

---

Soumis le : 02/11/2014  
Forme révisée acceptée le 18/12/2015  
Email de l'auteur correspondant :  
laaribysaid@gmail.com

---

---

**Nature & Technology**

---

## Dynamique et accroissement radial du Cèdre de de l'Atlas (Cedrusatlantica) – Cas de la forêt d'Azrou (Maroc)

\*Pr. LAARIBYA Said<sup>a</sup>, Pr BELGHAZI Bakhyi<sup>b</sup>,

a Professeur à l'Université Ibn Zohr-Agadir –Campus Ait Melloul- Maroc

b Professeur à l'Ecole Nationale Forestière d'ingénieurs-Salé Maroc

### **Résumé:**

Le renouvellement des connaissances, des techniques et des demandes de la société ont fait de l'aménagement forestier un instrument fondamental d'une gestion durable des écosystèmes forestiers. Il devait répondre à un objectif de préservation et de croissance équilibrée du peuplement forestier. L'aménagiste ayant acquis de nouvelles expériences, forge de nouveaux instruments pour améliorer l'état des forêts à travers une division des espaces forestier en séries selon un diagnostic approfondi et une planification des interventions dans le temps et dans l'espace. Ainsi, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des traitements sylvicoles dans la forêt d'Azrou, sur l'accroissement du cèdre de l'Atlas sur un échantillon de 88 placettes, préconisés dans le groupe d'amélioration par l'aménagement forestier. Cependant, du fait de l'hétérogénéité du milieu, nous avons étudié l'effet des facteurs prépondérants de la station (substrat, profondeur du sol) sur ce même phénomène de croissance des arbres. Les résultats obtenus ont permis mettre en relief la dynamique de l'accroissement radial en fonction des principaux descripteurs du milieu. En effet, la profondeur du sol et le substrat basaltique stimule positivement cet accroissement mieux que le calcaire; l'accroissement radial diminue avec l'augmentation de la densité du peuplement et il est intéressant autour de 40 m<sup>2</sup>/ha de surface terrière. Les résultats obtenus permettent de guider les choix des opérations sylvicoles en fonction des milieux, et ce en vue d'une meilleure productivité du cèdre de l'Atlas.

**Mots clés :** Aménagement forestier, Azrou, groupe d'amélioration, cèdre de l'Atlas, Accroissement radial

### **Abstract:**

The renewal of knowledge, techniques and applications of the company have made forest management a fundamental instrument for sustainable management of forest ecosystems. It had to meet a goal of preservation and balanced growth of the forest stand. The manager has acquired new experiences, forge new tools to improve the forest condition through a division of forest areas in series in a thorough diagnosis and planning of interventions over time and space. Thus, the objective of this study is to evaluate the impact of silvicultural treatments in the forest of Azrou, on increasing the Atlas cedar on a sample of 88 plots recommended in the group of improvement forest management. However, due to the heterogeneity of the environment, we studied the effect of overriding factors of the resort (substrate, soil depth) on this same phenomenon of tree growth. The results obtained allowed to highlight the dynamics of radial growth based on key descriptors of the environment. Indeed, soil depth and basaltic substrate positively stimulates this growth better than limestone; radial growth decreases with increasing stand density and it is interesting around 40 m<sup>2</sup> / ha of basal area. The results are used to guide the choice of silvicultural operations according to the environment, and for better productivity of Atlas cedar.

**Keywords:** Forest management, Azrou, improvement group, Atlas cedar, radial growth

## 1- Introduction

La diversité des conditions climatiques et écologiques du Maroc ainsi que sa position de rencontre entre la flore européenne, saharienne et macaronésienne en font un véritable carrefour floristique d'une diversité et d'une complexité incontestable. De cette diversité, résulte une grande richesse floristique et faunistique des espaces forestiers qui couvrent près de 9 millions d'hectares, soit un taux de couvert de 12,7 % du territoire national et un taux moyen de boisement de 8 % [1].

Parmi les essences forestières du Maroc, le cèdre de l'Atlas est l'essence noble, appréciée pour ses utilisations diverses qui se manifestent par ses valeurs technologiques, écologiques et socioéconomiques[6]. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrusatlantica*) pourrait être considéré comme une essence de climat de transition entre les climats froids et humides et les climats chauds et secs [1]. Son optimum correspond d'après M'hirit(1982) à l'étage méditerranéen. Son aire est associée au climat méditerranéen[8].

Sur le plan économique<sup>1</sup>, une grande partie de familles riveraines vivent directement des ressources offertes par les cédraies (bois de feu, bois de construction, parcours etc.) ; Sur le plan écologique, le cèdre organise des écosystèmes forestiers très importants. Il occupe une place remarquable, sinon au premier rang dans le paysage forestier marocain. Quant à sa valeur biogéographique, elle est liée au fait qu'il représente chez nous un genre ancien dont l'apparition remonte au Crétacé inférieur.

Actuellement, dans beaucoup de régions, les cédraies apparaissent sous forme de peuplements clairsemés ou en voie de disparition. En effet, la cédraie marocaine affiche une tendance régressive aussi bien

dans le temps que dans l'espace. Parmi les facteurs généralement incriminés pour cette évolution régressive de la cédraie en particulier et de la forêt marocaine en général nous pouvons citer la difficulté voire l'absence d'une régénération des peuplements, et les problématiques socio-économiques. L'emprise anthropique (pâturage, culture...etc.) fait ombrage aux carences techniques, et aux défaillances culturelles.

La foresterie marocaine souffre grossièrement de l'absence d'une pratique sylvicole appropriée aux conditions écologiques et socio-économiques de nos peuplements [10]. Mais, force est de constater que malgré l'effort consenti pour l'élaboration des plans d'aménagement des forêts, l'objectif primordial sur lequel ils ont mis l'accent à savoir, la régénération et la pérennité de la cédraie non seulement n'a pas été atteint, mais la dégradation des écosystèmes forestiers continue avec un rythme alarmant.

En ce qui concerne l'historique les aménagements du cèdre de l'Atlas (Cas Azrou)<sup>2</sup> ont fixé deux principaux objectifs à savoir (1) l'amélioration et la conservation de la cédraie, (2) la reconstitution des peuplements dégradés. Cependant, les approches adoptées n'ont pas donné de résultats satisfaisant en matière de régénération et d'amélioration des cédraies.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact des conditions du milieu et des traitements sylvicoles préconisés dans les cédraies du Moyen Atlas<sup>3</sup> au niveau de la

<sup>2</sup>Aménagement classique normal intéresse les forêts ou massifs composés d'essences nobles à haut productivité comme c'est le cas du cèdre de l'atlas. Il est basé sur la récolte précise des informations techniques et socio-économiques pour une gestion plus fine afin d'obtenir des données plus précises relatives à taux de sondage, étude des accroissements et de productivité...

<sup>3</sup> Au Moyen Atlas on distingue (1) les cédraies du Moyen Atlas central : Elles constituent l'ensemble le plus important du cèdre de l'Atlas d'une superficie de l'ordre de 120.000 hectares sur substrat calcaire ou dolomitique du lias et du jurassique. Deux groupes se distinguent par leur structure morphologique et phytocécologique : le groupe du causse moyen atlasique tabulaire au nord et le groupe du Moyen Atlas plissé au sud constitué par des reliefs plus individualisés ; et (2) Les cédraies du Moyen Atlas oriental : D'une superficie de l'ordre de 23.000

<sup>1</sup>Le volume moyen annuel produit en bois d'œuvre est de 100 000 m<sup>3</sup> au niveau national alors qu'il est de l'ordre de 80 000 m<sup>3</sup> dans le Moyen Atlas soit 80 % de la production nationale ce qui montre l'importance de la cédraie du Moyen Atlas en matière de production du bois d'œuvre au Maroc. Le bois d'œuvre produit est destiné au sciage. Le cèdre de l'Atlas représente en moyenne 40 % du volume de bois d'œuvre cédé au marché National.

forêt d'Azrou, sur la croissance radial du cèdre de l'Atlas dans le groupe d'amélioration prévu par l'aménagement de 1979. En fait, les objectifs scientifiques de ce travail visent à évaluer les variations de l'accroissement radial selon le substrat, la profondeur du sol, la densité du peuplement, la surface terrière et les traitements sylvicoles matérialisés par des coupes d'amélioration (Eclaircies).

## **2- Matériels et méthodes**

La présente étude a été réalisée dans la forêt d'Azrou qui s'étend sur la bordure nord du plateau du Moyen Atlas qui fait partie des régions montagnardes du Maroc.

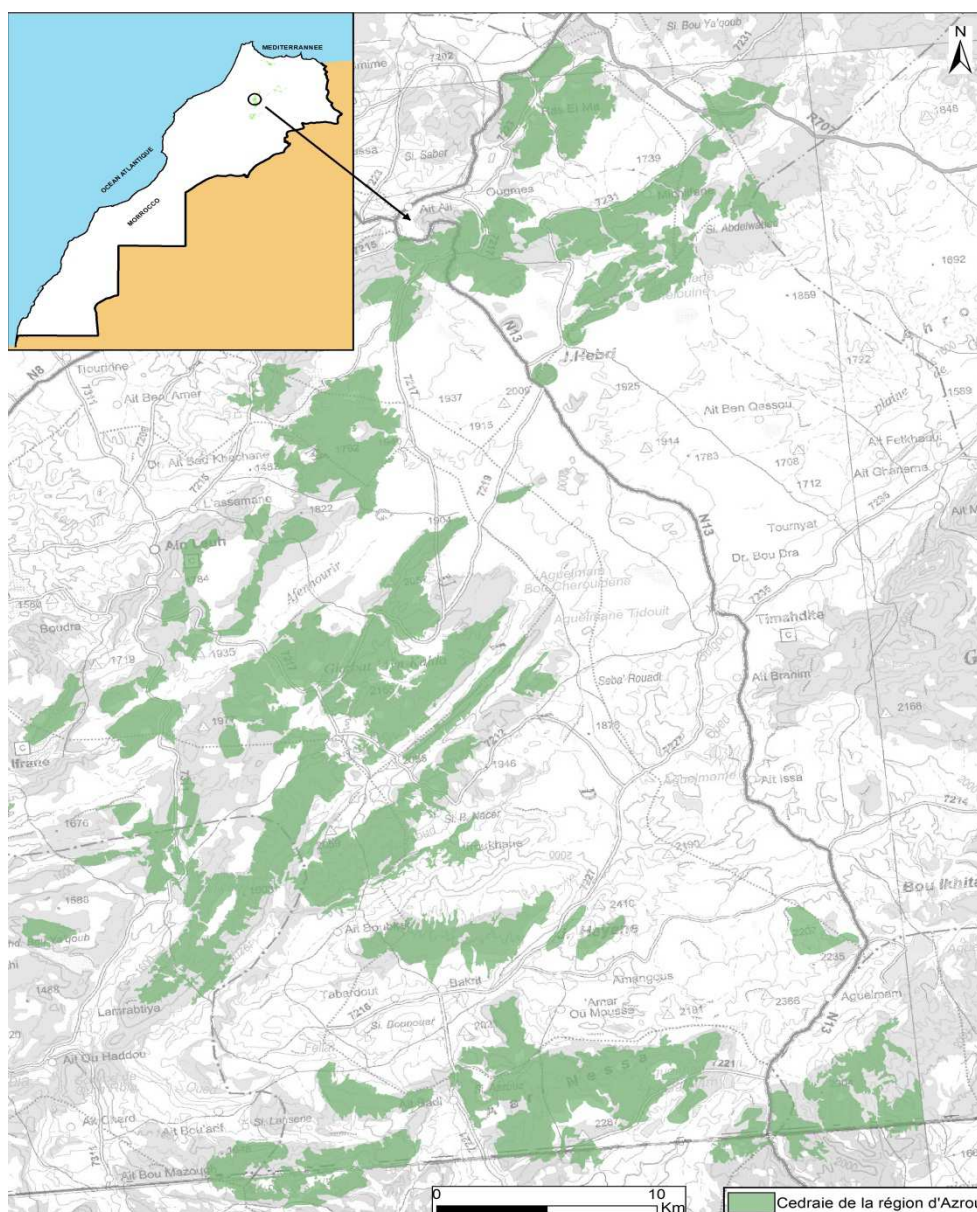
La cédraie d'Azrou<sup>4</sup> fait partie des régions forestières du Moyen Atlas. C'est une cedretum-Quercetum, située à une altitude variant de 1250m (Azrou) à 2103 m (jbelHebri) [11]. La forêt d'Azrou est d'une superficie totale de 17.744 ha dont 13 644 ha boisés, le reste, soit 4100 ha est constitué de clairière et de bordures non boisées.

Les précipitations sont très élevées (environ 800 mm/an) et se produisent sous forme de pluies ou de neiges [10]. Le coefficient pluviométrique d'Emberger de la forêt d'Azrou varie entre 101 à 114 définissant un climat méditerranéen, humide à variante froide[10].

---

hectares, les cèdres du Moyen Atlas oriental sont individualisés en petit flots dans les massifs de Bou-Iblane, de Taffert et de Tamtroucht au nord et dans les massifs de Bou-Naceur au sud sur substrat dolomitique ou marno-calcaire de Toarcien-Aolenien.

<sup>4</sup> Arbre de grande valeur esthétique, au port remarquable, très largement apprécié ; forme des forêts d'agrément très riches en oiseaux et à la flore variée. Cette forêt d'Azrou joue un rôle important dans la région à savoir (1) la protection des sols contre l'érosion, Conservation des eaux et des sols, et Reconstitution de milieux forestiers dégradés grâce à leur relative rusticité et à leur capacité de dissémination naturelle ; (2) la production de Bois d'oeuvre:



**Figure 1 :** Carte de situation de la cédraie d’Azrou (zone d’étude)

En plus des données concernant les prévisions et les réalisations afférentes à l’aménagement de la cédraie d’Azrou, nous avons eu recours aux renseignements sur le déroulement de l’application de l’aménagement [9] et notamment sur les données des réalisations des éclaircies dans le temps et dans l’espace pour localiser la zone ciblée de nos investigations sur le terrain. Ainsi un seul groupe d’amélioration a été identifié au niveau des trois séries de

l’aménagement et où le cèdre est le plus abondant.

### **2.1. Échantillonnage :**

**Taille de l’échantillon :** Nous avons inventorié 88 placettes dans le groupe d’amélioration de la forêt du cèdre d’Azrou. La répartition des placettes circulaire de 5 ares a été opérée d’une manière aléatoire selon l’allocation optimale des strates dans le système cible (groupe d’amélioration).

En effet, les 3 critères de stratification ont été retenus à savoir :

- Les coupes d'éclaircies<sup>5</sup> réalisées au fur et à mesure de l'application de l'aménagement forestier. (0 coupe, 1 coupe, 2 coupes, et 3 coupes et plus ;
- Le groupe d'amélioration dans les 3 séries de l'aménagement ;
- La nature du substrat composé de basalte (série 1) et de calcaire (séries 2 et 3). le substrat a été évalué en utilisant la carte et les informations sur les sols déjà publiées dans les aménagements antérieurs.

**Collecte de l'information :** Dans le souci de répondre aux objectifs fixés, nos investigations sur le terrain ont porté sur les données suivantes :

- Relevés écologiques : profondeur du sol à l'aide de la tarière, nature du sol, exposition, pente, altitude, état des peuplements et de la végétation.
- Inventaire du peuplement : inventaire classique de tous les arbres de la placette (circonférences, hauteurs, nombre etc..), et état sanitaire des cèdres. Le diamètre a été mesuré par et la hauteur a l'aide du relascope de Bitterlich<sup>6</sup>
- Données sur l'accroissement radial annuel : en effet, des carottes des dernières cernes sous écorces ont été prélevées à l'aide de la tarière de Pressler (tient son nom de son inventeur en 1867) suivant un rayon orienté vers le nord, à 1,30 m du sol, perpendiculairement à l'axe du tronc de l'arbre moyen de la placette. Compte tenu de la nature du terrain et de l'emplacement des placettes, nous n'avons pas corrigé les rayons des placettes. Sitôt après leurs prélèvements, la largeur des cernes a été mesurée par paires (2 ans) à l'aide d'une règle graduée en mm, ce qui nous permet

<sup>5</sup> En sylviculture, l'éclaircie est une opération consistant à supprimer un certain nombre d'arbres d'une parcelle au profit de ceux laissés en place. L'éclaircie permet à l'arbre d'accroître son diamètre et sa hauteur, au peuplement de se régénérer et de s'assurer une meilleure stabilité face aux accidents climatiques et au propriétaire de valoriser son patrimoine forestier.

<sup>6</sup> Un relascope est un outil inventé par Walter Bitterlich permettant d'estimer localement et simplement la surface terrière d'une forêt, le diamètre, la hauteur... des arbres. Il est utilisé pour faire un inventaire forestier

d'avoir les accroissements radiaux en question.

## 2.2. Analyses statistiques :

**Le test de Student :** Le test de Student, ou test t, est un ensemble de tests d'hypothèse paramétriques où la statistique calculée suit une loi de Student lorsque l'hypothèse nulle est vraie. Un test de Student peut être utilisé notamment pour tester statistiquement l'hypothèse d'égalité de l'espérance de deux variables aléatoires suivant une loi normale et de variance inconnue. La valeur de  $t_{obs}$  est obtenue au risque de probabilité de 5%, la valeur théorique de  $t$  de student pour le degré de liberté 86 est égale à 1,99. Si cette valeur est nettement inférieure à  $t_{obs}$ . La différence des deux moyennes étant alors significative

### **Analyse de la variance et comparaison multiple des moyennes:**

Dans l'objectif de tester l'effet des principaux facteurs du milieu sur l'accroissement radial des populations locales, nous avons eu recours à cette analyse. En effet, le principe de l'analyse de la variance à un seul critère de classification consiste à comparer les moyennes de plusieurs populations supposées normales et de même variance, à partir d'échantillons aléatoires, simples et indépendants (Dagnélie, 1977 in Laaribya, 1998). De façon pratique, l'analyse de la variance permet de vérifier l'existence ou l'absence d'une variation. Les hypothèses de base à vérifier à un seuil de probabilité fixé, sont les suivant :

Hypothèse nulle : les moyennes sont identiques, et aucune variation significative n'est décelée.

Hypothèse alternative : il existe au moins deux moyens différents. Dans ce cas l'hypothèse nulle est rejetée.

Par la suite, dans l'éventualité d'une variation, il s'impose un test de comparaison des moyennes pour chaque facteur. Ce test devrait isoler les groupes de moyennes significativement différentes.

Les tests de comparaison étant nombreux dans la littérature. Le test retenu dans cette

étude est le test de Sheffé car les échantillons sont d'effectifs inégaux.

### La régression linéaire et régression pas à pas

Nous avons eu recours également à un modèle de régression linéaire en vue de présenter un modèle de régression d'une variable expliquée sur une ou plusieurs variables explicatives dans lequel on fait l'hypothèse que la fonction qui relie les variables explicatives à la variable expliquée est linéaire dans ses paramètres. Formellement, on modélise la relation entre une variable aléatoire  $y$  et un vecteur de variables aléatoires  $x$ . De manière générale, le modèle linéaire peut s'écrire de la manière suivante. Dans cette étude, la

variable dépendante est l'accroissement moyen annuel (AMA) calculé à partir des données de chaque arbremoyen de la placette. Les variables indépendantes sont les indicateurs : la densité à l'hectare ( $N$ ), la surface terrière à l'hectare ( $G$ ), l'intensité des coupes d'amélioration ( $Nc$ ) (0 coupe, 1 coupe, 2 coupes et 3 coupes), et la profondeur des sols ( $P$ ) qui est mesuré, en plus de la carte des sols, à l'aide d'une tarière au niveau de chaque placette.

La régression linéaire pas à pas permet d'identifier parmi les variables étudiées celles qui expliquent le mieux l'accroissement du cèdre. Cette méthode consiste à n'inclure dans l'équation que des variables dont la contribution marginale est significative.

Tableau 1 : Répartition des placettes échantillon dans le groupe d'amélioration

Série	Strate (Intensité des éclaircis)	Nombre de parcelles	Nombre de placettes échantillon	Substrat
Série I	0 coupe	1	8	Basalte
	1 coupe	2	8	Basalte
	2 coupes	4	8	Basalte
	3 coupes et plus	0	0	Basalte
Série II	0 coupe	2	8	calcaire
	1 coupe	2	8	calcaire
	2 coupes	1	8	calcaire
	3 coupes et plus	2	8	calcaire
Série III	0 coupe	2	8	calcaire
	1 coupe	2	8	calcaire
	2 coupes	2	8	calcaire
	3 coupes et plus	1	8	calcaire

### 3- Résultats et discussions

Le problème de l'amélioration du cèdre domine toute la question du traitement de l'espèce et c'est sa solution qui conditionne les méthodes culturales ou d'aménagement à lui appliquer. Cependant, les règles d'aménagement pratiquées dans cette cédraie en vue de la production maximale du bois d'œuvre et la nécessité de renouveler le peuplement ont posé des problèmes à la cédraie. Les principales causes retenues pour expliquer la croissance et la régénération dans le cadre de l'aménagement des cédraies sont:

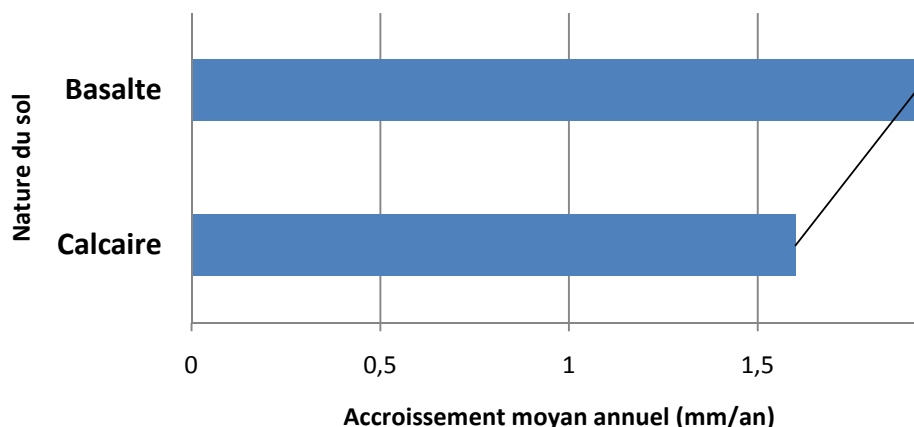
- L'insuffisance de toute opération sylvicole préalable préparant les peuplements à l'amélioration et à la régénération ;
- Le manque de connaissance approfondie sur les caractéristiques du milieu et des écosystèmes où se développe le cèdre.

La variation de l'accroissement radial en fonction du sol est représentée dans la figure 3. S'agissant de deux types de substrats (basalte et calcaire), la comparaison des accroissements moyens est faite par le test de Student [10].

Pour des moyennes ( $M_c$  et  $M_b$ ) égales respectivement à 1,6 et 1,92 mm/an, la différence des deux moyennes est alors significative.

Les moyennes des accroissements dans les substrats diffèrent significativement entre elles. Sur substrat basaltique, l'accroissement radial est plus fort, ce qui traduit sa richesse et son bilan hydrique favorable[9]. Le cèdre est indifférent à la nature chimique du sol tandis que sa constitution physique joue un rôle prépondérant. Du point de vue lithologique, le cèdre semble se développer mieux sur substrats acides et plus particulièrement sur basalte[8].

#### 3.1. Impact du substrat sur l'accroissement radial



**Figure 3:** Impact du substrat sur l'accroissement radial du cèdre (mm/an)

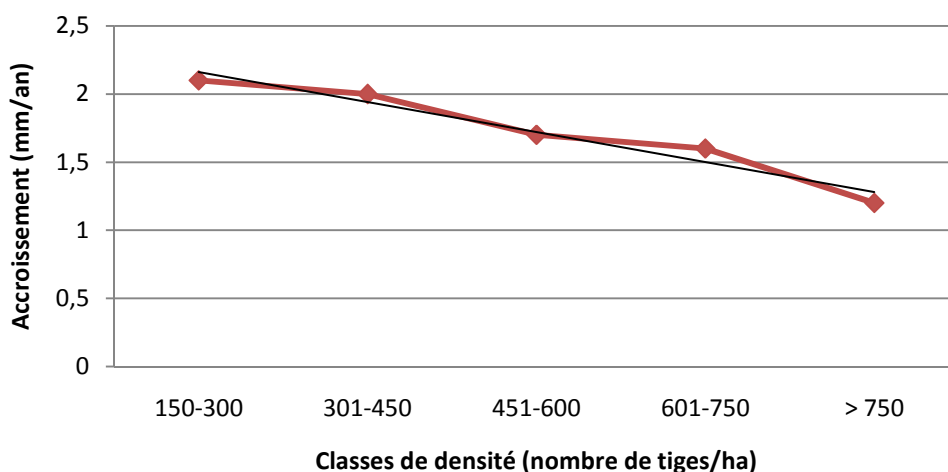
### 3.2. Impact de la densité du peuplement sur l'accroissement radial

Les variations de l'accroissement radial en fonction de la densité du peuplement sont représentées dans la figure 4. Les accroissements moyens par niveau de densité sont respectivement égaux à 2,1 ; 2 ; 1,7 ;1,6 ;et 1,2 mm/an. Le tableau 2 d'analyse de la variance à un seul critère de classification obtenu est le suivant :

**Tableau 2 :** analyse de la variance de l'accroissement radial selon la densité

Source de variation	DL	SC	CM	FOBS
Densité	4	7,868	1,967	14,461
Résiduelle	83	11,291	0,136	
Total	87	19,159		

Au seuil de probabilité de 5% la valeur théorique de  $F(4,83)$  est de 2,48, valeur inférieure à  $F$  observé, la différence des moyennes étant alors significative. La croissance radiale est donc influencée par la densité du peuplement. Cette variation globale suscite le test de comparaison multiple des moyennes. Selon la méthode de Sheffe, cette comparaison est illustrée dans le tableau 3.



**Figure 4:** Impact de la densité sur l'accroissement radial du cèdre de l'Atlas (Noir : tendance et rouge c'est l'allure principale de la courbe)



**Tableau 3** : Comparaison multiple des accroissements moyens radiaux

Moyennes comparées	Intervalle de confiance	Résultat du test de Sheffé de la différence Des moyennes
Ad1-Ad2	(-0,46-0,71)	Non significatif
Ad1-Ad3	(-0,17-0,96)	Non significatif
Ad1-Ad4	(-0,09-1,07)	Non significatif
Ad1-Ad5	(0,36-1,53)	Signicatif
Ad2-Ad3	(-0,08-0,62)	Non significatif
Ad2-Ad4	(-0,01-0,74)	Non significatif
Ad2-Ad5	(0,45-1,20)	Signicatif
Ad3-Ad4	(-0,26-0,44)	Non significatif
Ad3-Ad5	(0,20-0,90)	Signicatif
Ad4-Ad5	(0,08-0,83)	Signicatif

Ad1-Ad2 Ad3-Ad4- Ad5 étant les moyennes respectivement des classes de densités 1, 2, 3, 4 et 5.

Selon la méthode de Sheffé les accroissements moyens des classes de densité 1, 2, 3 et 4 ne diffèrent pas significativement entre eux. Par contre tous ces accroissements diffèrent significativement de l'accroissement moyen calculé au niveau de la classe de densité 5 (> 750 tiges/ha). En effet, la classe de forte densité est caractérisée par un accroissement moyen annuel 1,2 mm/an, il est inférieur par rapport à celui des autres classes.

La comparaison des moyennes laisse apparaitre une différence nette de la croissance relative à la classe de forte densité (5<sup>ème</sup> classe : (> 750 tiges/ha). En effet, l'accroissement moyen annuel diminue avec l'augmentation de la densité (figure 4).La différence significative s'explique bien par l'intensité de la compétition interindividuelle au sein du peuplement du cèdre appartenant à cette classe (> 750 tiges/ha) de forte densité. Le niveau de la croissance est d'autant plus élevé que l'espacement entre individus est important.

En observant les moyennes par classe de densité, nous pouvons constater qu'un bon accroissement peut être obtenu à des densités inférieures à 750 tiges à l'hectare. La densité optimale est située entre 150 et 450 tiges à l'hectare.

### 3.3. Impact des coupes d'amélioration sur l'accroissement radial

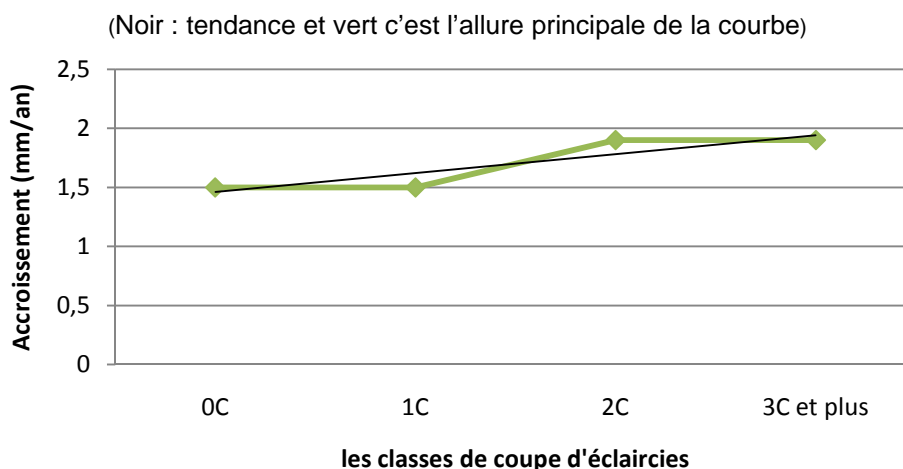
Les variations de l'accroissement radial en fonction des coupes d'amélioration sont représentées dans la figure 5 Les accroissements moyens par classes de nombre de coupes (0 coupe, 1 coupe, 2 coupes et 3 coupes sont respectivement égaux à 1,5 ; 1,5 ; et 1,9 mm/an. Le tableau d'analyse de la variance à un seul critère de classification obtenu est le suivant :

**Tableau 4** : analyse de la variance de l'accroissement radial selon le nombre de coupes

Source de variation	DL	SC	CM	FOBS
Coupes	3	3,773	1,258	6,865
Résiduelle	84	15,386	0,183	
Total	87	19,159		

Au seuil de probabilité de 5% la valeur théorique de F(3 ; 84) est de 2,72, valeur inférieure à F observé, la différence des moyennes étant alors significative. L'accroissement moyen est donc sensible au nombre de coupes d'amélioration. Encore une fois, cette variation globale suscite le test de comparaison multiple des moyennes. Selon la méthode de Sheffé, cette comparaison est illustrée dans le tableau 5.

**Figure 5:** Impact des coupes d'éclaircis sur l'accroissement du cèdre



**Tableau 5 :** Comparaison multiple des accroissements moyens radiaux

Moyennes comparées	Intervalle de confiance	Résultat du test de Sheffé de la différence Des moyennes
Ac0-Ac1	(-0,33-0,37)	Non significatif
Ac0-Ac2	(0,06-0,76)	Significatif
Ac0-Ac3	(0,05-0,84)	Significatif
Ac1-Ac2	(0,04-0,74)	Significatif
Ac1-Ac3	(0,03-0,82)	Significatif
Ac2-Ac3	(-0,36-0,43)	Non significatif

Ac0-Ac1- Ac2-Ac3 étant les moyennes respectivement des classes de coupes 0, 1, 2, 3 coupes

L'analyse des observations montre bien que les coupes d'amélioration ont un impact positif sur l'évolution de l'accroissement. En effet, lorsqu'on passe de 0 coupe à 3 coupes (respectivement de 1,5 à 1,9 mm/an), on gagne 0,4 mm/an. L'effet d'une seule coupe donnée n'a pas varié l'accroissement radial. Ceci peut être expliqué par l'intensité de cette coupe qui était faible. Entre 2 et 3 coupes l'accroissement n'a pas eu une variation significative (tableau 5). En effet, la 3<sup>ème</sup> coupe a laissé son impact non important par rapport à la 2<sup>ème</sup> coupe dans la mesure ou le test de sheffe est non significatif.

En conclusion, l'accroissement radial du cèdre de l'Atlas est sensible à l'intensité de coupes d'amélioration [5].

### 3.4. Impact de la surface terrière sur l'accroissement radial

Les variations de l'accroissement radial en fonction des classes de surface terrière sont représentées dans la figure 6.

A ce niveau, il s'agit d'analyser la variation globale entre les classes de surface terrière. Les accroissements moyens considérés sont : 1,1 ; 1,4 ; 1,8 ; 1,8 ; 1,9 mm/an.

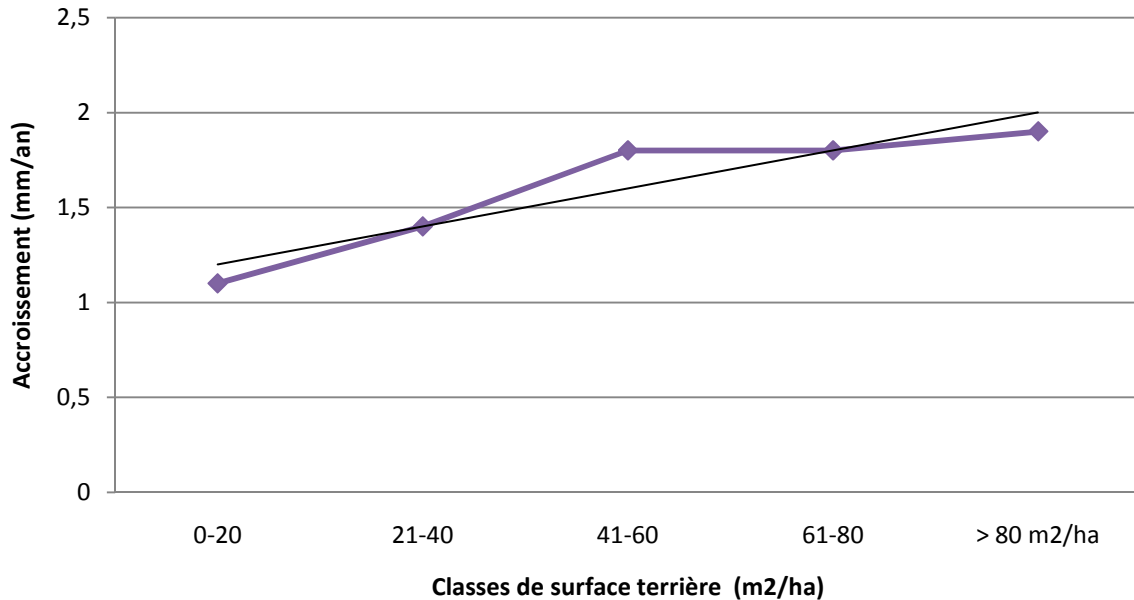
Le tableau d'analyse de la variance à un seul critère de classification obtenu est le suivant :

**Tableau 6 :** analyse de la variance de l'accroissement radial selon la surface terrière

Source de variation	DL	SC	CM	FOBS
Surface terrière	4	4,143	1,036	6,232
Résiduelle	83	13,794	0,166	
Total	87	17,937		

Au seuil de probabilité de 5% la valeur théorique de  $F(4 ; 83)$  est de 2,48, valeur inférieure à  $F$  observé (6,232), la différence des moyennes étant alors significative. L'accroissement moyen est influencé par la surface terrière. Encore

une fois, cette variation globale suscite le test de comparaison multiple des moyennes. Selon la méthode de Sheffé, cette comparaison est illustrée dans le tableau 7



**Figure 6:** Impact de la surface terrière sur l'accroissement radial du cèdre

(Noir : tendance et violet c'est l'allure principale de la courbe)

**Tableau 7 :** Comparaison multiple des accroissements moyens radiaux

Moyennes Comparées	Intervalle de confiance	Résultat du test de Sheffé de la différence Des moyennes
Ag1- Ag2	(-0,32-1,06)	Non significatif
Ag1- Ag3	(0,06-1,42)	Signicatif
Ag1- Ag4	(-0,02-1,41)	Non significatif
Ag1- Ag5	(0,08-1,56)	Signicatif
Ag2- Ag3	(0,03-0,71)	Signicatif
Ag2- Ag4	(-0,08-0,73)	Non significatif
Ag2- Ag5	(0,004-0,9)	Signicatif
Ag3- Ag4	(-0,35-0,44)	Non significatif
Ag3- Ag5	(-0,36-0,52)	Non significatif
Ag4- Ag5	(-0,36-0,62)	Non significatif

Ag1- Ag2- Ag3- Ag4- Ag5 étant les moyennes respectivement des classes de surface terrière 1, 2, 3, 4 et 5.

Nous pouvons constater à partir de ces moyennes que contrairement à la densité, l'accroissement moyen augmente avec l'augmentation de la surface terrière jusqu'à 40 m<sup>2</sup>/ha. Figure 6.

Les deux premières classes sont non significatives entre eux, et manifestent un accroissement relativement faible par rapport aux autres classes, elles sont significatives par rapport à la 3<sup>ème</sup> classe et la 5<sup>ème</sup> classe mais non significatives à la 4<sup>ème</sup> classe.

Dans l'éventail de surface terrière comprise entre 0-40 m<sup>2</sup>/ha (classe 1 et 2), les accroissements radiaux ne sont pas significativement différents. Il en est de même dans l'éventail de plus de 41 m<sup>2</sup>/ha (classe 3, 4 et 5).

Les deux premières classes (0\_40 m<sup>2</sup>/ha) manifestent un accroissement relativement faible par rapport aux autres classes. Les classes 3 et 4 présentent le même accroissement. Ainsi, à partir de la 3<sup>ème</sup> classe, il y a une certaine stabilisation de l'accroissement moyen autour de 40 m<sup>2</sup>/ha.

En conclusion, nous pouvons dire que l'accroissement radial est sensible à la variation de la surface terrière. Il est intéressant autour de 40 m<sup>2</sup>/ha.

### 3.5. La régression linéaire

Les modèles de régression sont des équations qui traduisent les relations entre

L'examen de la matrice de corrélation fait ressortir les résultats suivants :

- La profondeur du sol est la mieux corrélée avec l'accroissement ( $R= 0,73$ ) ;
- La densité du peuplement est corrélée négativement avec l'accroissement alors que la profondeur du sol, surface terrière et l'intensité des coupes d'amélioration sont corrélés positivement avec l'accroissement.

Les faibles corrélations entre (accroissement, intensité de coupe) et (accroissement, surface terrière) peuvent être expliqué par le fait que les coupes d'éclaircis ne respectent pas le programme prévu par l'aménagement forestier. Elles ont plutôt un caractère d'exploitation et non pas des coupes d'amélioration réalisées dans les règles de l'art. A cet effet, une main d'œuvre plus qualifiée

une variable dépendante et une ou plusieurs variables indépendantes[2].

Dans cette étude, la variable dépendante est l'accroissement moyen annuel (AMA), les variables indépendantes sont les indicateurs : la densité à l'hectare (N), la surface terrière à l'hectare (G), l'intensité des coupes d'amélioration (Nc) (0 coupe, 1 coupe, 2 coupes et 3 coupes), et la profondeur des sols (P).

Avant de procéder à l'élaboration du modèle de régression, nous avons construit une matrice de corrélation entre ces différentes variables pour essayer de mettre en évidence les variables les plus corrélées avec l'accroissement radial (AMA).

### Matrice de corrélation

	AMA	G	N	Nc	P
AMA	1,00				
G	<u>0,403*</u> 0,4	1,00			
N	<u>-0,676*</u> 0,3	-0,151	1,00		
Nc	<u>0,406*</u> 0,4	0,309	-0,271	1,00	
P	<u>0,738*</u> 0,3	0,293	-0,435	0,337	1,00

\*Corrélation significative au seuil de probabilité P= 5%.

devra réalisée ce genre de coupe avec un suivi et un encadrement de proximité par des ingénieurs spécialisés en aménagement des forêts.

Dans le but d'étudier l'effet conjugué de l'ensemble des variables sur l'accroissement moyen radial des cèdres de l'Atlas, l'emploi de la régression pas à pas peut fournir des informations intéressantes.

### 3.6. Analyse de l'action simultanée des facteurs étudiés sur l'accroissement radial

La méthode envisagée pour construire un modèle à la fois prédictif et explicatif de l'accroissement radiale du cèdre de l'Atlas à partir des observations quantitatives est la régression linéaire pas à pas[2]. Les résultats de cet ajustement sont consignés dans le modèle suivant :

Model	R2	Fobs	Sy. x
AMA = 1,582 + 0,012 P – 0,001 N + 0,004 G	0,735	77,619	0,246

Selon ce modèle on constate que la profondeur du sol, la densité des peuplements à l'hectare et la surface terrière sont les seules variables déterminantes qui expliquent le mieux la variation des accroissements du cèdre de l'Atlas. Cependant, si on se réfère aux résultats de l'analyse de la variance, on constate que l'effet du facteur coupes d'amélioration n'est pas retenu dans le modèle. Cette situation montre l'impact limité des actions prévues par l'aménagement de cette forêt sur la croissance du cèdre de l'Atlas.

#### 4. Conclusion

L'analyse et l'interprétation des méthodes statistiques ont permis d'expliquer les facteurs qui exercent une influence sur l'accroissement radial du cèdre de l'Atlas dans le groupe d'amélioration.

Ainsi, il se dégage de cette analyse les observations suivantes :

- Le substrat basaltique stimule positivement l'accroissement radial, beaucoup mieux que le calcaire ;
- La profondeur du sol favorise aussi l'accroissement radial du cèdre de l'Atlas. En effet, plus le sol est profond plus on gagne en terme d'accroissement ;
- L'accroissement radial diminue avec l'augmentation de la densité du peuplement et il est meilleur à des densités inférieures à 750 tiges à l'hectare ;
- Les coupes d'amélioration ont un impact positif sur l'accroissement du cèdre à condition qu'elles soient réalisées dans les règles de l'art (époque, espace et main d'œuvre qualifiée) ;
- L'accroissement radial augmente avec la surface terrière et il est intéressant autour de 40 m<sup>2</sup>/ha ;

Enfin, la régression pas à pas montre que la profondeur du sol, la densité des peuplements à l'hectare et la surface terrière sont les seules variables

déterminantes qui expliquent le mieux la variation des accroissements du cèdre de l'Atlas.

Du point de vue lithologique, le cèdre semble se développer mieux sur substrats acides et plus particulièrement sur basalte [5].

L'application de méthodes sylvicoles raisonnées durant l'application de l'aménagement forestier devra être exécutée avec une main d'œuvre qualifiée en tenant compte des indicateurs sylvicoles et écologiques en vue d'assurer une meilleure croissance des arbres. Le forestier doit veiller et mener une sylviculture adaptée qui suppose des coupes de bois. Les modalités de la récolte et d'intervention sont à décider et à programmer selon les propositions de l'aménagement forestier.

#### Références bibliographiques

- [1] Aussenac G, Granier A, Gross P. (1980) Comportement hydrique estival de *Cedrusatlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Willd. et de divers pins du Mont-Ventoux. Ann Sci For; 19 : 41-62.
- [2] Aussenac G. et Valette j.c, (1982). Comportement hydrique estival de *Cedrusatlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Wild et divers pins dans le Mont Ventoux. Ann. Scien. Forest., Vol. 39 (1), pp. 41-52.
- [3] Benbarek M., (1985). Productivité et modèles de croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrusatlantica* Manetti et construction des tables de production des cédraies du Rif. Mémoire de 3ème cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, pp. 124.
- [4] Draper N et Smith H., (1981): Applied regression analysis. Sec.Edit. John Wiley and Son.
- [5] HCEFLCD, (2005) : Plan decennal 2005-2014\_Rapport de synthèse

[6] Lepoutre B. (1963) Recherche sur les conditions édaphiques de régénération des cédraies marocaines. Ann Rech For; 6, Rapport 1957-1961, fasc. 2 ; 210 p.

[7] Marion J. (1954) La régénération naturelle dans les cédraies du rebord septentrional du Moyen Atlas occidental calcaire. Ann Rech For, fasc. 1 : 47-146.

[8] M'hirt O. 1982: Etude écologique et forestière des cedraies du Rif marocain. - Essai sur sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre (*cedrusatlantica* Manetti). Annales de la recherche forestière au Maroc. Tome 22.

[9] M'hirt O et al (1993) : le cèdre de l'Atlas : actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas ; Annales de la recherche forestière maroc.

[10] Laaribya. S., (1998) : Impact des traitements sylvicoles sur le comportement et la dynamique des cédraies du Moyen Atlas, cas de la forêt d'Azrou- mémoire de troisième cycle, ENFI.

[11] Nedjahi A., (1987). La croissance et la productivité du cèdre de l'Atlas à Chré. Ann. de la Rech. Fores, en Algérie, vol. II, n°2 pp. 23-59.

[12] Laaribya S., (2006): Il faut sauver la forêt de la Maamora (Maroc), Revue de la forêt méditerranéenne TXXVII N°1, Mars 2006 pp.65-72.

[13] Laaribya S, Gmira. N, Alaoui. A., (2010): Towards a coordinated development of the forest of Maamora (Morocco): Journal of Forestry Faculty- Kastamonu university – Turquie pp 172 - 179-Kasım 2010 Vol: 10 No: 2 Nov 2010.

[14] M'Hirit O. (1993) Le cèdre de l'Atlas (*Cedrusatlantica* Manetti), présentation générale et état des connaissances à travers le réseau *Silva mediterranea* « le Cèdre ». Ann Rech For; 27 (spécial), vol. 1 : 4-21.

[15] Tell C. (1985) Recherches dendrochronologiques sur le cèdre de l'Atlas (*Cedrusatlantica* (Endl.) carrière) au Maroc. Thèse de Doctorat. Université catholique de Louvain-la-Neuve, Belgique,; 231 p.

[16] Toth J., (1977). Première approches de la production potentielle du cèdre de l'Atlas dans le sud de la France. Rev. For. Fr. n° 73/S, p. 381-389.