminés, acides organiques, vitamines, hormones, enzymes...), ils constituent la nourriture des micro-organismes vivant autour des racines, des micro-organismes ensuite impliqués dans divers mécanismes comme la nutrition des plantes et la protection des racines contre les agents pathogènes (Bensid, 2015).

4.3.2. Les paramètres écologiques:

Les changements de climat pourraient avoir un impact majeur sur la fertilité des sols forestiers, contiennent l'élévation des températures et les fréquences des événements extrêmes comme les tempêtes ou les sécheresses et l'allongement de la durée de la saison de végétation. Ces changements auront un impact fort sur les écosystèmes forestiers et plus particulièrement sur la fertilité à long terme des sols forestiers (Grégory van, 2014). D'une manière générale, l'altitude, les climats de type océanique, se prêtent mieux à de fortes productions ligneuses que les climats de type plus continental suite à des températures moyennes plus douces, à des saisons de végétation plus longues et à une meilleure distribution annuelle des pluies. (Massenet, 2012). En suite elle se traduit par dégagement de CO_2 vers l'atmosphère donc elle intervient dans l'activité biologique du sol et de la minéralisation de la matière organique et l'activité des micro-organismes (Bensid, 2015). D'après Madjour (2015), L'altitude influence la distribution des températures dans la station là que, Plus l'altitude est importante, plus le froid est intense, de ce fait le processus de germination doit être retardé. En revanche, dans le cas où de plus en plus l'altitude est basse, la situation est Inversée.

Les terrains trop accidentés sont soumis à une forte érosion hydrique qui dénude plus ou moins le sol et entraîne même les graines et les cônes, et sur les pentes moins accentuées la régénération est plus abondante car les graines sont plus nombreuses et les plantules trouvent plus d'eau pluviale et d'éléments nutritifs accumulés par les ruissellements de l'amont et développent un système racinaire puissant leur permettant d'échapper à la dessiccation durant la période sèche. (Khanfouci, 2005 et Nsibi, 2006 in Nezar, 2009). Le lessivage est un facteur primordial dans la fertilité des stations, dans les terrains où il ya des pentes, le ruissellement augmente au dépens du lessivage et provoque une érosion qui peut être néfaste si elle est trop violente, et les champs se trouvent sur les pentes modérées que sur les terrains rigoureusement plats (Sigaut, 1992).

4.4. Les paramètres qui permettent l'estimation de la fertilité

4.4.1. La croissance radiale:

Certain nombre de travaux ont été consacrés à l'étude de la croissance radiale de cèdre de l'Atlas, montrent que les précipitations de l'automne (octobre jusqu'à décembre), et celles de juin et juillet jouent un rôle important. Les deux facteurs les plus importants qui influent cette croissance, c'est les températures et les précipitations. Cette croissance est très sensible au froid très rigoureux de l'hiver et aussi les températures et les précipitations de l'été, dans l'efficacité dépend de leur quantité et aussi la capacité de rétention en eau offerte par le sol et de l'action de l'évaporation de l'air d'après Guibal (1985) et Vallauri (1992).

La diminution de croissance radiale pourrait s'observer dès l'âge moyen de 30 ans dans le cas où le forestier s'abstient de pratiques sylvicoles dans le peuplement d'après (Rabhi et Akli et Djouhri et al, 2017).

4.4.2. Le coefficient d'asymétrie:

L'estimation de la forme de la structure d'un peuplement et l'étude de la fertilité de la station, sont basés sur le coefficient d'asymétrie et d'aplatissement. Une structure à dissymétrie droite est signalée pour les peuplements de bonne fertilité, et ça signifie la présence des essences à gros diamètres, et celle à gauche désigne un coefficient d'asymétrie négatif, qui indique la présence des essences de faibles diamètres (Rabhi, 2015).

4.4.3. La classe modale:

D'après (Rabhi, 2015), la position et le poids de la classe modale agissent sur la fertilité de la station, les peuplements de fertilité moyenne et bonne montrent la même classe modale, mais présentent un poids des classes post-modales différent. Quand la classe modale est augmentée, la fertilité de la station est bonne, et quand elle est diminuée c'est-à-dire la fertilité est médiocre.

4.4.4. La hauteur dominante:

La hauteur dominante est une hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare (Rondeux, 1993). Elle permet de classer les peuplements dans l'échelle de fertilité et d'estimer la production totale d'une station. (Bentouati et Oudjehih, 1999).

5. La relation productivité hauteur dominante :

La production totale est définie par le volume des arbres sur pied, complété par celui des souches des arbres enlevés. Elle est évaluée à partir d'un tarif du cubage à une entrée pour l'ensemble des données des placettes échantillonnées. La liaison de la production totale avec la hauteur dominante doit être estimée à partir de plusieurs placettes représentant les différents milieux de croissance, et assises dans des peuplements qui n'ont jamais été éclaircis. (Decourt

et tacon, 1970). Cette production est indépendante de l'âge, de la station et de la densité du peuplement ou encore dans une assez large mesure du type de l'intensité et des éclaircies pratiquées. Dans des régions de même croissance où les conditions climatiques sont relativement homogènes, la production totale est une fonction croissante de la hauteur dominante, qui n'est pas influencée par la sylviculture. De plus, l'accroissement en surface terrière et en volume d'un peuplement équienne reste identique dans un vaste éventail de modes d'éclaircie différents. Pour un âge et une hauteur dominante identique, la production observée dans une même station n'est pas la même et que à chaque niveau de production peut correspondre un type de station et ces caractéristiques climatiques d'où la notion de niveaux de productivité, (Rondeux, 1977 *in* Bentouati, 2006). Les niveaux de productivité de référence (site index) correspondent généralement à des valeurs de hauteur dominante atteinte à un âge déterminé. Dans ce cas, on détermine des classes de productivité qui correspondent à des intervalles égaux de hauteur dominante à un âge fixé (Massenet, 2012).

Rabhi(2015) a noté que la notion de bonne ou de faible fertilité est liée seulement aux conditions de fertilité globale de la zone reboisée. Cette fertilité est indiquée par l'estimation de la croissance et la productivité d'un peuplement, et les valeurs d'estimation doivent être présentés en trois classes de fertilité telles que:

- Fertilité faible : la hauteur dominante varie de 9 à 11m ;
- Fertilité moyenne : la hauteur dominante varie de 11 à 14m ;
- Fertilité bonne : la hauteur dominante est supérieure à 14m.

Selon (Bentouati, 2006), cette relation résulte de la connaissance au préalable du volume des arbres ou des peuplements sur pied ajouté à celui parti en éclaircie sous la forme suivante :

$$PT = v_p + v_e$$

PT = volume d'un peuplement

v_p = volume des peuplements sur pied

v_e = éclaircie

Le volume sur pied avoisine le maximum de la production totale dans le cas où le peuplement n'a pas été éclaircie ou a subi une intensité d'éclaircie faible.

La relation qui confirme au mieux la liaison entre la production totale à la hauteur dominante, c'est l'ajustement du modèle: $PT = a \cdot H_{dom}^b$

PT c'est la production totale

a et b sont coefficient de régression

Hdom c'est la hauteur dominante

Chapitre III

Zone d'étude

1. Le parc national du Djurdjura

1.1. La situation géographique et administrative de PND :

Le Parc National du Djurdjura est situé au Nord-centre de l'Algérie, dans la grande Kabylie (cf. fig.03). Il se trouve à 140 km au Sud Est d'Alger, et 48 km de la mer méditerranéenne (Anonyme, 2008). D'après Loukkas (2006) *in* Djoumi(2018) sa superficie est de 18550 ha, Il occupe des territoires de deux wilayas, TiziOuzou (versant Nord) et Bouira (versant sud).

Ce parc est compris entre les coordonnées géographiques telles que :

- **Latitude:** 36°24'42'' et 36°32'02'' Nord
- **Longitude:** 03°57'23'' et 04°19'43'' Est

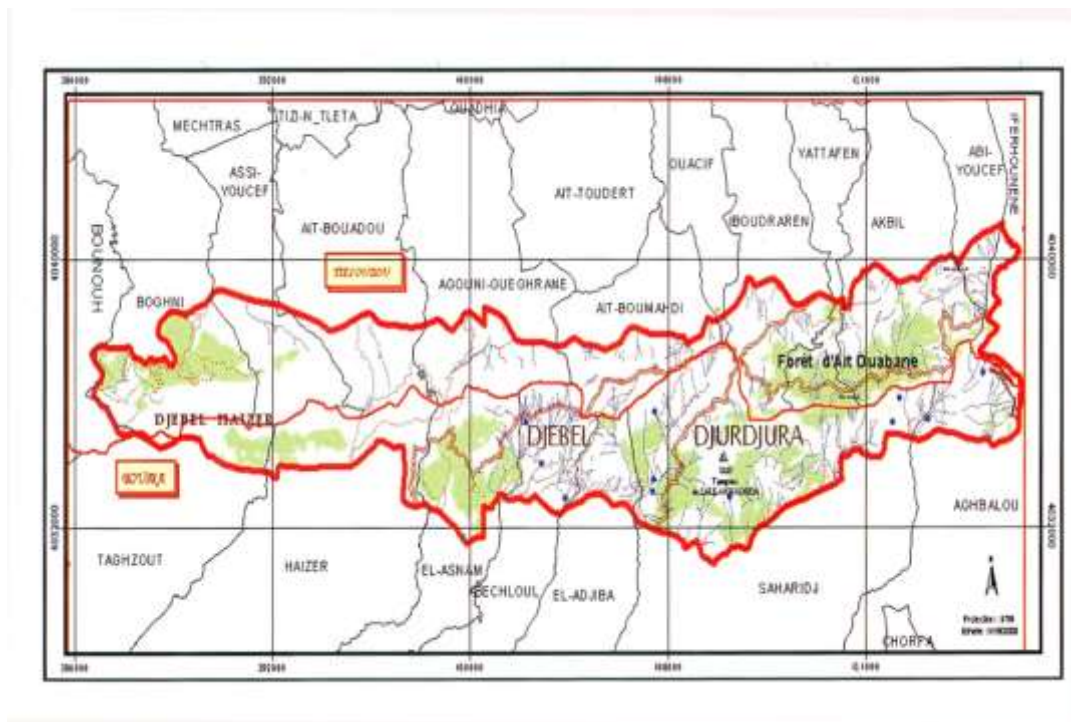


Figure 03 : Situation géographique du PND (LOUKKAS, 2006, *in* Djoumi, 2018)

Sur le plan administratif, le PND est découpé en 5 subdivisions de gestions appelées secteurs (cf. fig.04). Deux secteurs se localisent dans la Wilaya de Bouira (Tala Rana et Tikjda). Les deux autres dans la Wilaya de Tizi-Ouzou (Ait Ouabane et Tala Guilef), tandis que le cinquième (Tirourda) se répartit entre les deux Wilayas à la partie extrême Est du parc (PND, 2013 *in* Djoumi, 2018).



Figure 04 : Carte des secteurs de gestion de PND (PND, 2013)

Le relief de Djurdjura est un relief jeune formé en quaternaire récent et présenté en pics Aigus à parois très raides, et affiche un climat subhumide frais et une végétation dominée par les forêts (*Quercus canariensis*, *Quercus suber*, *Quercus ilex*, *Pinushalepensis* et *Cedrus atlantica*) (Mamou, 2017).

Selon Loukkas (2006) *in* Djoumi, 2018, le territoire du parc est constitué par la chaîne de montagne calcaire s'étalant sur 50 km d'Est en Ouest et ayant en moyenne 5 km de largeur. Cette chaîne se divise en trois parties : le massif oriental, Tamgout de Lalla-Khedidja (2308 m) ; le massif central de l'Akouker, entre Tizi-Kouilal et l'Alma (Ras Timedouine : 2305 m) ; le massif occidental de Haïzer (2164 m).

D'après la carte des unités écologique élaborée par le PND (2011) *in* Mamou (2017) l'Occupation des sols du parc est comme suit :

- Les forets : 5.672 Ha ;
- Les pelouses : 6.907 Ha ;
- Les formations rupicoles : 93,4 Ha ;
- Les reboisements : 96,8 Ha ;
- Les cultures : 758,80 Ha ;
- Falaises et escarpement rocheux : 5.021 Ha.

1.2. Climat et bioclimat:

Djurdjura présente un climat de type méditerranéen, la saison sèche se caractérise par une faible pluviosité et des températures élevées et s'étend généralement du mois de juin au mois de septembre, tant dis que la saison humide est froide et pluvieuse. Les précipitations annuelles de PND atteignent de 1000 jusqu'à 2000 millimètre en altitude, sont très faibles en mois de juillet, et en hiver sont très régulières surtout en mois de décembre (Amiri, 2015)

2. Le secteur de Tala Guilef :

2.1. La situation géographique de Tala Guilef:

Le secteur de Tala Guilef est localisé sur le versant nord du Djurdjura (36°39' N, 4°01' E) et dépend de la commune de Boghni. Il est situé à 45km au sud-Ouest de la wilaya de TiziOuzou et 145km environ à l'Est d'Alger, et d'une superficie de 771 hectares (Mamou, 2017).

L'appellation « Tala-guilef » signifie littéralement « source du sanglier » en berbère et correspond à une source retrouvée dans cette forêt nommée ainsi par extension. (krouchi, 2010). Ce secteur est représenté par quatre sites naturels, on cite les plus importants (Chefai et Hamidi, 2017) :

- La forêt de Bou-Djurdjura ;
- Thamguiguelt (Pic des cèdres) ;
- La source vaclusienne de Tinzert ;
- Ifri El Varoudh (grotte de la poudre noire).

2.2. Topographie et reliefs deTala-Guilef :



Figure 05 : La cédraie de Tala Guilef (Khales 2022)

A Tala-Guilef, qui est une région montagneuse (cf.fig05) de plissements alpins, on distingue deux ensembles topographiques (krouchi, 2010) :

- La moyenne montagne dont l'altitude est comprise entre 900 et 1500 m ;
- La haute montagne qui débute à 1500 m et dont les sommets peuvent atteindre 2164 m.

Tala-guilef est profondément disséquée par le cours des torrents. Les lignes de crêtes (Haizer, Tala-guilef et Tazrout -Tamellalt) partagent le paysage en deux vallées qui sont:

- La vallée des Beni-Mendes qui présente en son amont une dissymétrie des versants ;
- La vallée de l'Acif Achemlili où la dissymétrie des versants est très accentuée.

Sur le plan géologique, cette région présente des formations Eocènes et Oligocènes, son terrain est structuré par des grès de cette époque en alternance avec des marnes au niveau de l'Acif Achemlili, et des conglomérats ou des poudingues dans le massif de l'Haizer, le Pic des cèdres, Tazrout-Tamellalt et le colblanc (thizi-toumlilt). Tala guilef est caractérisée par le calcaire, qui présente une grande résistance à l'érosion linéaire, cependant il est fortement karstifié (krouchi, 2010). Comme elle présente ainsi des formations Eocènes et Oligocènes, et les formations du lias supérieur y présentent leur développement le plus complet (krouchi, 1995). L'arène mère au niveau de la station de Tala-Guilef est constituée essentiellement de schistes cristallins.

Le sol du Tala-Guilef présente une texture limono-argilo-sableuse riche en matière organique au niveau de l'horizon de surface qui varie de 4 à 5,5 %.(Madjour, 2015). Il présente un PH neutre (6.5 à 7), bien pourvu en MO (entre 3 et 4 %). Ce sol est faiblement calcaire (5-12.5 % de calcaire total), présente aussi un humus de type mull, bien décomposé (C/N < 15), à forte activité biologique (Smail et Meddour, 2015).

Chapitre IV

Matériels et méthodes

1. Objectif de l'étude :

L'objectif de notre travail est l'étude de la productivité du cèdre de l'Atlas selon sa hauteur par rapport à sa fonction d'âge $H_{dom}=f(g)$, et la mise en évidence des facteurs écologiques et anthropiques ayant une influence sur la croissance et l'installation des peuplements de cèdre de l'Atlas dans les cinq régions de PND.

2. Les mesures dendrométriques :

L'inventaire et la description des peuplements sont un préalable indispensable à toute démarche de gestion forestière et de planification sylvicole. On s'intéresse à réaliser cet inventaire pour mettre en évidence la structure, la densité du peuplement et la différence du point de vue de développement pour chaque station. Dans ce sens, la structure des peuplements est définie comme étant la manière avec laquelle sont agencées les variables dendrométriques d'un peuplement (Stewart et Roustide, 1974 in Rabhi, 2011) :

Après avoir délimité les parcelles avec un mètre ruban (cf. fig b06), nous avons mesuré la hauteur de chaque individu à l'aide du dendromètre Vertex III (cf. fig a06) et le diamètre de l'arbre à 1 m 30 du sol à l'aide du compact forestier (cf. fig d06).

D'autres paramètres ont été également notés pour chaque station à savoir : l'altitude, l'exposition, la pente et les coordonnées géographiques.

3. Le carottage des arbres :

Dans chaque station nous avons prélevés une carotte de l'arbre de diamètre moyen à l'aide d'une tarière (cf.fig c06). Chaque carotte a été déposée sur une planche en bois.

Pour faciliter la lecture des cernes (cf.fig f06) sur chaque carotte nous avons fait le ponçage à l'aide d'un papier vert puis nous avons procédé au comptage des cernes avec l'appareil **LINTAB 5** (cf. fig 07).

 <p>Figure a : : vertex III</p>	 <p>Figure b : Mètre ruban</p>
 <p>Figure c: des tarières</p>	 <p>Figure d: Un compas forestier</p>
 <p>Figure e: Le carottage (khales, 2022)</p>	 <p>Figure f: une carotte poncée (khales, 2022)</p>

Figure 06: Les instruments forestiers dendrologiques



Figure 07: LINTAB 5

4. La méthodologie appliquée:

4.1. Le choix du modèle:

4.1.1. Le modèle de Chapman Richards:

C'est un modèle qui caractérise bien le rythme de croissance des arbres d'un individu à l'autre (Bentouati, 2006). D'après (Rabhi, 2011), on applique ce modèle dans les zones de basse altitude et dans des zones de haute altitude. C'est le plus souvent adopté en foresterie, apparait plus explicite, il met en évidence l'antagonisme de croissance des variables dendrométriques de l'espèce entre les deux zones précédentes selon la fonction suivante (Bentouati, 2006).

$$Hd = K_1 \cdot [1 - \exp(-k_2 \cdot \text{age})]^{k_3}$$

K1 est un paramètre libre dépendant de l'arbre, il représente la hauteur de l'arbre atteinte à un âge avancé

K2 et **K3** sont des coefficients d'ajustement des courbes

Hd c'est la hauteur dominante

Exp c'est la fonction exponentielle

4.1.2. Ajustement du modèle de Chapman Richards

La qualité de l'ajustement du faisceau expérimental est jugée par le coefficient de corrélation, et par l'écart résiduel entre les valeurs observées et celles calculées. La faible valeur de cet écart indique qu'il ya une bonne adéquation du modèle avec les données expérimentales. Ce modèle établi a permis de défini quatre courbes de croissance d'amplitude

qui sont matérialisées par un faisceau de courbes qui caractérise leurs différents niveaux de productivité (Bentouati, Oudjehih et alatou, 2005).

4.1.3. Précision d'ajustement:

Le modèle Chapman Richards nécessite une précision d'ajustement pour arriver à déduire sa qualité. Cette démarche applique certains tests qui sont comme suit: (Rabhi, 2011)

- Le test Arithmétique
- Le test Graphique

4.1.4. Les modèles de type Chapman Richards:

Selon (Rathgeber et al, 2004), le modèle de Chapman Richards est ajusté à l'aide de différent modèles de types:

- Modèle classique (Richard 1959): $H=a_i(1 - b \cdot \exp(-c \cdot age))^e$
- Modèle utilisé par Hervé et Brochiero1997, Brochiero et all, 1999, Vennetier et all, 1999: $H=a_i \cdot (1 - \exp(-c \cdot age^e))$
- Modèle utilisé par Couhert et Duplat: $H=a_i \cdot (1 - \exp(-c \cdot age^d))^e$

H représente la hauteur de l'arbre

C, d,e, sont des paramètres ajustés statiquement à l'ensemble du faisceau

a_i est un paramètre libre

4.2. Procédure d'estimation:

La méthode d'estimation est de type Levenberg Marqardt. La qualité de l'estimation, c'est l'erreur commise dans l'estimation de la hauteur d'un arbre selon la loi suivante: (Rathgeber et al, 2004)

$$ESR^2 = \frac{1}{n} \sum \left(\frac{h_{est} - h_{obs}}{h_{obs}} \right)^2$$

ESR : c'est l'erreur standard relative

n : c'est le nombre couple âge/hauteur

hest : c'est l'erreur estimée

hobs : c'est l'erreur observée

5. Les critères de validation:

5.1. Le coefficient de détermination (R^2):

Le coefficient de détermination (R^2) est un indicateur qui permet de juger la qualité d'une régression linéaire, simple ou multiple. D'une valeur comprise entre 0 et 1, il mesure l'adéquation entre le modèle et les données observées. Le (R^2) se définit comme la part de variance expliquée par rapport à la variance totale (Rabhi, 2011)

Il est exprimé par la formule suivante : $R^2 = 1 - \frac{SCR}{SCT}$

SCR c'est la somme des carrés des résidus

SCT c'est la somme totale des carrés

5.2. La variance résiduelle (VR):

C'est le carré moyen résiduel (CMR), qu'est un indicateur des écarts entre les observations et les estimations du modèle, il représente la moyenne arithmétique des carrés des écarts entre les prévisions et les observations, le modèle est d'autant plus efficace que le CMR tend vers zéro (Rabhi, 2011).

La variance résiduelle est utilisée comme indicateur de la qualité de l'ajustement d'un modèle théorique qui a des valeurs observées. Cette variance peut servir de base de comparaison entre les différents modèles testés. Et définie comme suite: (Rathgeber et al, 2004)

$$VR = \frac{1}{n-p} \sum_{j=1}^n (\hat{h} - h_i)^2$$

n, c'est le nombre de couples âge /hauteur

p, nombre de paramètres du modèle testé

\hat{h} , hauteur estimée par le modèle testé

h, hauteur observée

5.3. La normalité des résidus:

Les tests arithmétiques précédemment énumérés s'avère insuffisants pour contrôler la qualité d'un modèle construit. FONWEBAN et HOULLIER (1995) estiment que l'examen visuel et le comportement qualitatif des résidus sont essentiels pour se prononcer sur la validation et la cohérence des modèles. Ces tests supplémentaires sont présentés comme suit: (Rabhi, 2011)

- **Histogramme des résidus:** Permet de vérifier la normalité des résidus ainsi que leur moyenne nulle.
- **Tracée normal des résidus:** Elle permet en outre de détecter d'éventuels valeurs aberrantes.

5.4. Homoscédasticité (homogénéité des résidus en fonction des valeurs prévues):

C'est une représentation graphique sous forme de nuage de points des résidus en fonction des valeurs prévues. Pour une divergence acceptable, le nuage de point forme une masse homogène autour de la droite de résidus nuls (Rabhi. 2011).

Chapitre V

Résultats et discussions

I. Résultats obtenus et interprétation :

1. Estimation du modèle de Chapman Richards :

La caractérisation des niveaux de productivité est établie par la croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge ajustée à partir du modèle de croissance de Chapman Richards. L'équation du modèle est la suivante:

$$H_{dom} = 14,77 \cdot [1 - \exp(-0,015 \cdot age)]^{0,73}$$

k1=14,77 k2=0,015 k3=0 ,73.

Ce modèle exprime la variabilité du potentiel productif du cèdre de l'Atlas qui correspond à des hauteurs dominantes à 70ans.

A partir des mesures de tiges effectuées, nous avons reconstitué graphiquement une courbe expérimentale sur la base des couples âge/hauteur dominante. Cette corrélation nous a permis d'obtenir un nuage de point (fig. 08), auquel on a ajusté une courbe de tendance moyenne passant par le maximum de points du graphique. Cette représentation montre une bonne corrélation entre les deux paramètres c.-à-d. une évolution régulière de la hauteur dominante en fonction d'âge.

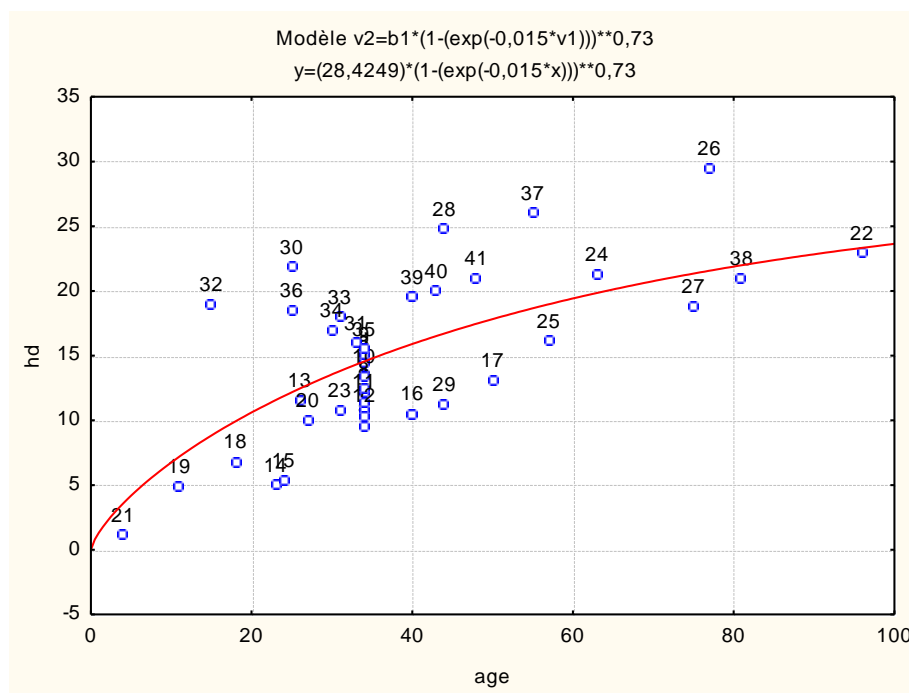


Figure 08: Représentation graphique de la hauteur dominante en fonction d'âge pour le cèdre de l'Atlas au Djurdjura.

On constate que la courbe âge/Hdom s'augmente ralentissement à partir de la valeur Hdom = 0m, et s'installe et se redresse dans la valeur Hdom = 23m à l'âge = 70 ans. Une phase stationnaire est observée pour les âges élevés.

Cette courbe reflète les niveaux correspondants aux différentes productivités relatives aux parcelles les plus pauvres et les plus riches en termes de fertilité. Quand la fonction âge/Hdom marque une augmentation, la courbe de croissance marque une certaine augmentation en même temps, ce qui signifie que les individus du cèdre de l'Atlas se développent selon la fertilité de la station.

2. Qualité du modèle :

2. 1. Les tests arithmétiques:

Pour avoir une bonne évaluation de la qualité du modèle, on a calculé deux tests arithmétiques à savoir : le coefficient de détermination (R^2) et la variance résiduelle (CMR).

a. Le coefficient de détermination R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{SCR}{SCT} = 0,68$$

Plus le coefficient de détermination se rapproche de 0, plus le nuage de points se disperse autour de la droite de régression, et plus le R^2 tend vers 1, plus le nuage de point se resserre autour de la droite de régression.

Dans notre cas le R^2 est de **0,68** alors la variation observée dans le modèle calculé doit être expliqué par des points positionnés autour de la droite de régression.

b. La variance résiduelle :

Dans notre étude la variance résiduelle égale à:

$$VR = \frac{1}{n-p} \sum_{j=1}^n (h_i - \bar{h})^2 = 20.13$$

2.2. Les tests graphiques

a. normalité des résidus

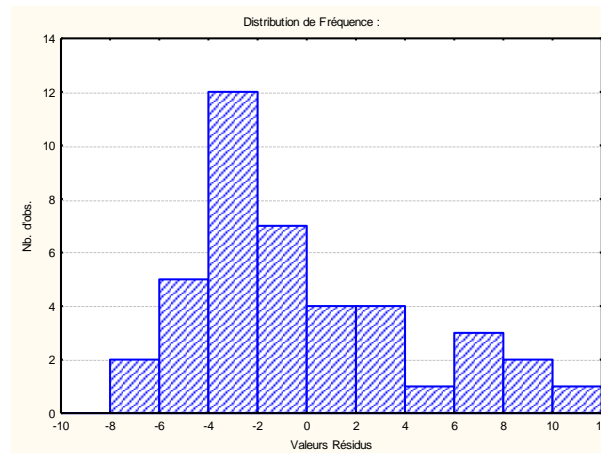


Figure 09: représentation d’histogramme de distribution des résidus pour le modèle obtenu.

Cette figure montre un histogramme de distribution des valeurs résiduelles pour chaque nombre d’arbre observé par parcelle. L’histogramme traite la qualité et le comportement des résidus.

Nous constatons que l’histogramme a marqué un décalage et la non stabilité dans la distribution des valeurs résiduelles, donc une répartition volumineuse pour le nombre d’arbre observé marquée sur l’intervalle négatif, suivi par une diminution sur l’intervalle positif, ainsi sur l’intervalle négatif(-8, -6) et les valeurs sont un peu proches des valeurs négatives, donc la distribution est répartie sur l’ensemble d’intervalle étudié d’une façon un peu décalée selon le nombre des valeurs résiduelles marquées dans chaque placette.les valeurs résiduelles sont proches de 0, ce qui nous permet de dire que les résultats sont de distribution normale.

L’ajustement des données à la Droite de Henry, permet d’évaluer la normalité de la distribution des résidus représenté par une courbe droite, les résidus sont présentés par des points qui indiquent les valeurs des fréquences réelles cumulées. La Normalité des résidus est perturbée sur les extrêmes positifs et négatifs, par contre, ceux disposés autour de la valeur nulle sont parfaitement normaux.

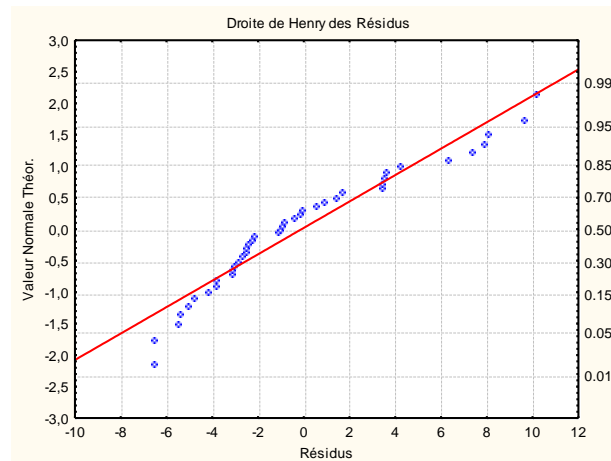


Figure 10: Représentation de tracée Normal (droite de Henry) des résidus.

La disposition des résidus sur la droite de Henry justifie l'adéquation des modèles qui montrent que les résidus sont distribués d'une façon susceptible d'être ajustée par une loi Normale.

b. stabilité des résidus avec les valeurs prévues

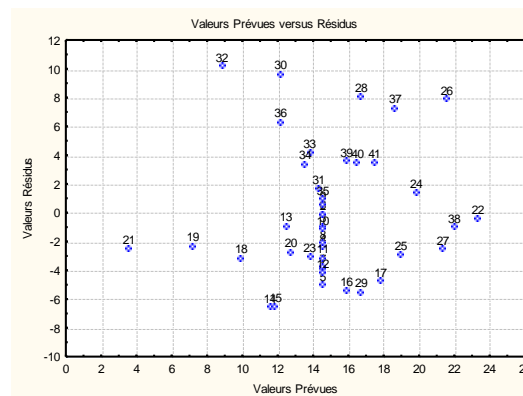


Figure 11: Nuage des résidus en fonction des valeurs prévues

Le nuage de point des résidus en fonction des valeurs prévues est présenté dans la figure(11). L'examen visuel de cette figure montre une nette tendance des valeurs résiduelles augmentent avec les valeurs prévues.

3. Fertilité de la station:

3.1. Les classes de fertilité:

L'utilisation du modèle de Chapman Richards nous a permis d'avoir trois classes de fertilité selon les stations étudiées et les échantillons prélevés par rapport à la hauteur dominante et l'âge des individus. Les résultats obtenus sont ordonnés sous forme d'un graphe (fig.12).

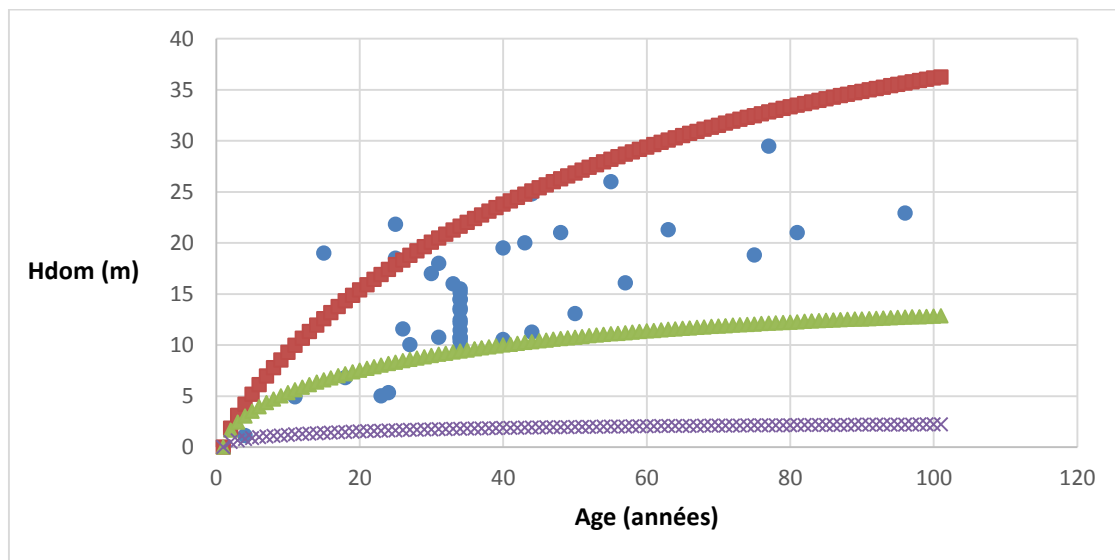


Figure 12: les classes de fertilité en fonction de l'âge et la hauteur dominante

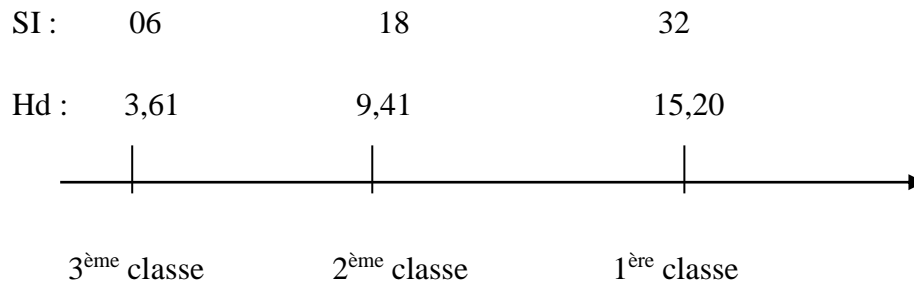
Les résultats obtenus ont révélé l'existence de trois classes de fertilité: 1ere (bonne), 2eme (moyenne) et 3eme (faible). La figure (17) nous montre trois courbes différentes (bleue, verte et rouge) en fonction de l'âge et la hauteur dominante. La hauteur dominante diminuée avec l'âge dans cas illustré par la courbe bleue, la courbe verte montre une évolution moyenne, tandis que la courbe rouge comparée aux deux précédentes marque une augmentation importante de la hauteur dominante(38) en fonction de l'âge, ce qui signifie que la croissance en hauteur est relative à la fertilité de la station.

3.2. La fertilité des placettes et l'indice de site "sit index" (SI):

Les résultats obtenus (tab. 01) affichent une nette différence entre les stations étudiées cependant, on constate une distribution de la fertilité qui n'est pas identique, elle diffère d'une placette à l'autre ce qui nous a permis d'obtenir trois classes de fertilité selon la croissance des peuplements du cèdre de l'Atlas.

La première classe ne présente que deux placettes qui sont les placettes les plus fertiles ou la bonne fertilité relative à l'indice de site qu'est supérieur à 32, et la deuxième classe caractérise la fertilité moyenne et concerne vingt placettes qui ont un indice de site entre 18 et

32. Tandis que la troisième classe de fertilité, l'indice de site est inférieur à 18, c'est la fertilité médiocre avec dix-neuf placettes.



Les classes de fertilités sont classées par rapport à leur indice de site ainsi leur hauteur dominante à un âge de référence de 70 ans. On voit que les classes les plus fertiles distinguent une hauteur dominante supérieures à 15, 20 m, et les classes de la fertilité moyenne leur hauteur dominante et classée dans l'intervalle $9,41 > HD > 15,20$, et les classes médiocres sont inférieures à 3,61 m.

A la fin, on déduit que la hauteur dominante est un indice de croissance et de développement pour le cèdre de l'Atlas, et la fertilité de la station agit sur le comportement des peuplements de cette espèce, et elle répond selon le degré et la présence de cette condition.

Tableau 01: Classes de fertilité des stations étudiées

Classe	Valeur du SI	Placettes
Première Classe	$SI > 32$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TG 1-TG 2
Deuxième Classe	$18 > SI > 32$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TG 3-TG4-TG5-TG 6-TG 7 -TG 8-TG 9-TG 10-TG 11-TG 12-TG 13-TG 14-TG 15- TG 16. ▪ TK 1 - TK 2- TK 3. ▪ Trd 1 -Trd 2- Trd 3. ▪ Cht 1.
Troisième Classe	$SI < 18$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TG 17- TG 18- TG 19. ▪ Trd 4 - Trd 5- Trd 6- Trd 7- Trd 8- Trd 9- Trd 10- Trd 10- Trd 11. ▪ Tk 4-TK5-TK 6-TK 7-TK8-TK 9. ▪ TO 1.

II. Discussion:

La productivité revêt, à plusieurs égards, une importance considérable en matière d'aménagement des forêts. Sa détermination, condition essentielle au choix judicieux des essences à, la justification de leur localisation et à l'estimation de la production ligneuse, est aussi un élément clé dans l'appréciation du développement des peuplements. La notion de productivité ou de «capacité / de production» est étroitement liée à la notion de «station». (Rondeux, 1977).

La répartition des zones boisées et des peuplements en classes de productivité joue un rôle déterminant dans le choix des essences à favoriser ou à introduire, ainsi que dans la prévision de la production des peuplements. Cette répartition s'appuie généralement sur l'utilisation d'indices de productivité entre autres établis à partir de méthodes quantitatives parmi celles-ci la hauteur dominante atteinte à un âge donné est très intéressante à considérer (Rondeux, 1977).

L'âge de référence qui est choisi dans la plupart des cas d'une façon arbitraire, peut varier de 50 ans pour les peuplements à courte révolution et à croissance rapide, jusqu'à 100 ans pour les essences suffisamment longévives (CTGREF, 1979 *in* Bentouati, 2006).

Certains auteurs préfèrent utiliser un âge de référence proche de l'âge d'exploitabilité du peuplement car il exprime mieux la relation entre l'indice de station est la production totale en volume depuis l'origine. Cette relation semble très convenable pour la construction des tables de production (Legoff, 1982 *in* Bentouati, 2006).

La hauteur dominante donne une bonne expression de la croissance des peuplements et est peu sensible à l'intensité d'éclaircies. De ce fait, la hauteur dominante reflète mieux la fertilité situationnelles et constitue un bon indice de productivité (Becker et Goff, 1988 ; Dagnelie et *al.*, 1988).

Cette étude a permis de définir trois classes de fertilité par le biais de la hauteur dominante à l'âge de référence de 70 ans. Sur les 41 placettes, la quasi-totalité (soit 95% des placettes) se localise dans les classes de fertilité II (bonne fertilité) et III (fertilité médiocre). Si nous comparons notre peuplement aux cédraies suivantes (Tableau 02) :

Tableau (02) : Productivité de quelques cédraies.

Cédraies Classes de Fertilités	Sud de la France Toth (1973)	Rif Marocain M'Hiret (1982)	Chrèa Nedjahi (1988)	Reboisement Tirurda Rabhi (2015)	Djurdjura Khales (2022)
Classe I	28<H _{dom} <35	26<H _{dom} <29	26<H _{dom} <31	H _{dom} >14	H _{dom} >15,20
Classe II	25<H _{dom} <28	24<H _{dom} <26	21<H _{dom} <26	11<H _{dom} <14	9,41<H _{dom} <15,20
Classe III	16<H _{dom} <25	20<H _{dom} <24	16<H _{dom} <21	9<H _{dom} <14	3,61<H _{dom} <9,41
Classe VI	10<H _{dom} <16	17<H _{dom} <20	12<H _{dom} <16		

Il ressort du Tableau (xx) qu'à l'âge de 70 ans, la productivité des cinq cédraies du Djurdjura est inférieure à celles des cédraies du sud de la France, du Rif Marocain et de Chrea ayant obtenus 4 classes de fertilité estimée à un âge de référence de 100 ans. Tandis que pour le reboisement du col de Tirourda estimée à l'âge de (34ans) Rabhi (2015) a montré trois zones de fertilité différente pour un peuplement régulier du cèdre de l'Atlas, ses résultats sont proche des résultats de notre étude.

D'après Nedjahi (1988), les cédraies de l'Atlas tellien (Djurdjura, Babors et Thniet-El-Hed) sont plus productives que celles de l'Atlas saharien. L'auteur rajoute que leurs comparaison aux autres cédraies montre qu'elles sont moins productives que celle du maroc et de la France.

Le cèdre de l'Atlas à une productivité proche aux grandes espèces forestières médio-européennes et l'accroissement moyen annuel dépasse 8 m³/ha/an dans les stations naturelles et 12 m³/ha/an dans les stations artificielles qui sont très fertiles (Rabhi, 2015).

Néanmoins, en dehors de son aire, la productivité du cèdre semble plus élevée (M'Hirit, 1999). A l'exemple de la Bretagne, où le cèdre de l'Atlas présente des résultats encourageants qui sont tous situés dans les deux premières classes de fertilité (Hainry et Colombet, 2009).

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est la caractérisation des niveaux de productivité du cèdre de l'Atlas dans cinq régions forestière au Djurdjura par le biais de la croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge ajustée à partir du modèle de croissance de Chapman Richards. Ce modèle exprime la variabilité du potentiel productif du cèdre de l'Atlas qui correspond à des hauteurs dominantes à 70 ans.

A partir des mesures de tiges effectuées dans 42 placettes, nous avons tenté d'établir une relation : âge - hauteur dominante. Les résultats montrent une bonne corrélation entre les deux paramètres c.-à-d. une évolution régulière de la hauteur dominante en fonction d'âge, ce qui signifie que les individus du cèdre de l'Atlas se développent selon la fertilité de la station.

L'utilisation du modèle de Chapman Richards nous a permis d'avoir trois classes de fertilité :

- Classe I : Une bonne fertilité (02 placettes) avec un indice de site supérieur à 32 et une hauteur dominante supérieur à 15,20m;
- Classe II : Une fertilité moyenne (20 placettes) avec un indice de site (IS) compris entre 18 et 32 et une hauteur dominante comprise entre 9,41m et 15,20m ;
- Classe III : Une fertilité médiocre (19 placettes) avec un indice de site inférieur à 18, et une hauteur dominante allant de 3,61m à 9,41m.

Il ressort qu'à un âge de référence de 70 ans, la quasi-totalité des placettes étudiées (soit 95%) se localise dans les classes de fertilité II et III.

A la fin, on déduit que la hauteur dominante est un indice de croissance et de développement pour le cèdre de l'Atlas et la connaissance des classes de fertilité est intéressante pour la mise en évidence de la liaison station –production.

Références Bibliographiques

- **Abdelhamid D et Allal – Benfekih, 2017.** Le complexe entomologique du cèdre de l'atlas, *Cedrus atlantica* (Manetti, 1844) de la Cédraie Naturelle de Theniet El Had (Algérie) p25.
- **Addar Abdelkader et Khedache Zina et Righi Houssam et Megrerouche Malika Dahmani.** 2016. Suivi de la régénération naturelle du Cèdre de l'Atlas dans les premiers stades de développement dans quelques stations du massif forestier de Chréa (Atlas blidéen, Algérie). Revue d'Ecologie, Terre et Vie, Société nationale de protection de la nature. p.367-384
- **Amari Ratiba** épouse Derriche, décembre 1997, Magister en génie civil. Extraction des essences de bois de cèdre de l'Atlas algérien par différentes techniques. Modélisation du transfert de matière. P15
- **Adil Smail et Meddour Rachid,** 2015. Influence de quelques sols forestiers du Djurdjura sur le développement des ectomycorhizes des *Pinus nigra* subsp. *mauritanica* in nursery.
- **Aussenac G,** 1984. Le Cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écophysologique p 388
- **Bensid zoubair,** 2015. Dynamique de la Matière Organique des Sols des Monts Forestiers du Bélézma p13-26
- **Bentouati Abdallah,** 1999. Première étude de la croissance et de la productivité du cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica* Manetti) dans le massif de Bélézma.
- **Bentouati Abdallah, Oudjehih B, Alatou D,** 2005. La croissance en hauteur dominante et classes de fertilité du Pin d'Alep (*pinus Halepensis* Mill) dans le massif Ouled Yakoub et des beni-oudjana.
- **Bentouati Abdallah,** 2006. Croissance, productivité et aménagement des forets de pin d'Alep (*Pinus halepensis* M) du massif de Ouled yagoub
- **Bentouati Abdallah.** 2008. La situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). Forêt méditerranéenne t. XXIX, [https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03565262\(bitstream 95237\)](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03565262/bitstream/95237), P205-206, P2 -5
- **Boudi,** 1952 - Guide du forestier en Afrique du Nord .Les essences Forestières. Édition la maison rustique, 505-2 p
- **Boukhelifa Aicha**-mémoire du Diagnostic de plantation de cèdre de l'Atlas à djebel-Ouahch (Constantine, 24 juin 2014)

- **Boisseau Bénédicte**, 1996. Ecologie du pin pignon et du pin brutia : détermination d'un indice de fertilité fonction du milieu. P 323
- **Chefai hamama et hamidi amira**, 2017, spécialité : science et gestion de l'environnement, Contribution à l'étude des potentialités écotouristiques du parc national du djurdjura.
- **Coubet F et Lagacherie M et Marty P et Ladier J Repert C et Riou- Nivert P et Huard F, Amandier L et Paillassa E** version de 20/04/2016 disponible sur <http://prodinra.inra.fr/record/179283> , caractéristiques générales de cèdre de l'Atlas P 2-3
- **Decourt, N. Tacon, F.** (1970) : L'Épicéa commun (*Picea excelsa*) sur les plateaux calcaires de l'Est de la France. Essai de prévision de la production à l'aide de déterminations pédologiques simples. Ann. Sci.Forest.P 255-286(Bentouati et oudjih, 1999) supp
- **Demarteau Maxim, Louis Francois, Rachid Cheddadi et Emile Roche**, 2007. Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs responses of *Cedrus atlantica* when faced with past and future climatic changes. Geo-Eco-Trop,31: 105 - 146
- **Duchauffeur Philippe, 1983.** Pédogenèse et classification
- **Dikrallah Adil**, spécialité : sciences du bois, le 25 juin 2007. Etude de la typologie des défauts des arbres sur pied, analyse de l'anisotropie acoustique et détection des altérations par tomographie : Application au Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) P23 ,01
- **Djoui mohamed abdeljalil**, 2018, spécialité : biodiversité et environnement, contribution à l'étude de la variabilité stationnelle sur la croissance radiale du cèdre de l'atlas (*cedrus atlantica* manetti) au niveau de Tikejda p05
- **El Azzouzi Khalid et Keller René.** Propriétés technologiques du bois de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Forêt Méditerranéenne, Forêt Méditerranéenne, 1998, XIX (1), pp.11-33. hal-03557904,
- **Goreaud F., De Coligny F., Courbaud B., Dhote Jf., Dreyfus Ph., Perot T., 2005 –** La modélisation : un outil pour la gestion et l'aménagement en forêt. Vertigo. La revue en sciences de l'environnement
- **Hainry Dashiell, Michel colombert.**2009. Bilan des introductions et perspectives d'utilisation cèdre de l'Atlas en Bretagne, p 06

- **Grégory van Der Heijden, Ludovic Henneron, Erwin Dreyer, 2014.** La gestion de la fertilité des sols forestiers est-elle à un tournant ? Une conclusion transitoire P641
- **-Kherchouche Dalila, 2013.** La sécheresse et le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Belezma (Algérie) p128
- **Krouchi F, 1995.** Contribution à l'étude de l'organisation reproductive du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) à Tala-Guilef Djurdjura Nord occidental. Thèse Magister Sci. Agro. Option foresterie. I.N.A. Alger
- **Krouchi, F. 2010** Étude 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). P08, P05 P16 P07
- **Lebourgeois François (LERFoB), 2016** *Cedrus atlantica* Manetti ; Caractéristiques générales de l'espèce, P02
- **-Madjour Karim, 2015;** Régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au niveau du Parc National du Djurdjura (Secteur de Tala-Guilef)
- **Mamou Rabah.** Eléments de bio écologie du lézard des murailles *Podarcis vaucheri* (Boulenger, 1905) dans le secteur de Tala Guilef (Parc National du Djurdjura): Ecologie trophique, Biologie de la reproduction et stratégies de thermorégulation
- **Massenet Jean-Yves, 2012.** Productivité des peuplements réguliers et tables de production P06
- **Messaoudene Mahend, Rabhi Khellaf , Megdoud Amel , Sarmoum Mohamed et Dahmani-Megrerouche Malika, 2013.** Etat des lieux et perspectives des cédraies algériennes. p344
- **Mhirit , 1982 :** Etude écologique et forestière des cédraies du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phyto-écologie et de la productivité du cèdre
- **M'hirit, 1999** LE CEDRE DE L'ATLASA TRAV ERS LE RESEAU SILVA MEDITERRANEA «CEDRE». BILAN ET PERSPECTIVES
- **Miranda Salas Marcelo, 2007.** Modélisation de la productivité forestière de *Pinus radiata* D. Don à partir de patrons de variabilité spatiotemporelle de l'espèce et de l'environnement p16
- **Nedjahi A, 1993.** Etude de la croissance radiale des provenances du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en Algérie. *Silva Méditerranaea*. Actes du Séminaire International sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc).

- **Nezar Kebaili Miloud**, 2009. influence de quelques variables du milieu sur la régénération naturelle du cèdre de l'atlas (*cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de belezma (Batna), P29, 24, 23
- **Nourine et Fergane**, 2017. Analyse de la structure de la cédraie en quelques points du Djurdjura Nord –Ouest (tala Guilef)
- **Rabhi Khellaf** 2011. Ajustement de modèles hauteur – circonférence – âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d'Akfadou (Tizi ouzou); effet de la densité et de la station.
- **Rabhi Khellaf**, 2015, Modélisation et optimisation de la croissance et du fonctionnement du cèdre de l'Atlas (*cedrus atlantica* Manetti) dans le djurdjura par l'intégration de descripteurs écologiques et dendrométriques .
- **Rabhi Khellaf, Messaoudene Mahand, Fortin Mathieu, Collet Catherine**, 2016. Modélisation de la structure en diamètre des reboisements et des peuplements naturels de Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) du Djurdjura (Algérie).
- **Rabhi kellaf et Amel Akli et Ahlem Djouhri et Nassima Yahi et Salem Boudedja et Mahand Messaoudene**.2017. Bilan et croissance des reboisements de cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière, en Algérie : cas du Djurdjura et de l'Atlas blidéen .. <https://doi.org/10.19182/bft2018.337.a31627>. P13
- **Rathgeber c, Blanc L, Ripert Ch et Vennetier**, 2004. Modélisation de la croissance en hauteur du pin d'Alep (*pinus halepensis* Mill) en région méditerranéenne française
- **Rondeux Jacques**, 1977. Estimation de la productivité forestière : principes et méthodes. p02,6
- **Rondeux, J. (1993)**. Facteurs écologiques de production du frêne en Condroz et productivité des stations potentielles. *Cahiers Forestiers de Gembloux, 11*.
- **Sebti Safia**. Mémoire de magister, Novembre 2011. Caractéristiques biologiques et écologiques de la processionnaire, *thaumetopoea pityocampa* schiff (lepidoptera : thaumetopoeidae) sur le cèdre de l'atlas *cedrus atlantica* manetti dans le parc national de chréa, P46
- **Sghaier Tahar et Garchi Salah**, 2009. Modélisation de la croissance en hauteur dominante et fertilité des peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Tunisie
- **Sigaut Francois**, 1992. Rendement semis et fertilité: signification analytique des rendements
- **Soulères Gérard**, 1975. Classes de fertilité et production des forêts tunisiennes de pin d'Alep P41

- **Temple Ludovic et Achard Raphael**, 1995. La gestion de la fertilité dans les systèmes de culture du bananier-plantain dans le sud ouest. P02
- **Toth, 1973**, Jean. Première approche de la production potentielle du Cèdre de l'Atlas dans le Sud de la France. *Revue forestière française*
- **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. Thés. Doc. Uni. Aix Marseille, Marseille.
- **Toth J, 1990**. Le cèdre II. Utilisation et qualité technologique du bois. La Forêt Privée, n° 1 97, p57-60.

Résumé

L'objectif de ce travail est la caractérisation des niveaux de productivité du cèdre de l'Atlas dans cinq régions forestière au Djurdjura par le biais de la croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge ajustée à partir du modèle de croissance de Chapman Richards. Ce modèle exprime la variabilité du potentiel productif du cèdre de l'Atlas qui correspond à des hauteurs dominantes à l'âge de référence de 70ans.

Des mesures dendrométrique (hauteur et diamètre) tige sont effectuées dans 42 placettes de 2 à 6,25 ares. Dans chaque placette nous avons prélevés une carotte de l'arbre de diamètre moyen à l'aide d'une tarière pour déterminer l'âge.

Les résultats montrent l'existence d'une bonne corrélation entre les deux paramètres âge et hauteur dominante c.-à-d. une évolution régulière de la hauteur dominante en fonction d'âge, ce qui signifie que les individus du cèdre de l'Atlas se développent selon la fertilité de la station.

L'utilisation du modèle de Chapman Richards nous a permis d'avoir trois classes de fertilité. Il ressort qu'à un âge de référence de 70 ans, la quasi-totalité des placettes étudiées (soit 95%) se localise dans les classes de fertilité II et III.

Mots clés : *Cedrus atlantica*, productivité, classes de fertilité, hauteur dominante, âge, Djurdjura