

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université El-Hadj Lakhdar

– Batna –

Institut des sciences vétérinaires

Et des sciences agronomiques

Département d'Agronomie



MÉMOIRE

De Magistère en Agronomie

Option : Foresterie et Conservation des sols

Présenté par :

GOUBI Mostefa

**Croissance et productivité du pin d'Alep dans
quelques stations du massif des Aurès**

Devant la commission d'examen :

M. OUDJEHIH B.	Prof.	Université de Batna	Président
M. BENTOUATI A.	M.C (A)	Université de Batna	Directeur de thèse
M. MESSAOUDENE M	Dir de recherche	INRF (Tizi Ouzou)	Examineur
M. HALITIM. O	Prof.	Université de Batna	Examineur
M. MALKI. H	M.C (B)	Université de Batna	Invité

Année 2011

Remercîments

J'exprime mes remerciements les plus dévoués à Mr. BENTOUATI .A, mon promoteur qui est maître de conférences (A) à l'université de Batna, d'abord pour avoir accepté de bon gré de diriger mon travail, ensuite pour ses précieux conseils et surtout sa disponibilité.

Je remercie également :

Monsieur OUDJEHH .B, professeur à l'université de Batna, pour l'honneur qu'il me fait en présidant le jury. Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

Messieurs, HALITIM.A professeur à l'université de Batna, MESSAUDENE.M directeur de recherche à l'INRF de Tizi-Ouzou, MALKI.H Maître de conférence(B) à l'université de Batna, pour l'Honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner et de juger ce travail.

Il m'est agréable d'adresser mes sentiments de reconnaissance à mes collègues de travail au parc national de Belezma pour leur soutien moral et pour leur aide, à leur tête messieurs BALA.B chargé de la station sîgue et BOUSANTOUH.A chef secteur.

Toute ma gratitude pour Messieurs ABDELAZIZ.S et GHOUDBANE.A, pour leur aide et leur spontanéité pour la mise en forme de ce travail.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction

1^{er} Partie Bibliographique

Chapitre I : présentation de l'espèce

1. Taxonomie	1
2. Aire de répartition du pin d'Alep.....	1
2-1 Dans le monde	1
2-2. En Algérie	2
3 Ecophysiologie.....	3
3-1 Maturité et période de germination des graines.....	3
3-2 Régénération en l'absence de perturbations.....	3
3-3 Régénération après incendie.....	3
3-4 Phénologie, physiologie et croissance.....	4
3-5 Plasticité écologique.....	4
4 Sylviculture de l'espèce :.....	5
4-1 Conduite des peuplements.....	5
4-2 Les principaux travaux sylvicoles appliqués	6
Conclusion :.....	6

Chapitre II : Les tarifs de cubage

Introduction.....	7
1. Les tarifs de cubage	7
2. Récolte des données pour la construction d'un tarif de cubage	8
3- Construction proprement dite d'un tarif de cubage :.....	9
3-1 La méthode directe	9
3-2- La méthode mathématique	9
4- Cubage par billons successifs.....	9
5- Equations de rapport de volumes et les Fonctions de défilement :.....	10

5-1 Equations de rapport de volumes.....	10
5-2 Fonctions de défilement :	10
Conclusion :	11

Chapitre III : La croissance et la productivité

Introduction	12
1- Concept général de la productivité.....	12
2- Appréciation de productivité	13
3- Les méthodes quantitatives d'appréciation de la productivité.....	13
3-1 Méthodes dendrométriques directes.....	13
3-1-1. Production totale en volume.....	14
3-1-2 Accroissement annuel moyen total en volume.....	14
3-1-3 Accroissement périodique en volume.....	14
3-2 Méthode dendrométrique indirecte	14
3-2-1 La hauteur :.....	14
3-2-2 Relation entre la hauteur et la production totale.....	15
3-3 - Méthodes mixtes.....	15
3-3-1 Indice de productivité mixte.....	15
3-4 Estimation de la productivité.....	15
3-4-1 Choix d'un critère de croissance.....	15
3-5 établissement des courbes de productivité et fixation de leurs niveaux.....	16
3-6 Modélisation de la croissance et de productivité	17
Conclusion :	18

2^{ème} partie : Etude expérimentale

Chapitre I : Cadre d'étude

Introduction :	19
1- Situation de la forêt.....	19
2- Milieu physique	21
2-1- Pédologie.....	21
2-2- géologie	22

3- la végétation	22
3-1 Les groupements végétaux.....	22
3-1-1 Pinède à Chêne vert.....	22
3-1-2 Pinède à Romarin.....	23
4- Etat sylvicole et sanitaire des peuplements.....	23
5- le climat.....	24
5-1 Le choix de la station de référence.....	24
5-2 Les précipitations.....	24
5-3 Les températures.....	25
5-4 Diagramme ombrothermique de GAUSSEN	26
5-5 La gelée.....	26
5-6 Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	27
Conclusion.....	27

Chapitre II : Méthodologie

Introduction	29
1- Inventaire des placettes d'échantillonnage	29
1-1 Paramètres mesurés :.....	30
1-1-1 Mesure des circonférences des arbres pré comptables	30
1-1-2 Choix des arbres dominants	30
1-1-3 Mesures effectuées sur les arbres dominants :.....	30
1-1-3-1 Mesure de l'âge :	30
1-1-3-2 La hauteur total au Blum Leiss :.....	31
1-1-3-3 L'accroissement courant en diamètre	31
1-1-3-4 L'épaisseur de l'écorce :	31
2 -Les variables transformées.....	31
2-1 Le facteur d'écorce (Ke).....	31
2-2 L'accroissement courant en volume (Acv).....	31
2-3 La hauteur dominante (H. dom)	32
2-4 La circonférence moyenne	32
2-5 La hauteur moyenne.....	32
2-6 La surface terrière (G/ha)	32

2-7 La densité de la placette	33
2-8 La circonférence de l'arbre de la surface terrière moyenne (cg).....	33
2-9 – principe Calcul de l'accroissement en volume par sondage à la tarière de Pressler...	33
3- Observations relatives au milieu	34
4- Cubage des arbres sur pieds :.....	34
Conclusion :.....	35

Chapitre III : calcule des volumes

Introduction.....	36
1-Tarifs de cubage	36
1-1 Équations testées :.....	37
1-2 Ajustement :.....	38
1-3 Tarif arbre obtenu par la méthode directe.....	37
1-4 Méthode graphique	39
1-5 Calcul des tarifs de cubage mathématiques :.....	40
1-5-1 Régression non pondérée :.....	40
1-5-1-1 Tests statistiques des résidus.....	40
1-5-1-1 -1 Représentations graphiques des résidus.....	40
1-5-1-1 -1 -1 Histogrammes des résidus pour les équations testés	40
1-5-2 Régression pondérée :.....	42
1-6 Tarif de cubage à deux entrées pour le pin d'Alep de la pinède de Kimel :.....	44
1-7- Elaboration de modèle de cubage peuplement.....	44
2. Equations de rapport des volumes à différentes découpes :.....	47
2-1. Equations testées :.....	47
2-2 Ajustement :.....	47
3. Fonction de défilement et profil de la tige	48
3-1. Fonction de défilement.....	48
3-2. Profil de la tige	49
3-2-1. Equation testée	49
3-2-2. Ajustement :.....	49
Conclusion :.....	49

Chapitre VI : Modélisation de la croissance et de la productivité
--

Introduction :.....	51
1. Principe de base et démarche adoptée	51
2. Equations testée :.....	52
3. Ajustement des modèles :.....	52
3-1. Critères de choix des modèles :	53
3-2. Choix du modèle :	53
4. Etablissement des courbes de productivité :.....	54
5. Matrice de corrélation.....	59
6. Modélisation de la production total	60
7- Etudes des moyennes	61
7-1. La première classe.....	61
7-2- La deuxième classe.....	62
7-3- La troisième Classe.....	62
Conclusion.....	63
Conclusion général	
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des Tableaux

Les Tableaux	Page
Tableau n° 1 : Pluviométrie moyenne mensuelle (1970 – 2000)	24
Tableau n° 2 : répartition de pluies selon les saisons (1970 – 2000) :	25
Tableau n°3 : Températures moyennes mensuelles Source (1970 – 2000) :	25
Tableau n° 4 : Nombre de jours de gelée durant la période (1992– 2000)	26
Tableau n° 5 La répartition du nombre de tige par classes des hauteurs et par classes des circonférences	37
Tableau n° 6 : Répartition des volumes observés (dm^3) par classe du diamètre à 1.30m	38
Tableau n° 7 : Les résultats d'ajustement des tarifs	40
Tableau n° 8 : Résultats obtenus avec pondération :	42
Tableau n° 9 : caractéristiques dendrométriques des arbres ayant servi à construire le tarif de cubage	44
Tableau n° 10 : Tarif de cubage à deux entrées pour le pin d'Alep de la pinède de Kimel.	44
Tableau n° 11 : Limites des valeurs de la surface terrière en fonction de la hauteur dominante	46
Tableau n° 12 : Volume total par hectare établi à partir de la relation : $V = -27,825 + 1,857 h_{dom} + 6,0979 G$	46
Tableau n° 13: les paramètres de régression des modèles et les critères statistiques correspondants aux différentes équations testées	53
Tableau n° 14: les valeurs du paramètre de liberté K_1 de l'équation de Chapman-Richards.	56
Tableau n°15: Equations des différentes courbes de l'évolution de la hauteur dominante en fonction de l'âge et de site index	56
Tableau n°16 : valeurs de la hauteur dominantes en fonction de l'âge pour les 3 indices de fertilité	57
Tableau n° 17: les caractéristiques des trois classes de croissances	58
Tableau n°18: Comparaison de la valeur moyenne du (SI) dans les 3 classes de croissance	58
Tableau n°19: Résultats du test F relatif à l'analyse de la variance appliquée aux variables dendrométriques.	59
Tableau n°20 : Matrice de corrélation	59
Tableau n°21: Evaluation de la production totale par la relation $Pt = a \times Hd^b$	60
Tableau n°22 : Productions et accroissements à l'âge de 90 ans et 126 ans.	60
Tableau n°23 : Caractéristiques dendrométriques de la première classe de fertilité	61
Tableau n°24 : Caractéristiques dendrométriques de la deuxième classe de fertilité.	62
Tableau n°25 : Caractéristiques dendrométriques de la troisième classe de fertilité	63

Liste des Figures

Titre de la Figure	Page
Figure n° 1 : Aire de répartition du pin d'Alep dans le monde (QUEZEL;1986)	1
Figure n° 2 : Air de répartition du pin d'Alep en Algérie (Bentouati ; 2006)	2
Figure n° 3 : les formations forestières de l'Aurès (Bentouati ; 2010)	20
Figure n° 4 : Localisation de la zone d'étude (Source KHARCHOUCHE 2003)	21
Figure n° 5 : pinède à Chêne vert	22
Figure n° 6 : pinède à Romarin	23
Figure n° 7 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNAULS de la région de Beni Imloul	26
Figure n° 8 : Climagramme d'EMBERGER et étage bioclimatique de la zone d'étude	28
Figure n° 9 : Volume du bois fort en fonction du diamètre : Méthode directe	38
Figure n° 10 : Représentation graphique de volume en fonction du diamètre à 1.30m	39
Figure n° 11 répartition des résidus selon l'équation : $V1 = -1.215 + 5.4399d$	40
Figure n° 12 répartition des résidus selon l'équation : $V2 = -0.1549 + 6.0609d^2$	41
Figure n° 13 répartition des résidus selon l'équation : $V3 = -1.5317 + 4.8031d + 0.0393h$	41
Figure n° 14 répartition des résidus selon l'équation : $V4 = 0.221 + 0.0784d^2h$	41
Figure n° 15 répartition des résidus selon l'équation : $V5 = 0.2641 - 2.5266d + 10.3809d^2 - 0.0213d^2h$	41
Figure n° 16 répartition des résidus selon l'équation : $V6 = 0.1226 - 1.3584d + 7.5102d$	42
Figure n° 17 Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 2 entrés)	43
Figure n° 18 Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 2 entrées pondéré)	43
Figure n° 19 Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 1 entrée)	43
Figure n°20 Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 1 entrée pondéré)	43
Figure n° 21 : La distribution des résidus modèle de Chapman Richards	54
Figure n° 22 : la répartition de la hauteur dominante en fonction de l'âge	55
Figure n° 23 : courbes de croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge pour le pin d'Alep de la pinède de Kimel.	57

Introduction générale

Introduction générale

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) est une espèce rustique, caractéristique de la méditerranéenne. L'aire de répartition du pin d'Alep ainsi que ses limites s'expliquent par une très grande résistance à la sécheresse et par une forte sensibilité aux températures basses (ANTONI et al 2004 ; CHAKROUN 1986).

Cette aire, qui s'étend sur 3,5 millions d'hectares, occupe presque tout le pourtour de la méditerranée. Si en France les surfaces couvertes par le pin d'Alep représentent environ 2% des surfaces forestières, soient 300 000 ha, en revanche le pin d'Alep est la première essence en Algérie ; avec 800 000 ha, couvre près de 40% des surfaces forestières de notre pays (DAOUI et al 2007). On le retrouve partout : monts Aurès, Bibans, Ouarsenis et surtout dans l'Oranié où il forme un seul bloc de 200.000 hectares allant de Saïda jusqu'à Lamoricière, et avec une superficie réduite dans l'atlas Saharien (Djelfa).

Par ailleurs, le Pin d'Alep de part ses exigences écologiques très modestes, il offre des productivités acceptables ; ce qui a conduit les forestiers à l'utiliser à très grande échelle comme essence de reboisements . Il convient de remarquer qu'au cours de la dernière décennie, l'intérêt scientifique mais aussi forestier s'est considérablement accru vis-à-vis de cette essence. Citons, à ce propos, les travaux publiés par d'éminents chercheurs tels que : NAHAL(1986) et QUEZEL (1986) sur la taxonomie. Au Maroc BELGHAZI et al (2000), en Tunisie SGHAEIR et al (2001), en France CYRILLE et al 2004 et en Algérie BENTOUATI (2006) sur la croissance et la productivité.

Dans de nombreux domaines de la recherche forestière, à l'image de la sylviculture ou science du bois, la détermination du volume ou biomasse des arbres ou généralement de leurs parties spécifiques, s'avère nécessaire. Comme les méthodes physiques de mesure du volume et de la biomasse sont destructrices, on fait recourt à des équations préétablies pour obtenir les estimations de ces caractéristiques. Ces équations varient d'une espèce à l'autre, et d'un peuplement à l'autre. Les estimations se rapportant à un seul arbre manquent parfois de précisions mais valables, sauf si on les refait sur plusieurs arbres, et si l'on additionne les résultats, comme pour calculer le volume d'un peuplement. Dans tous les cas si ne dispose pas d'une équation appropriée, on devra établir une équation prédictive. Il faut pour cela déterminer le volume ou la biomasse réelle d'un ensemble d'arbres-échantillons et les relier, par une analyse de la régression, à des mesures non destructrices, tel que le diamètre à hauteur d'homme ou la hauteur des arbres (JAYARAMAN 1999).

Il est bien connu que les forêts, en tant qu'écosystèmes, varient considérablement au fil du temps. Il est important, aussi bien de point de vue scientifique que l'aménagement, de comprendre ces processus dynamiques. L'estimation de la croissance et du rendement des forêts est alors l'un des éléments de ces processus.

C'est dans cet ordre d'idées que nous avons choisi d'étudier le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) dans l'une des belles pinèdes d'Algérie, en l'occurrence celle de Kimel , qui fait partie de la forêt domaniale de Beni-Imlou, et d'apporter une contribution, dans la connaissance de cette espèce au niveau des Aurès. Le manque d'informations au niveau de la pinède de kimel, nous incite à lui réserver beaucoup d'importance en matière de gestion d'aménagement appropriée, ce qui nous amène à étudier son évolution et sa croissance, l'identification de ses niveaux de productivité et son potentiel de production en volume, afin de donner aux gestionnaires en particulier des choix raisonnés.

On se propose alors, dans ce travail, d'étudier la pinède de Kimel selon deux aspects différents :

Etude statique : on considère les arbres comme étant dans un état inerte. On commence à établir des tarifs de cubage propre à l'espèce dans notre zone d'étude., que ce soient des tarifs de cubage usuels dits aussi traditionnels permettant généralement de prédire le volume total d'une tige ou bien des tarifs de cubage à diamètre ou à longueur variables. Cette utilisation permet d'obtenir des outils plus flexibles de prédiction de volume d'une utilisation beaucoup plus générale.

Pour accomplir ces modèles et pour permettre d'estimer directement les dimensions des tiges, par exemple, la hauteur de l'arbre à un diamètre donné, ou le diamètre à une hauteur fixée, des équations de rapport des volumes et des fonctions de défilement à forme variable seront développées pour le pin d'Alep dans la forêt domaniale de Kimel. Les spécifications ici sont exprimées en termes de dimensions et non en termes de volumes.

L'étude statique se prolonge tout naturellement par une étude dynamique, ce qui suggère une modélisation de la croissance et de la productivité de cette espèce dans le temps et la détermination des classes de fertilité. L'étude dynamique permet alors d'asseoir d'une manière objective et rationnelle l'identification de la productivité de cette espèce.

Le travail que nous présentons s'articule sur deux grandes parties :

Partie bibliographique : (**Chapitre I :** présentation de l'espèce, **Chapitre II :** les tarifs de cubage et **Chapitre III :** la croissance et la productivité)

Partie expérimentale : (**Chapitre I :** Cadre d'étude, **Chapitre II :** Méthodologie, **Chapitre III :** calcul des volumes , **Chapitre VI :** Modélisation de la croissance et de la productivité.)

1er Partie

Bibliographique

Chapitre I :

Présentation de l'espèce

Présentation de l'espèce

1. Taxonomie

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) appartient à un groupe de pins dans lequel plusieurs espèces ont été décrites, mais dont deux seulement sont actuellement considérées comme de véritables espèces par la majorité des systématiciens. Il s'agit de *Pinus halepensis* Mill, et de *Pinus brutia* Ten. (QUEZEL et, BARBERO ,1992). Le pin d'Alep appartient à la famille des pinacées (Abiétacées), genre *Pinus*, sous genre *Pinus* (Eupinus), section *halepensis*, et sous groupe *halepensis*.

2. Aire de répartition du pin d'Alep

2-1- Dans le monde

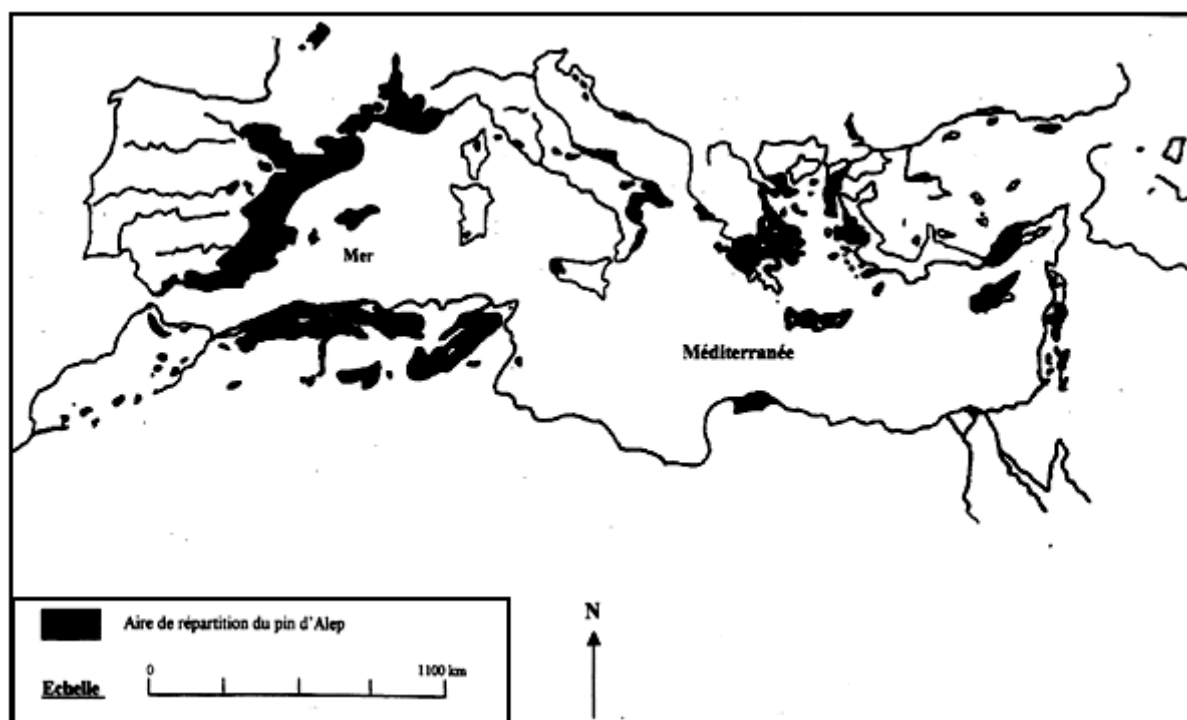


Figure n° 1 : Aire de répartition du pin d'Alep dans le monde (QUEZEL;1986)

L'aire géographique du pin d'Alep est limitée au bassin méditerranéen. C'est une espèce fréquente, surtout en région méditerranéenne occidentale, mais elle se rencontre également en divers endroits du bassin méditerranéen oriental (QUEZEL et BARBERO, 1992). Au total, ses forêts occupent sans doute plus de 3.5 millions d'hectares (QUEZEL, 1980). Il est bien représenté dans les massifs montagneux des pays du Maghreb ; il couvre 65.000 hectares au Maroc dans le Rif, le moyen et le haut Atlas et il occupe 370.000 hectares en Tunisie (AMMARI et al ,2001)

En Europe ; le pin colonise la plus grande superficie en Espagne sur la côte méditerranéenne, où il forme des peuplements purs de 1.046.978 hectares et 497.709 hectares en peuplement mixtes avec d'autres espèces. (MONTERO et al, 2001)

En France le pin d'Alep occupe massivement les collines calcaires de la zone littorale de Nice à la frontière italienne avec une superficie de 202.000 hectares. (COUHERT et DUPLAT ,1993)

En Italie le pin d'Alep peu abondant 20.000 hectares; il se rencontre sous forme de massifs dans la province de Toronto .il occupe quelques localités en Sardaigne et Sicile.

Son habitat devient moins important en yougoslave, en Grèce et en Turquie ; il est presque inexistant en Syrie et au Liban, si on le compare avec les pays précédemment cités.

2-2- En Algérie

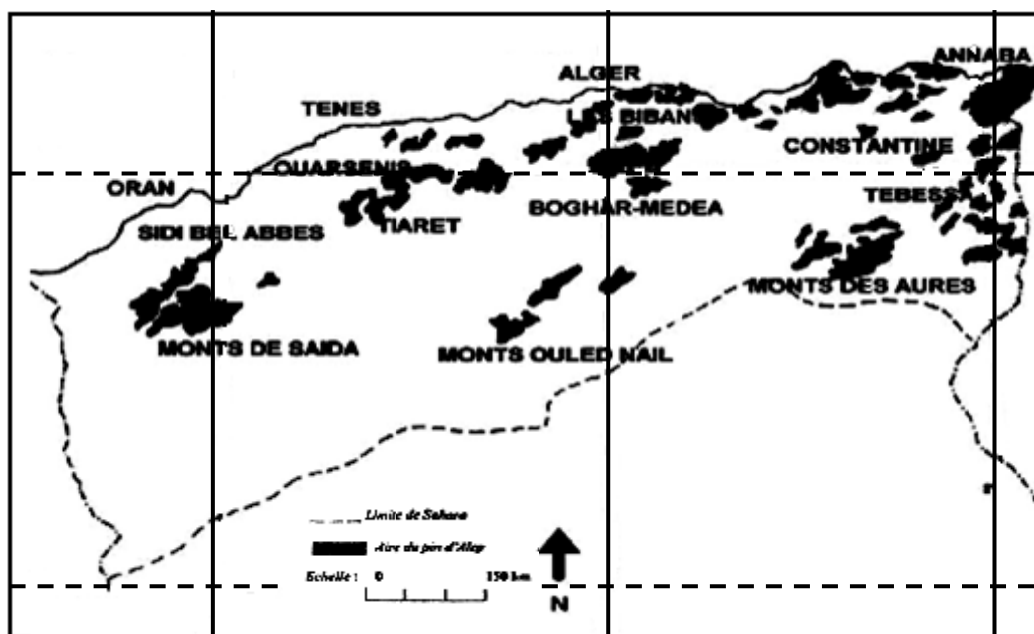


Figure n° 2 : Air de répartition du pin d'Alep en Algérie (Bentouati ; 2006)

En Algérie; le pin d'Alep a une très large amplitude écologique, il est très commun sauf dans le Telle constantinois (LEDANT, 1975 ; KADIK, 1983).

Il présente une aire très étendue qui couvre 850 000 ha, s'étendant essentiellement dans la partie nord orientale. C'est ainsi qu'il occupe de vastes peuplements en Oranie (Sidi Bel-abbes, Saida, Tlemcen, Tiaret, Ouarsenis) sur le tell algérois (Médéa, Bibans).

Sur l'Atlas saharien (Mons des Ouleds Nails) et dans le constantinois, il est surtout localisé dans les Aurès et les monts de Tébessa où il rejoint la Tunisie par la dorsale (KADIK, 1983).

3- Ecophysiologie

3-1- Maturité et période de germination des graines

Les cônes du pin d'Alep mûrissent au cours de la deuxième année et laissent le plus souvent échapper leurs graines au cours de la troisième année (NAHAL, 1962; FRANCELET, 1970). Après maturation des cônes, la dissémination naturelle des graines aura lieu entre la fin du mois d'Août et la fin du mois d'Octobre. Le cône doit avoir subi de fortes chaleurs qui détruisent les joints de résine entre les écailles pour pouvoir s'ouvrir (FRANCELET, 1970).

Quant à la germination, elle peut avoir lieu ; soit à la fin de l'automne, soit au début du printemps (CALAMASSI et al, 1984).

Selon (NAHAL, 1962) la fructification du pin d'Alep ne peut avoir lieu qu'à l'âge de 10 à 12 ans, mais les graines qu'il produit ne sont aptes à germer que lorsque celui – ci aura atteint l'âge de 18 à 20 ans. Ainsi, 100 kg de cônes produisent à peu près 50 kg de graines ailées dont 1 kg de graines peut comporter jusqu'à 50 000 graines capables de conserver leur pouvoir germinatif plus de deux ans.

3-2- Régénération en l'absence de perturbations

La régénération du pin d'Alep est facile et abondante et se produit aussi bien en plein découvert qu'avec un sous bois assez dense ; une fois que les graines tombent sur le sol, elles germent rapidement et en masse, à la lumière, pendant la saison humide. La mortalité est forte chez les jeunes semis notamment au cours des deux premières années, mais la grande production de semences et leur taux de germination élevé permettent de compenser ces pertes (NAHAL, 1962 ; ACHERAR et al, 1984).

Par ailleurs, les semis ont besoin de lumière, mais un léger couvert leur est plutôt favorable (ACHERAR et al, 1984). Ils sont capables de s'installer sur la plupart des types de sol, mais un recouvrement important des herbacées leurs est très défavorable.

D'après TRABAUD (1976) cité par (CYRILLE2002), la régénération sous pinèdes, même dense, ne pose aucun problème car l'éclairement reste suffisant. Ce point de vue n'est pas partagé par ACHERAR (1981) qui affirme que le pin d'Alep ne se régénère que difficilement sous son propre couvert où il est le plus souvent remplacé par *Quercus ilex* ou *Quercus pubescens*.

3-3- Régénération après incendie

Comme le montrent les caractéristiques liées à sa régénération, le pin d'Alep n'a absolument pas besoin du feu pour se régénérer. Ce dernier possède toutefois une gamme d'adaptations qui lui permet de se régénérer rapidement après un incendie.

Il possède une banque de graines aériennes constituée par certains cônes sérotineux qui ne s'ouvrent que lorsqu'ils sont soumis à de très fortes températures. Ainsi, le feu provoque l'éclatement de ces cônes et favorise la dispersion des graines grâce au déplacement turbulent de masses d'air chaud qui peuvent transporter les graines sur des distances importantes.

Les graines de pin d'Alep peuvent supporter des températures comprises entre 130 et 150 °C. Par conséquent, le feu ouvre le couvert végétal, supprimant ainsi pour un temps la compétition avec le reste de la végétation (ACHERAR ,1981).

Le pin d'Alep n'atteint pourtant sa pleine maturité que vers 20 ans, et ses graines sont, de surcroît, assez peu mobiles. Si, sur une zone donnée, la fréquence des incendies devient supérieure à 20 ans, le pin d'Alep ne sera pas capable ni de s'y maintenir, ni de la recoloniser et en sera donc exclu (CYRILLE, 2002).

3-4- Phénologie, physiologie et croissance

Chez le pin d'Alep, la reprise de la végétation est relativement tardive et se situe entre Février et Mars, alors que les mois de Mai et Juin correspondent à la période de croissance (radiale et apicale) maximale. Elle est stoppée par la sécheresse vers le mois de Juillet.

En automne, les rameaux ne semblent s'allonger que très peu (SERRE-BACHET 1976 b) cité par (CYRILLE, 2002), la croissance radiale par contre reprend de façon significative (NICAULT 2001).

Le pin d'Alep est un arbre polycyclique, susceptible d'effectuer plusieurs pousses par an et de produire de faux cernes (SERRE 1973).

Par ailleurs, il est capable de contrôler ses pertes hydriques en fermant progressivement ses stomates et en adaptant son métabolisme, ce qui lui permet de résister à des sécheresses importantes (AUSSENAC et GRANIER, 1978 ; AUSSENAC et VALETTE ,1982 ; MUGNOZZA ,1986 ; BORGHETTI et al, 1998) cités par (CYRILLE, 2002).

Une grande partie des assimilâtes est allouée au système foliaire, au système racinaire de même qu'à une abondante production de graines par contre, la production de bois est généralement faible (EL AOUNI ,1980).

3-5 Plasticité écologique

Le pin d'Alep est l'une des essences méditerranéennes qui possède l'amplitude écologique la plus vaste (NAHAL, 1962).

Il pousse dans des zones où les précipitations annuelles sont comprises entre 200 et 1500 mm. La pluviométrie ne semble pas être un facteur déterminant de la répartition de l'espèce, même si c'est entre 350 et 700 mm de précipitation annuelle, son développement sera optimal (QUEZEL et al, 1987).

Cependant, même si le pin d'Alep est indifférent à la quantité des précipitations, il n'en reste pas moins, parmi les essences provençales, celle qui est la mieux adaptée à la sécheresse.

Un des facteurs climatiques majeur limitant l'expansion du pin d'Alep est la température. Le pin d'Alep peut supporter des froids accidentels de -15 à -18 °C, à condition qu'ils restent exceptionnels et de courte durée (NAHAL, 1962). Les vagues de froids de 1929, 1956 et 1985 ont cependant montré le caractère thermophile de cette essence et sa faible résistance aux basses températures prolongées. En fait, les dégâts observés après la vague de froid de février 1956 notamment ont été d'autant plus importants que ce coup de froid succédait à un mois de janvier particulièrement doux, ayant permis l'amorce d'une montée de sève (DEVAUX et BOURHIS, 1978) cités par CYRILLE, (2002).

Au point de vue sol, le pin d'Alep pousse sur des substrats tels que la marne, le calcaire, les schistes ou les micaschistes. On ne le trouve pas, par contre, sur les granites ou les gneiss. En fait, le pin d'Alep semble indifférent à la nature de la roche mère, mais semble s'installer préférentiellement sur les substrats meubles ou friables (LOISEL, 1976).

On trouve également le pin d'Alep sur des sols très variés qui vont des lithosols (recolonisation d'éboulis par exemple) aux sols évolués profonds (recolonisation de terrasses par exemple).

Si la profondeur du sol est directement corrélée au niveau de production des peuplements, il n'existe pas, par contre, de relation entre cette profondeur et la présence ou l'absence de pin d'Alep (ABBAS et al., 1985). Les arbres qui se développent sur sol pauvre sont tout de même généralement chétifs et clairsemés (NAHAL, 1962). Le pin d'Alep supporte beaucoup mieux que la plupart des autres essences provençales un taux élevé de calcaire actif (LOISEL, 1976).et tolère très mal les sols sablonneux, sans doute en raison de l'assèchement trop intense qu'ils subissent durant l'été. Mais, il ne tolère pas non plus la présence de nappes aquifères permanentes qui provoquent l'asphyxie de son système racinaire (QUEZEL ,1986).

4 Sylviculture de l'espèce :

4-1 Conduite des peuplements

La connaissance de la typologie structurelle des pinèdes constitue un des éléments fondamentaux pour l'application correcte des systèmes et des méthodes sylviculturelles. Les types structuraux qu'on rencontre le plus souvent et qui caractérisant les pinèdes de pin d'Alep sont : Peuplements équiens ; peuplements jardinés, ou plutôt, avec une distribution irrégulière des classes d'âge, pluristratifiés ; peuplements mélangés avec majorité de pin d'Alep (ORAZIO ,1986).

En Algérie le pin d'Alep n'a pas réellement fait l'objet d'une sylviculture ambitieuse, le régime de la futaie régulière est le plus adopté dans les aménagements des pinèdes à pin d'Alep car il est simple à appliquer. Il permet d'obtenir sur de grandes surfaces des peuplements sensiblement équiennes, de délimiter la surface à régénérer et de maintenir un rendement soutenu du produit exploité (BENTOUATI, 2006).

D'après le même auteur, ce mode de traitement est rigoureux dans sa conception car il exige un état normal de la forêt impliquant dès fois des sacrifices au niveau des jeunes peuplements sans oublier qu'il y a toujours le risque de l'absence de la régénération naturelle ce qui menace la pérennité de la forêt. Donc les opérations sylvicoles à entreprendre doivent viser la création de conditions écologiques favorables à la régénération naturelle et au maintien de l'équilibre, sans oublier de prendre en considération un accroissement progressif du potentiel de production sur pieds.

4-2 Les principaux travaux sylvicoles appliqués

En 1982, un plan d'aménagement qui a été proposé par le B.N.E.F sur 20 ans (leur application va de l'année 1991 à l'année 2010) est qui comprend le programme des exploitations forestière telles les coupes de régénération et d'amélioration (coupes définitives, sanitaires, d'éclaircie....), les travaux de repeuplement (plantation par fente des parcelles exploitées, reboisement des vides et du maquis) et les travaux d'équipements forestiers. La possibilité fixée pour l'ensemble du massif forestier des Beni-Imloul par le projet de développement forestier des Aurès est de 50.000m³/an. Ce qui veut dire que l'exploitation forestière ne doit pas tirer plus de 50.000m³/an de bois chaque année de la forêt.

Conclusion :

L'étude monographique de l'espèce, a permis de dire que le pin d'Alep est une espèce plastique appartenant exclusivement au bassin méditerranéen. Son optimum de croissance varie de 250 à 700 mm de précipitation par an, il est indifférent à la nature du sol mais craint les sols à hydromorphie importante.

Chapitre II :

Les tarifs de cubage

Introduction

L'estimation de la production forestière pour les gestionnaires forestiers constitue un vrai handicap. Le problème réside particulièrement dans le choix des grandeurs à mesurer sur terrain et les rendre utilisable dans le calcul des volumes des arbres. En effet la mesure directe du volume est une opération fastidieuse et onéreuse (M'HIRIT, 1982). Réellement, l'inventaire forestier ne se fait pas ; Donc il faut recourir à des méthodes indirectes pour estimer les volumes des arbres.

Un tarif de cubage constitue un outil d'estimation indirecte du volume d'un arbre à partir des paramètres dendrométriques plus faciles à mesurer (GUY et al, 2001) dites entrées du tarif de cubage (PALM, 1977).

Dans ce chapitre, nous envisagerons quelques notions générales relatives aux tarifs de cubage, des équations de rapport de volumes et des fonctions de défilement à forme variable. Cet ensemble d'équations permettra d'estimer le volume jusqu'à n'importe quel niveau d'utilisation et de prédire la forme des tiges pour cette espèce.

1-Les tarifs de cubage

Un tarif de cubage se présente sous la forme d'un tableau chiffré, parfois aussi appelé « table de cubage », d'un graphique ou encore d'une équation qui fournit le volume d'un arbre (ou plus strictement, le volume moyen par arbre d'un ensemble d'arbres comparables) en fonction d'une ou de plusieurs caractéristiques dendrométriques directement mesurables relative à celui - ci (RONDEUX, 1999 ; PARDE et BOUCHON ,1988).

Il est essentiellement utile pour différentes étapes de la gestion forestière puisqu'il forme la base même du calcul de la croissance et du rendement des forêts. Plus particulièrement, le tarif de cubage constitue l'étape préalable à l'élaboration des tables de rendement.

Généralement, le forestier envisage d'établir un tarif de cubage pour les raisons suivantes :

- C'est un tarif indispensable pour l'élaboration des aménagements forestiers ou d'une révision puisqu'il permet de déterminer la quantité de bois à extraire annuellement de la forêt (recrutement de possibilité).
- Donnent une estimation exacte de la valeur des produits
- Eventuellement pour la recherche de modèle de sylviculture et de gestion optimale de la forêt (BOUCHON, 1974, 1984 ; M'HIRIT, 1982).

Le principe de base d'un tarif de cubage repose sur le fait que des arbres de même essence, de même grosseur, de même hauteur et de même âge, dans des milieux de croissance

comparables, ont un volume identique ou qui oscille peu autour d'un volume moyen pouvant être exactement déterminé (COTTA, 1817) cité par (RONDEUX, 1999).

En d'autres termes, les tarifs de cubage expriment les relations qui existent entre le volume d'un arbre, d'une part, et sa grosseur ainsi que sa hauteur, d'autre part. Il est évident qu'un tarif sert avant tout à cuber un ensemble ou un lot d'arbres plutôt qu'un arbre seul (RONDEUX, 1999).

Les tarifs de cubage peuvent être catégorisés par le nombre de variables (entrées) utilisées pour prédire le volume. Dans un tarif à une entrée, une seule variable, généralement le diamètre à 1.30m, permet de prédire le volume ; Ces tarifs sont moins précis que les tarifs à deux ou à trois entrées bien qu'ils soient plus simples et plus rapides à utiliser. La forme de la tige, particulièrement la relation entre le diamètre et la hauteur totale, peut varier selon l'âge de l'arbre, rendant ainsi les tarifs de cubage à une entrée plus limitative (PARDE et BOUCHON 1988). Les tarifs à trois entrées peuvent inclure trois des variables mentionnées précédemment. Bien qu'ils soient plus précis, leur utilisation n'est pas nécessairement recommandée puisqu'ils nécessitent des mesures plus difficiles et plus coûteuses à obtenir (RONDEUX 1999). En fin, les tarifs de cubage paramétrés utilisent une variable supplémentaire décrivant certaines caractéristiques moyennes du peuplement tel le rapport de la hauteur totale sur le diamètre des arbres dominants. Cette variable de peuplement permet d'avoir un aperçu de la forme de la tige à cuber tout en minimisant les coûts de la prise de mesure (UNG, 1990) cité par (GUY et al, 2001).

2- Récolte des données pour la construction d'un tarif de cubage

D'une manière générale l'élaboration d'un tarif de cubage s'effectue en trois phases : La récolte des données de base, la préparation des données (comportant leur réduction et le calcul des valeurs) et Le choix et l'application de la méthode de construction proprement dite.

Le choix de l'échantillon suppose la prise en compte de plusieurs critères tels que le nombre de sujets à mesurer, les dimensions de ceux – ci et le choix des peuplements dans lesquels ils sont prélevés .L'utilisation que l'on fera du tarif est évidemment importante à considérer (cubage en vue de la commercialisation, cubage destiné à des études de production, cubage réalisé à l'échelle locale, régionale ou nationale) ,Si le tarif concerne une aire limitée où les conditions de croissance sont relativement homogènes ce qui est notre cas, on peut admettre un échantillon variant de 30 à 100 bois.

En principe, les arbres destinées à construire un tarif de cubage, doivent être représentatifs de la population ou de l'ensemble auquel il est appliqué.

Il est très important de veiller à utiliser un échantillon assurant une bonne dispersion de la distribution des grosseurs. En d'autres termes, il sera souvent plus avantageux de mesurer un

nombre plus élevé d'arbres appartenant aux catégories de grosseur extrêmes plutôt que d'accroître l'effectif total. En particulier, on veillera à disposer d'un nombre suffisamment de gros bois au sein de l'échantillon eu égard à la plus grande variabilité des volumes de ceux –ci. Ces considérations impliquent que l'on mesure, autant que possible, un nombre pratiquement constant d'arbres dans chaque classe de diamètre (RONDEUX ,1999).

Les données à récolter sont globalement on fonction de type de tarif à construire et de type de volume intéressant l'utilisateur parmi les mesures couramment effectuées le plus souvent sur des arbres abattus sont : la grosseur à hauteur d'homme sur écorce, les grosseurs à divers niveaux de longueur, de billons successifs, la hauteur totale, la hauteur bois fort et la hauteur bois d'œuvre, l'épaisseur de l'écorce (mesures à divers niveaux) et la largeur et la longueur du houppier.

3- Construction proprement dite d'un tarif de cubage :

La construction d'un tarif peut s'appuyer sur plusieurs méthodes :

3-1 La méthode directe

Dans cette méthode, les arbres sont regroupés par classes de grosseur dans le cas d'un tarif à une entrée et par classes de grosseur et de hauteur dans le cas d'un tarif à deux entrées.

Dans le premier cas, on calcul alors le volume moyen correspondant à chaque classe de grosseur et dans le second cas, il est nécessaire de calculer le volume par chaque classe de grosseur à l'intérieur de chaque classe de hauteur.

3-2- La méthode mathématique

C'est la méthode la plus utilisée actuellement et les tarifs se présentent sous la forme d'équations résultant de l'application de la méthode statistique de régression par les moindres carrées (DAGNELIE, 1975 c ; DRAPER et SMITH cités par RONDEUX (1999)).

4- Cubage par billons successifs

Compte tenu des variations de forme affectant une tige d'arbre, le volume de celle-ci peut être calculé de manière plus rigoureuse que par la méthode globale, en s'appuyant sur un nombre plus élevé de mesures (RONDEUX, 1999).

Pour obtenir des cubages aussi proches que possible du volume exact, les instituts de recherche décomposent, fictivement, les tiges en billons d'égales longueurs ; chacun de ces billons est cubé. Le cumul de ces cubes donne le volume de la grume –ou de la tige (PARDE et BOUCHON ,1988).

PALM (1982) fait observer que l'assimilation de la forme des billons à des troncs de cônes est la plus raisonnable, car elle est la moins tributaire de la longueur des billons et paraît beaucoup mieux s'adapter à la forme générale d'un arbre qui s'apparente davantage à une succession de tronc de cônes.

5- Equations de rapport de volumes et les Fonctions de défilement :

L'estimation du volume des arbres a été, et reste, une préoccupation majeure des forestiers et des dendrométriciens. Au fil des années, les méthodes d'estimation du volume des arbres ont évoluées afin de s'adapter à la diversification de la demande en produits forestiers. Après les techniques classiques d'estimation du volume total et du volume bois fort sont apparues des techniques plus sophistiquées et plus souples qui donnent des estimations du volume de bois jusqu'à découpes variées.

5-1-Equations de rapport de volumes

Les tarifs usuels ne permettent pas de s'adapter à la demande en produits forestiers de dimensions a priori fixées en longueur et/ou en diamètre. Il s'est donc avéré nécessaire de développer des méthodes plus flexibles et plus générales.

La construction de tarifs de cubage à des découpes variées est une manière de répondre à ces exigences. Une variante proposée par BURKHART (1977) et (CAO et BURKHART (1980)) cités par FONWEBAN 1997 consiste à développer des équations de rapport de volumes qui visent à prédire le volume jusqu'à une découpe quelconque à partir du volume total de la tige, de ses dimensions (hauteur ou diamètre) et de la dimension à la découpe (diamètre ou hauteur)

Les équations de rapport de volumes peuvent être utilisées pour estimer le volume de billons de dimensions minimales fixées ou pour décomposer le volume d'une tige en assortiment de produits. Elles peuvent aussi être employées afin d'estimer le volume du peuplement jusqu'à différentes découpes (ALDER, 1980 ; RONDEUX et al, 1991)

5-2-Fonctions de défilement :

Les équations de rapport de volumes ne permettent pas d'estimer directement les dimensions des tiges, par exemple, la hauteur de l'arbre à un diamètre donné ou le diamètre à une hauteur fixée. Ces estimations sont cependant demandées pour certains produits dont les spécifications sont exprimées en termes de dimension et non en termes de volumes, dans de tels cas, la description de la forme ou du profil de la tige devient nécessaire.

La connaissance de la forme d'une tige peut être exprimée analytiquement par une fonction qui décrit la relation entre le diamètre (d) de la tige et le niveau (h) le long de la tige : $d = f(d, H, h)$.

La connaissance d'une telle fonction permet ensuite de caractériser n'importe quelle découpe, c'est-à-dire de prédire le diamètre fin bout d'un billon de longueur fixée ou, par inversion, la longueur d'un billon dont on connaît le diamètre fin bout d'estimer le volume de n'importe quelle partie de la tige. Ces fonctions sont aussi utiles lorsqu'on cherche à évaluer les effets de certains traitements sylvicoles (éclaircies, fertilisation, élagage) sur la forme des arbres BOUILLET, 1993 ; (LOWELL, 1986) cité par (FONWEBAN 1997).

Conclusion :

A travers ce chapitre, on a essayé de donner les informations nécessaires et les méthodes adéquates le plus souvent utilisées en techniques et en recherches forestières pour la construction des tarifs de cubage, la construction des fonctions de défilement et enfin l'établissement des équations de rapports des volumes à formes variables.

Les tarifs de cubage sont des outils d'estimation indirecte de volumes d'arbres ; on peut les construire à l'aide de plusieurs méthodes telles que la méthode directe, la méthode mathématique comme on peut les présenter sous forme de tableaux chiffrés parfois aussi appelé « tables de cubage », d'un graphique ou encore sous forme d'équation qui fournit le volume d'un arbre (ou plus strictement, le volume moyen par arbre d'un ensemble d'arbres comparables) en fonction d'une ou de plusieurs caractéristiques dendrométriques directement mesurables prélevées.

Les équations de rapport de volumes nous permettent de prédire le volume jusqu'à une découpe quelconque à partir du volume total de la tige, de ses dimensions (hauteur ou diamètre) et de la dimension à la découpe (diamètre ou hauteur).

Chapitre III :

La croissance et la productivité

Introduction

Dans le deuxième chapitre, nous avons vu comment mesurer le volume des arbres et les peuplements (construction tarifs de cubage, tarif de peuplement etc.). Dans le présent chapitre nous allons aborder une revue bibliographique consacrée essentiellement à l'évolution de l'accroissement des peuplements en faisant rappeler quelques généralités. Ensuite nous envisagerons, successivement, les principales méthodes directes et indirectes d'estimation de la productivité. Et enfin l'élaboration de courbes de productivité ainsi que la modélisation de la croissance et la productivité.

1- Concept général de la productivité

Dans le contexte dendrométrique, on assimile la productivité à la vitesse de production de la phytomasse. En d'autre terme c'est la capacité de production d'une essence dans un milieu forestier. Elle varie avec les conditions de la station (RONDEUX, 1999 ; LETREUCH ,1998). La station, pour le gestionnaire forestier, s'identifié généralement à une étendue de forêt homogène (conditions écologiques et peuplements) sur la quelle il peut pratiquer la même sylviculture et peut espérer obtenir une production (RONDEUX, 1977).

Les concepts de productivité et de fertilité ont été précisés par plusieurs auteurs (DECOURT, 1967 ; RONDEUX, 1977 ; et M'HIRIT, 1982).

M'HIRIT(1982) apporte des précisions intéressantes sur les deux termes ; il défini la fertilité comme étant l'aptitude d'une station à fournir une production. La productivité à trait plus particulièrement au milieu et à la station, elle peut être caractérisée par le volume total produit à un âge de référence.

Pour chiffrer la production et prévoir son évolution dans le temps, le forestier utilise la notion de productivité ou de capacité de production qui constituent un élément capital en sylviculture (BENTOUATI, 2006).

Il importe de faire une distinction nette entre la productivité potentielle (naturelle ou optimale possible) et la productivité actuelle (ou artificielle), en principe, la première concerne une production optimale conditionnée par les propriétés intrinsèques des stations et relative à des peuplements "idéaux" d'essences cultivées ou naturelles, la seconde à trait à la production réelle constatée d'une station dans ses composantes actuelles (sol, peuplement, traitement, accident) (RONDEUX, 1977, 1999).

2-Appréciation de productivité

Les méthodes d'approche de l'étude des stations forestières sont différentes, mais fournissent toutes au forestier des éléments appréciables pour la compréhension de l'influence du milieu sur la sylviculture des espèces et la prise de décisions adéquates BRETHS, 1991 cité par (BENTOUATI, 2006).

De manière générale deux démarches distinctes peuvent être utilisées dans l'appréciation de la productivité ;

- Soit que l'on détermine ou on mesure un ou plusieurs facteurs de l'environnement qui sont étroitement liés à la croissance des arbres.
- Soit que l'on mesure diverses caractéristiques des arbres ou de la végétation elles-mêmes qui sont liées aux facteurs de l'environnement.

Si la première approche, qui consiste à isoler les "causes" postule essentiellement l'étude de facteurs tel que le climat, la topographie ou plus souvent le sol et ses propriétés , la seconde approche, destinée à isoler les effets , est plus nettement orientée vers l'étude de la végétation, qu'ils s'agissent des plantes ou des espèces indicatrices (phytosociologie, étude floristique) ou des peuplements (volume, hauteur, accroissement et autres caractéristiques dendrométriques) RONDEUX(1999).

Notre étude de production ne sera pas intéressée par la référence aux caractéristiques propres aux placettes et aux peuplements pour évaluer la biomasse (approche qualitative), mais nous allons nous intéresser aux méthodes d'estimation de la productivité ou du potentiel de croissance des milieux forestiers (stations) qui ont pour référence la croissance ou la production des peuplements en relation directe ou non avec divers éléments de l'environnement (approche quantitative) (RONDEUX, 1999).

A la dernière approche, on peut rattacher plusieurs méthodes qui utilisent des indices de productivité (comme le souligne RONDEUX, 1977, 1999). Ces indices sont des témoins de qualités « stationnelles » basés sur le recueil de données qui doivent être facilement mesurées et convenablement corrélées avec la production. Il convient de citer les principales méthodes quantitatives utilisant ces indices.

3- Les méthodes quantitatives d'appréciation de la productivité

3-1 Méthodes dendrométriques directes

Le critère de productivité concerne la production totale de matière ligneuse, soit le volume total produit à un âge de référence, soit l'accroissement annuel moyen en volume à ce même âge.

3-1-1. Production totale en volume

Est l'expression dendrométrique la plus stricte de la production en milieu forestier. Ce critère est d'utilisation difficile compte tenu de l'âge de référence (100 ans) et des risques d'oubli et la perte d'information.

En pratique, la méthode est basée sur la division de la production totale en niveaux de productivité pour des peuplements purs équiennes et de densités normales se développant dans un domaine de croissance donnée (MADER, 1963 ; SAMM, 1965 ; PRODAN, 1951) cités par (RONDEUX, 1977).

3-1-2 Accroissement annuel moyen total en volume

La productivité peut s'exprimer par l'accroissement moyen en volume par rapport à un âge de référence. Cet accroissement est en relation directe avec le volume total des peuplements à structure équienne (HAMILTON et CHRISTIE, 1971 ; DECOURT 1973).

3-1-3 Accroissement périodique en volume

Ce critère n'est acceptable que pour les stations à peuplements non équiennes ou jardinés pour lesquels la notion d'âge n'a plus de sens (DAGNELIE 1956 – 1957). Cependant les informations complètes concernant les éclaircies effectuées et l'évaluation du matériel ligneux durant une période donnée sont nécessaires.

3-2 Méthode dendrométrique indirecte

Le critère de productivité est défini par une caractéristique dendrométrique en liaison étroite avec la production totale en volume.

3-2-1 La hauteur :

A ce titre, la hauteur moyenne du peuplement à un âge de référence donné constitue un indice de productivité intéressant à condition, cependant, d'être peu sensible au traitement sylvicole et de refléter, aussi étroitement que possible, le potentiel de la station.

De nombreuses recherches ont permis de montrer que la hauteur moyenne des arbres dominants était celle qui répondait le mieux à ces exigences (RONDEUX, 1977).

Le choix de la hauteur dominante est lié à certaines hypothèses et lois relatives à la croissance en volume des peuplements.

3-2-2 Relation entre la hauteur et la production totale

Si on admet selon la loi bien connue d'EICHHORN (1904) que "la production totale en volume d'une essence donnée croissant en futaie sensiblement équiennne au sein d'une région climatiquement homogène est essentiellement fonction de sa seule hauteur ", alors la relation entre la hauteur dominante et la production totale est indépendante de l'âge, de la station, de la densité du peuplement et de l'intensité des éclaircies pratiquées.

3-3 - Méthodes mixtes

Le critère de productivité résulte de l'association des caractéristiques dendrométriques et de diverses variables du milieu (sol, flore, topographie, climat,.etc.)

Cette tendance plus récente : est une approche factorielle reliant les facteurs du milieu et les paramètres dendrométriques par exemple la hauteur dominante à un âge donné RONDEUX (1977).

La végétation et la répartition naturelle des espèces qui la composent synthétisent très bien l'ensemble des conditions du milieu et expliquent d'une manière significative la variabilité de la hauteur dominante.

3-3-1 Indice de productivité mixte

Cette approche factorielle peut se concevoir, en pratique, de la manière suivante :

- Choix préalable de facteur de l'environnement lié à la hauteur dominante.
- Elimination des variables peu aisées à récolter ou trop complexes
- Matérialisation des points de sondage dans les peuplements aptes aux mesures et susceptibles de présenter tous les éléments de variabilité (âge, conditions écologiques).

La régression de la hauteur dominante avec les variables explicatives présentent la contribution, la plus significative, à la précision de l'estimation (un examen de la matrice des coefficients de corrélation, introduction ou élimination progressive des variables) (DECOURT, 1973).

3-4 Estimation de la productivité

3-4-1 Choix d'un critère de croissance

Pour définir un indice de productivité, la hauteur moyenne des arbres dominants s'est révélée un indicateur intéressant de la fertilité d'une station pour une espèce donnée. La hauteur dominante a un effet presque insensible aux variations de la densité et aux pratiques sylvicoles (LANIER, 1986) cité par (FONWEBAN, 1995). Et elle est bien liée à la production en volume (ASSMANN, 1970).

C'est une méthode d'investigation indirecte qui s'est révélée à la fois pratique et utile concernant la vitesse de croissance en hauteur des arbres dominants. La hauteur totale moyenne des arbres dominants, ou plus exactement la hauteur dominante atteinte à un âge de référence (50 ans, par exemple), constitue ce que l'on appelle communément l'indice de station («site index»)

La construction de faisceaux de courbes hauteur - âge correspondant aux différentes classes de fertilité constitue une étape importante dans l'élaboration d'un modèle de croissance ou de tables de production. En fait, c'est la première "entrée" de toutes les tables de production. Leur précision dépend donc en grande partie de la précision du modèle de croissance en hauteur dominante (FONWEBAN, 1995).

3-5 Etablissement des courbes de productivité et fixation de leurs niveaux

La relation hauteur/âge/indice de fertilité constitue un élément fondamental de la prévision de l'accroissement des peuplements homogène. Elle exprimée ordinairement sous la forme d'un faisceau de courbes de fertilité pour une essence donnée dans une région donnée (ALDER, 1980).

Les données de base nécessaires à la construction d'un faisceau de courbes de productivité sont fournies par des placettes temporaires (portions de surfaces de quelques ares mesurés une seule fois et non matérialisées) ou bien par des placettes permanentes et semi – permanentes (mesurées à plusieurs reprises et matérialisées) DECOURT(1966). Cette construction peut, aussi, se faire à l'aide des analyses de tiges sur un certain nombre de placettes représentatives des différentes fertilités rencontrées (LEGOFF, 1982 ; DUPLAT, 1986).

Les niveaux de productivité de référence correspondent généralement à des valeurs de hauteur dominante atteintes à un âge déterminé. Les classes de productivité sont presque toujours matérialisées par des intervalles égaux de hauteur dominante à un âge fixé.

ALDER (1980) a procédé à une étude détaillée et claire pour l'élaboration de ces faisceaux de courbes, distinguant les méthodes graphiques les plus simples mais trop souvent subjectives des méthodes statistiques d'ajustement.

Pour définir les différents niveaux de fertilité à partir du modèle mathématique retenu, la fixation d'un âge de référence s'impose. M'HIRIT (1982) s'est basé sur l'âge où l'accroissement courant en volume atteint son maximum (donc peuplement en pleine croissance). Selon d'autres auteurs, à l'instar de DECOURT et LEVY (1974) cités par ZIAT (1986), plus l'âge de référence est grand plus l'indice de productivité est en rapport avec la production.

3-6 Modélisation de la croissance et de productivité

Un modèle de croissance est défini comme l'ensemble des connaissances que l'on possède d'un phénomène que l'on essaye de représenter sous forme de relations mathématiques plus ou moins complexes (M'HIRIT, 1982). Par ailleurs, ALDER (1980), le définit comme étant un jeu d'équations ou de courbes qui expriment les relations qui existent entre les variables qu'on y introduit.

Construire un modèle est une opération qui consiste à réduire un système complexe en un système simple (BOUCHON, 1982) et aussi général que possible (FONWEBAN, 1995).

Pour pouvoir prendre en compte la grande diversité des peuplements et des scénarios sylvicoles, les modélisateurs forestiers ont développé un grand nombre de modèles, statiques ou dynamiques, pour comprendre et prédire l'évolution des arbres et des peuplements. En ce qui concerne la prédiction de la croissance des arbres, par exemple, on peut distinguer, selon le niveau de détail souhaité, des modèles à l'échelle du peuplement, qui considèrent des variables moyennes du peuplement (comme la densité ou le diamètre moyen) ; des modèles de distribution, qui considèrent l'évolution du nombre d'arbres dans différentes classes de diamètre ; et des modèles à l'échelle de l'arbre, qui simulent l'évolution de chaque arbre individuellement ou au moins pour certains arbres types représentatifs d'une cohorte d'arbres ayant les mêmes caractéristiques (HOULLIER et al., 1991) cité par (GOREAUD et al., 2005).

L'estimation de productivité d'une essence donnée peut être envisagée de plusieurs manières (DAGNELIE, 1957) ; parmi les quelles nous avons retenu la méthode indirecte fondée sur le concept de la hauteur dominante du peuplement à un âge de référence donné (PARDE, 1957). Le choix d'un modèle de croissance de la hauteur dominante peut alors être fait selon deux approches, polymorphique et anamorphique.

Dans l'approche polymorphique, chaque courbe de croissance représente une classe de fertilité donnée définie par la hauteur dominante à un âge de référence donné. Ces courbes reflètent des milieux de croissance différents et sont construites à partir des données résultant de plusieurs mesurages des placettes permanentes ou d'analyses de tiges (DUPLAT, 1986). C'est une approche objective et précise, mais elle nécessite des mesures diachroniques dans des placettes permanentes ou des analyses de tiges. En l'absence de placettes permanentes et dans l'impossibilité de faire des analyses de tige, méthode trop coûteuse et destructives (perte de matériel dans des peuplements très performants), cette approche n'a pas pu être retenue.

C'est donc l'approche anamorphique qui, à défaut de mesures diachroniques, a été adoptée (BELGHAZI et al, 2000). Cette méthode considère que, quelque soit le milieu de croissance, l'accroissement en hauteur est constant. Elle consiste à ajuster une courbe moyenne (ou courbe

guide) au nuage de points à partir de laquelle seront matérialisés les différents niveaux de productivité représentant les différentes classes de fertilité. Elle suppose que la croissance suit une évolution parallèle dans toutes les stations (RONDEUX, 1999 ; M'HIRIT, 1982 ; BELGHAZI, 2000).

Conclusion :

Parmi les différentes méthodes d'estimation de la productivité mises au point par divers auteurs tels que (DAGNELIE, 1956 ; DECOURT, 1973) et précédemment citées dans le présent chapitre, notre choix s'est porté sur la méthode indirecte fondée sur le concept de hauteur dominante du peuplement à un âge de référence donnée, lequel concept présentant un paramètre facilement mesurable et bien corrélée à la production totale des peuplements.

2^{ème} partie :
Etude expérimentale

Chapitre I :

Cadre d'étude

Introduction :

La forêt algérienne fait partie des forêts méditerranéennes où l'essence la plus répandue est le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). L'une des belles pinèdes est celle de Kimel dans le massif Beni-Imloul qui se situe dans la wilaya de Batna où le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) occupe une importance particulière de par sa superficie qu'il occupe (75000 ha) ; Il constitue le modèle biologique sur lequel se base notre travail dont nous consacrons tout un chapitre afin de :

- Présenter le cadre d'étude avec toutes ses caractéristiques ;
- Définir sa monographie (distribution, physiologie, écologie) ;
- Donner une brève bibliographie sur la sylviculture de l'espèce ;

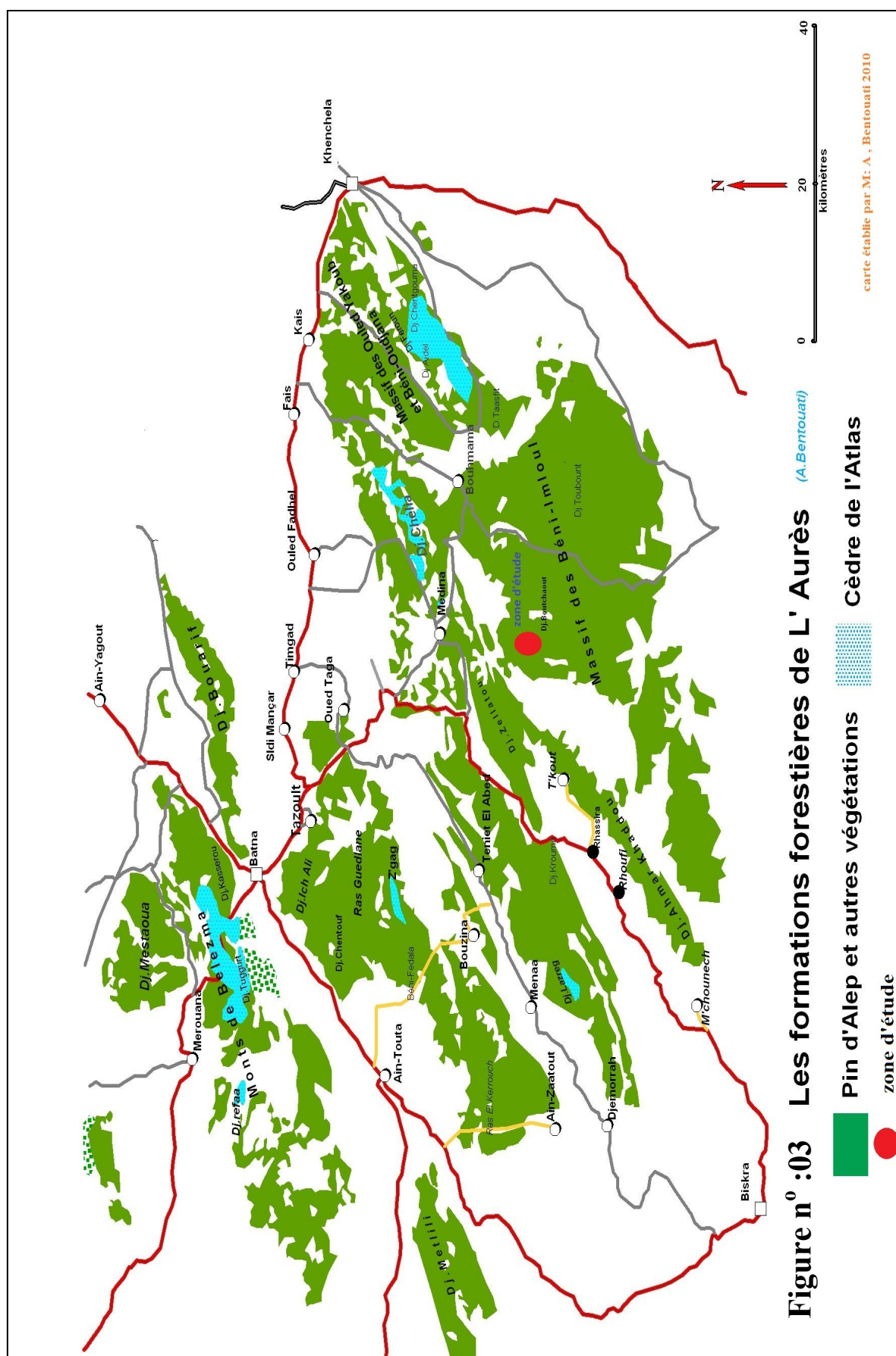
1- Situation de la forêt

La zone objet de notre étude se situe dans le territoire de la wilaya de Batna. Elle est gérée par la conservation des forêts de Batna et appartient à la circonscription d'Arris. Son suivi est assuré par le district de Kimel.

Dans le cadre de son aménagement, le B.N.E.F (1982) a subdivisé le massif des Beni-Imloul en 20 séries d'une superficie totale de 75000 ha. Notre étude a ciblé deux séries limitrophes en l'occurrence celles référencés (15 et 16), respectivement dénommées Tebabouchet, d'une superficie de 3455 ha et Djeniene avec 2588.2 ha de surface.

Les deux séries sont situées à l'extrême Ouest de la forêt domaniale des Beni-Imloul et sont subdivisées en 44 parcelles ; 25 parcelles pour la série 15 et 19 autres pour le série 16. Elles sont délimitées à l'Est par la série d'Azza-berdaa, au Nord par la montagne de Ras Berdoun, au Sud par la série de Ras Aghesdis et à l'Ouest par la montagne de Ras Berdoun.

Géographiquement, la zone étudiée se situe entre une latitude comprise entre X : 221 et Y : 841.8 au Nord et longitudinalement, elle est localisée entre X' : 211.7 et Y' : 852 à l'Est



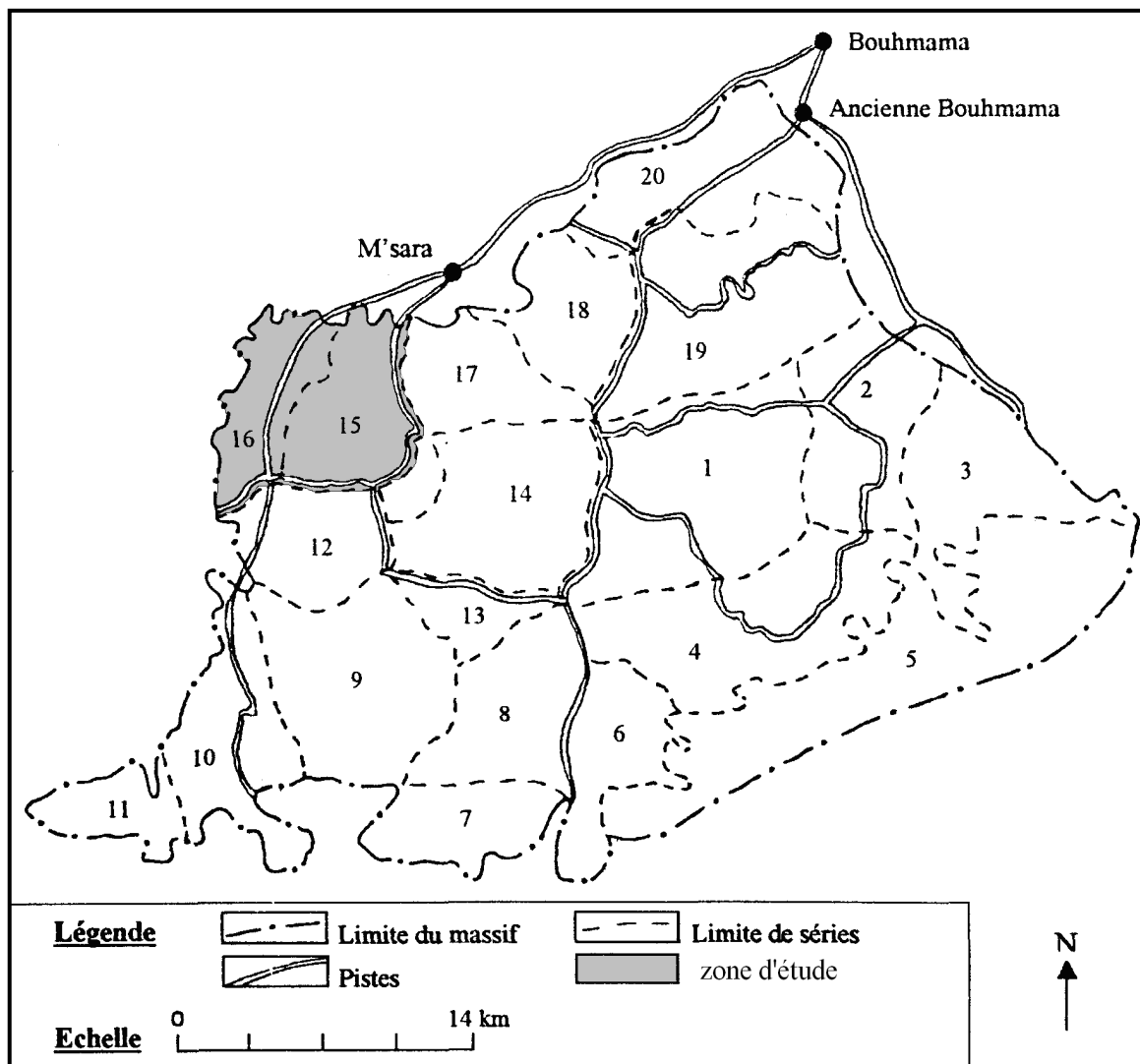


Figure 4 : Localisation de la zone d'étude (Source KHARCHOUCHE 2003)

2- Milieu physique

2-1- Pédologie

L'étude pédologique de la forêt des Beni-Imloul, établie par B.N.E.F (1982), montre que les sols de la forêt des Beni-Imloul sont des calcimorphes à différents stades d'évolution ou de dégradation. Les sols les plus fréquents sont des rendzines passant sur les marnes aux sols bruns calcaires.

- La couche d'humus est peu développée à cause du surpâturage, des incendies et de l'érosion qui en résulte.
- Le sol est caillouteux à profondeur en moyenne inférieure à 50 cm sauf dans les vallées et les terrains plats

2-2- géologie

Comme pour la plus grande partie du massif des Beni-Imloul, les deux séries Djeniene et Tebaboucht sont caractérisées par un sous-sol constitué par l'étage turonien (crétacé supérieur) et une grande partie par des calcaires (B.N.E.F., 1982).

3- la végétation

Le pin d'Alep est l'essence forestière rustique dominante dans les deux séries. Elle est bien adaptée aux conditions écologiques difficiles du massif des Beni-Imloul. On la retrouve depuis le fond des vallées jusqu'aux plus hauts sommets. Et comme strate basse, on trouve le chêne vert dans les stations les plus fraîches contrairement au genévrier oxycèdre et le genévrier de Phénicie qui caractérisent les stations les plus sèches et les plus dégradées. Quant aux essences secondaires les plus fréquentes, on cite : La globulaire (*Globularia alysum.*), Phylaria (*Phillyrea angustifolia L.*), Diss (*Ampelodesma mauritanica*) et L'alfa (*Stipa tenacissima L.*).

3-1- Les groupements végétaux

On rencontre également deux groupements végétaux dans les deux séries :

3-1-1-Pinède à Chêne vert



Figure n° 5 : Pinède à Chêne vert

Située à une altitude dépassant 1350 m, sur les versants surtout nord et dans les stations les plus fraîches et les plus fertiles.

Dans les mauvaises stations, là où il y a une dégradation de la végétation, l'association passe au stade de maquis de chêne vert et d'Oxycèdre. Ce maquis est assez productif du point de vue fourrager et joue un rôle écologique important comme protecteur de sol.

3-1-2- Pinède à Romarin



Figure n° 6 : Pinède à Romarin

C'est l'association de pin d'Alep la plus répandue dans tout le massif des Beni-Imloul excepté les versants nord, laquelle association caractérise le semi-aride inférieur à hiver frais (MEDDOUR, 1983).

Le chêne vert et l'Oxycèdre jouent un rôle secondaire dans l'association sauf en cas de dégradation par suite de coupe, d'incendies ou de surpâturage.

4- Etat sylvicole et sanitaire des peuplements

La forêt des Beni-Imloul est une forêt irrégulière où la densité est souvent faible chez les vieux arbres dont les peuplements ne sont pas satisfaisants. Cet état est dû à l'insuffisance de la

régénération, aux attaques des champignons (polypore) et aux menaces de la pourriture qui provoquent une régression progressive du volume et de l'accroissement.

5- le climat

D'une manière générale, la zone Aurasienne se distingue par un climat sec aride caractérisé par des extrêmes marqués ; des froids rigoureux et des chaleurs caniculaires.

Les amplitudes thermiques sont relativement importantes ; Pour notre étude, nous avons utilisé une séquence de trente (30) ans (allant de 1970 à 2000).

5-1- Le choix de la station de référence

Le choix de la station de référence doit tenir compte de différents facteurs intervenants dans la précision du climat local (zone d'étude) qui sont notamment : La proximité, l'exposition, Barrières climatiques et la Disponibilité des données

La station la plus proche de notre zone d'étude et qui répond aux critères précédents est celle de Bouhmama située à une altitude de 1150 m, d'une latitude nord de 35°20' et d'une longitude de 6°45'

5-2- Les précipitations

C'est le volume total des précipitations représentée par la hauteur d'eau qui couvrirait un plan horizontal s'il n'y avait ni ruissellement, ni infiltration, ni évaporation, exprimée en (mm / jour) (PRUIT et DOORENBOS, 1975) cités par AMMARI (1990)

La répartition de pluies selon les saisons ainsi que les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles observées dans la région des Beni-Imloul au cours des trente (30) années: (1970 – 2000) sont données respectivement par le tableau n° 02 et le tableau n° 01 qui suivent:

Tableau. 1 : Pluviométrie moyenne mensuelle (1970 – 2000)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
P(mm)	36.3	35.8	42.4	30.9	34.3	24.0	17.7	20.9	34.6	29.8	42.4	33.2	382.3

Source : station météorologique Bouhmama

On constate que les précipitations sont irrégulières et faibles au cours de l'année ; Les mois les plus pluvieux se situent en début de printemps (mars) et en fin de l'automne (novembre) avec une précipitation de 42.4 mm. Et le mois le plus sec de l'été correspond à juillet (17.7 mm). Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 382.3 mm.

Tableau. 2 : Répartition de pluies selon les saisons (1970-2000):

Saison	Précipitation
Hiver (Déc, Jan, Fév)	105,3
Printemps (Mar, Avr, Mai)	107,6
Eté (Jui, Juil, Août)	62,6
Automne (Sep, Oct, Nov)	106,8
Total	382,3

Source : Station météorologique Bouhmama

5-3- Les températures

L'étude des données sur la température, à savoir la moyenne des températures minimales des mois les plus froids (*m*) et la moyenne des températures maximales des mois les plus chauds (*M*), donne une idée sur le climat de la région qui se résume dans le tableau n°3 :

Tableau. 3 : Températures moyennes mensuelles (1970 – 2000) :

Mois	J	F	M	A	Ma	Ju	Jt	A	S	O	N	D	Moy.ann
<i>m</i>	-1	-0,4	1,4	5,0	9,5	12,9	15,3	17,2	13,0	8,4	3,7	1,2	7,2
<i>M</i>	9,4	9,5	13,7	17,5	24,1	28,6	32,1	32,9	28,3	20,3	14,0	10,2	20
<i>(m+M)/2</i>	4,2	4,5	7,6	11,3	16,8	20,7	23,7	25,0	20,6	14,3	8,9	5,7	13,6
<i>A</i>	10,4	9,9	12,3	12,5	14,6	15,7	16,9	15,7	15,3	11,9	10,3	9,0	12,8

Source : station météorologique Bouhmama

M : Température moyenne maximale mensuelle

m : Température moyenne minimale mensuelle

M + m/2 : Température moyenne mensuelle

A : Amplitude thermique ($A = M - m$)

D'une manière générale, les températures moyennes mensuelles sont variées d'une saison à une autre révélant ainsi la présence de deux saisons :

- Une saison chaude s'étalant de Mai à Octobre dont les mois les plus chauds sont : Juillet et Août.
- Une saison froide s'étalant de Novembre jusqu'à Avril dont la température la plus basse est de -0.4 °C durant le mois de Février

Les valeurs moyennes des minimas correspondent pratiquement à la limite biologique du pin d'Alep qui peut supporter des températures allant de (-15 °C) (NAHAL, 1962).

5-4- Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme Ombrothermique reflète le caractère continental du climat avec une saison sèche qui s'étale sur cinq mois (de Mai à Octobre), pendant cette période les précipitations diminuent et les températures maximales annuelles augmentent à plus de 32 °C au cours du mois d'Août ; ce qui provoque un stress hydrique important par une diminution de la réserve en eau dans le sol et l'apparition de la sécheresse ; le phénomène engendre le plus souvent une forte mortalité des jeunes semais et un dépérissement en vitesse des peuplements âgés .

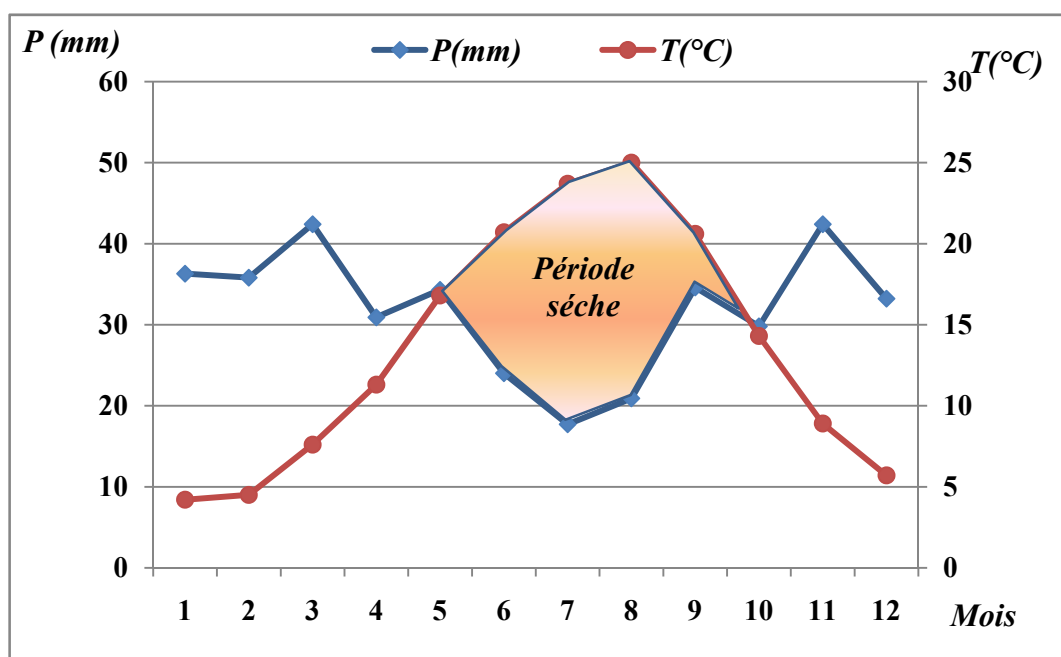


Figure n° 7 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNAULS de la région de Beni-Imloul

5-5- La gelée

La gelée joue un rôle dans la désarticulation des cônes dans la germination des graines (par la levée de dormance) (B.N.E.F., 1982).

Les gelées sont fortement influencées par l'altitude et engendrées par les basses températures. Elles sont fréquentes en hiver (tableau n° 04). Elles peuvent provoquer de graves dégâts sur les jeunes plants .

Tableau. 4 : Nombre de jours de gelée durant la période (1992– 2000)

Mois	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Oct	Nov	Total
Nbre de jours	14.33	18.78	19.89	10.44	03.56	1.00	0.11	04.56	72.11

Source : station météorologique Bouhmama

Ce tableau montre que le nombre de jours de gelée est de 72.11 jours par an, on remarque que les mois les plus agressifs sont janvier, février, mars et décembre.

5-6- Quotient pluviométrique d'EMBERGER

En 1932, EMBERGER proposa une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuel en tenant compte des précipitations et de la température. Cette formule s'énonce comme suit :

$$Q = \frac{1000 P}{\frac{M+m}{2} (M-m)}$$

Où :

Q : Quotient pluviométrique d'EMBERGER **P** : Pluviométrie annuelle en (mm)

M+m/2 : Température moyenne **M-m** : Amplitude thermique maximale

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

m : Moyenne des minima de mois le plus froid (°C)

STEWART (1969) par la suite simplifia cette équation et proposa pour ce cas :

$$Q = 3.43 \times \frac{P}{M - m}$$

Où l'application des données à cette formule nous fait ressortir

- ✓ Donc **Q = 37.6** ; permet de classer la région d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver froid.

conclusion :

dans notre zone d'étude , le pin d'Alep semble bien adapté aux conditions écologiques difficiles qui prévalent au massif des Beni-Imloul; se retrouve depuis le fond des vallées jusqu'aux plus hauts sommets.

L'étude climatique montre que la forêt domaniale de Kimel se classe à l'étage bioclimatique semi-aride, avec une longue saison estivale sèche et chaude et aussi par des années moins arrosées de plus en plus nombreuses

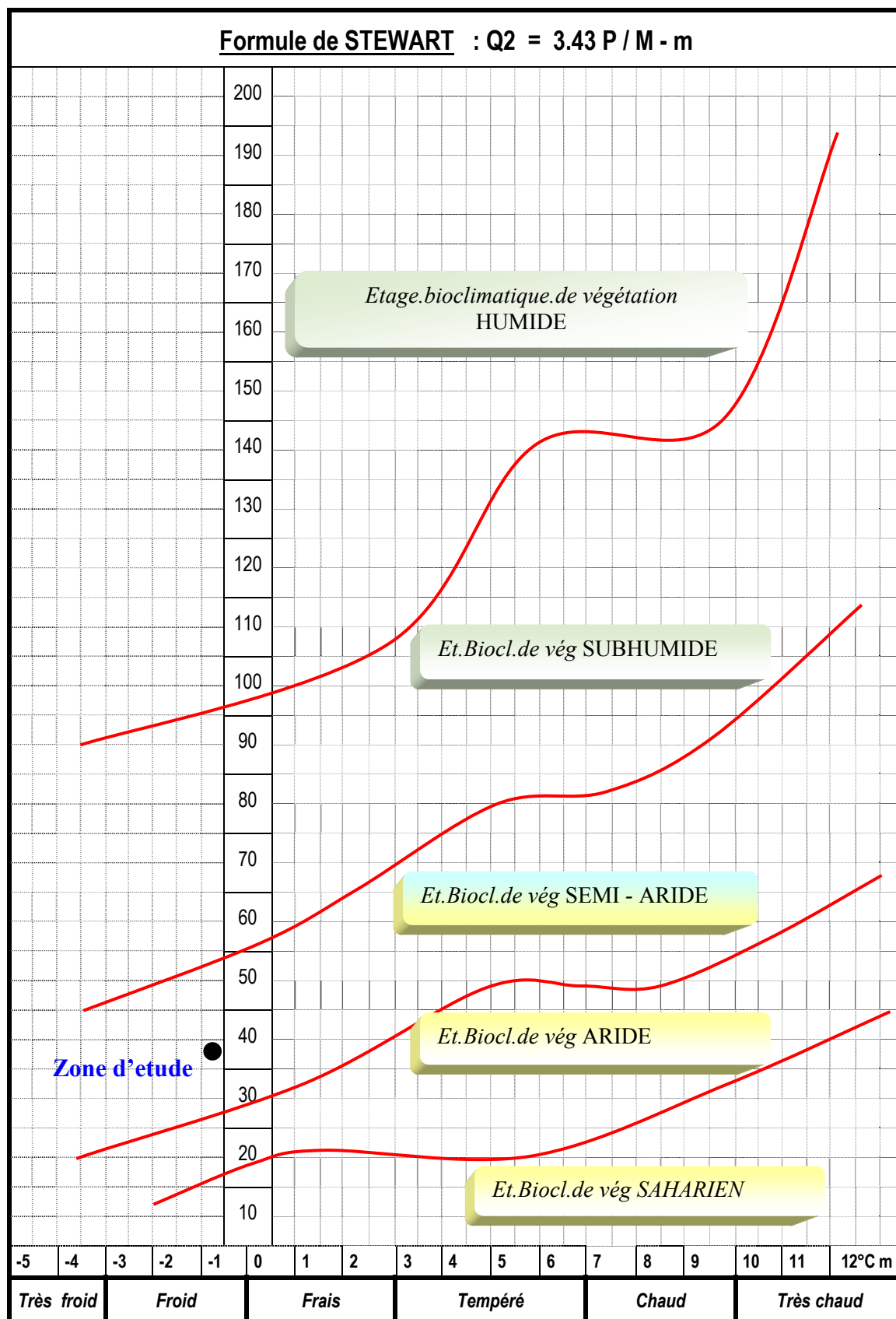


Figure n° 8 : Climagramme d'EMBERGER et étage bioclimatique de la zone d'étude

Chapitre II : Méthodologie

Introduction

Dans ce chapitre, nous essayerons d'expliquer la démarche générale suivie, ainsi que le matériel utilisé. Nous présenterons très brièvement l'ensemble du travail effectué. Les protocoles et les méthodes seront développés en détail dans chacun des chapitres correspondants.

Dans le but d'étudier la croissance et la productivité du pin d'Alep dans la forêt domaniale de Kimel et établir des tarifs de cubage (arbre et peuplement), ainsi d'établir des équations, de rapport de volume et une équation de défilement de cette espèce, nous avons analysé des peuplements autant que possible purs, équiennes, normalement dense, sans trouées. L'échantillonnage que nous avons effectué est de type aléatoire stratifié.

Les données de base récoltées à partir de 150 placettes temporaires circulaires couvrant une surface moyenne de 10 ares Chacune. Les 150 placettes ont été installées au niveau des peuplements jugés intéressants pour l'étude et de telle manière que les critères évoqués ci avant (pureté, homogénéité, densité) soient suffisamment bien respectés.

Après l'installation des placettes, les arbres inclus dans ces placettes, matérialisées au moyen d'un mètre ruban de 50 m, ont fait l'objet des mesures ou de déterminations suivantes :

Des Mesures dendrométriques : telles que les circonférences à 1.30m de tous les arbres, les hauteurs totales des plus gros arbres (10 par de placette), l'âge à la tarière de PRESSLER des trois arbres dominants « la moyenne, le plus gros et le plus petit » (sondage effectué à 0.30m au-dessus du niveau du sol), accroissements radiaux près à 1.30m portant sur les 5 dernières saisons de croissance et l'épaisseur de l'écorce, à 1, 30m.

Des descriptions du milieu : de nature topographiques, pédologiques, et la végétation.

Dans l'objectif d'établir un tarif de cubage, un lot de 149 arbres échantillons sur lesquels des mesures des diamètres à chaque mètre ont été réalisés à l'aide de Relascope de BITTERLICH.

1- Inventaire des placettes d'échantillonnage

Après l'installation des placettes, les arbres inclus dans ces placettes feront l'objet des mesures ou des déterminations suivantes :

1-1-Paramètres mesurés :**1-1-1- Mesure des circonférences des arbres précomptée**

La mesure des circonférences à 1,30m (usage international) du sol de toutes les tiges non mortes (circonférence de précomptage de 15 cm). Les circonférences sont mesurées au mètre ruban.

1-1-2- Choix des arbres dominants

La hauteur dominante est la hauteur qui correspond au diamètre moyen des 100 arbres ayant le plus gros diamètre à l'hectare (RONDEUX et al ; 2002 ; JAYRAMAN, 1999).

Dans le cas bien précis de nos placettes d'échantillonnage de 10 ares de superficie, ceci correspond : à mesurer la hauteur de dix arbres

$$\frac{100 \text{ (tiges/ha)} \times 10 \text{ ares}}{100 \text{ ares/ha}} = 10 \text{ tiges/placettes}$$

Donc le choix des arbres dominants dans chacune des placettes à été effectué d'après la circonférence à 1.30m des 10 plus gros arbres sains non fourchus sans défauts graves.

1-1-3- Mesures effectuées sur les arbres dominants :**1-1-3-1- Mesure de l'âge :**

Les arbres sélectionnés pour l'estimation de l'âge doivent être sains, ne présentant pas de signes pathologiques externes. En effet, la présence de carpophores sur les troncs dénote l'existence d'une pourriture du bois. L'âge mesuré par un sondage à la tarière de Pressler (sondage effectué à 0.30m au-dessus du niveau du sol) de trois arbres échantillons, ils correspondent à l'arbre moyen, au plus gros et au plus petit (BELGHAZI et al, 2000).

. Le nombre de cernes comptés de la carotte prélevée à 0.30 m du sol donne l'âge de l'arbre. Pour une meilleure estimation de cette variable, il est utile d'ajouter 5 années au nombre obtenu pour compenser les 30cm de souche, (THAVAUD, 1979).

Une fois la carotte extraite, on ferme le trou résultant de la carotte afin d'éviter toute attaque de l'arbre.

1-1-3-2- La hauteur totale au Blum Leiss :

Il s'agit de mesurer au blum-leiss la longueur du segment de droite qui joint le pied de l'arbre à son bourgeon terminal. Pendant la mesure on prend en considération la pente et l'inclinaison de l'arbre pour corriger leurs effets.

1-1-3-3- L'accroissement courant en diamètre

L'accroissement courant en diamètre (A_{cd}) obtenu à partir du comptage du nombre de cernes des 2.5 cm derniers de la carotte de sondage (ZIAT, 1986).

$$A_{cd} = \frac{5Cm}{n} (Cm/an)$$

Où n : est le nombre de cernes compté sur les 2.5 derniers centimètres de la carotte de sondage.

1-1-3-4 L'épaisseur de l'écorce :

Sur les arbres où il a été effectué des mesures d'accroissements, on mesure également l'épaisseur de l'écorce à 1.30 m. Celle-ci est réalisée à l'aide d'un mesureur d'écorce (PARDE et BOUCHON 1988 ; RONDEUX, 1999).

2 -Les variables transformées

2-1- Le facteur d'écorce (K_e) : $K_e = \frac{d}{ds}$

Où K_e : Facteur d'écorce ;

d : Diamètre sur écorce ;

ds : Diamètre sous écorce

2-2 L'accroissement courant en volume (A_{cv})

L'accroissement en volume est calculé par la dérivation de l'équation du tarif de cubage à une entrée (RONDEUX, 1999)

$$A_{cv} = v(d) \times A_{cd}$$

Où : A_{cv} L'accroissement courant en volume ; $v(d)$ = dérivée du tarif ou du volume par rapport au diamètre ; A_{cd} accroissement moyen annuel périodique (courant) du diamètre obtenu par sondage à la tarière .

L'équation précédente nous permettra de calculer l'accroissement courant en volume avec écorce. Pour calculer cette dernière sans écorce on a obtenu l'équation suivante :

$$Acv = \frac{5xKe}{n} x \dot{v}(d)$$

2-3- La hauteur dominante (H. dom)

C'est un bon indice de fertilité des stations. Elle est définie comme étant la hauteur moyenne des cents (100) plus gros arbres à l'hectare (PARADE et BOUCHON 1988). Dans notre cas la hauteur dominante des pieds correspond à la moyenne arithmétique des hauteurs totales des arbres les plus hauts appartenant aux 10 plus gros pieds de la placette.

2-4- La circonférence moyenne

C'est la moyenne arithmétique de toutes les circonférences. Elle est calculée par la formule :

$$\bar{C} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n C_{1,30} (Cm)$$

N : Nombre d'arbres de la placette

C_{1.30} : La circonférence à 1.30 m

2-5- La hauteur moyenne

Elle représente la moyenne arithmétique des hauteurs. Elle est calculée par la formule :

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n H_i (m)$$

N : Nombre des arbres de la placette

2-6- La surface terrière (G/ha)

Elle est calculée à partir de la somme des sections à 1.30 m du sol de tous les arbres sur pieds à l'hectare, ordinairement exprimée en m² par rapport à une unité de surface :

$$G/ha = \frac{100}{4\pi S} \sum_{i=1}^n C_i^2$$

C_i : Circonférence de l'arbre à 1.30 m du sol

S : Surface de la placette en ares

.C'est un excellent critère de densité du peuplement et donc à la fois du volume sur pieds (M'HIRIT, 1982).

2-7- La densité de la placette

Représente le nombre de pieds par hectare, elle dépend surtout de la superficie de la placette.

$$N/ha = \frac{N \times 100}{S}$$

Avec :

N : Nombre de pieds

S : Surface de la placette en ares

2-8- La circonférence de l'arbre de la surface terrière moyenne (cg)

La tige de surface terrière moyenne est immédiatement obtenue, elle représente la circonférence de l'arbre moyen du peuplement (PARDE et BOUCHON, 1988).

La circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne est calculée par la formule :

$$\overline{cg} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n C_i^2}{N}}$$

(PARDE et BOUCHON, 1988)

Avec :

C_i : Circonférence de l'arbre à 1.30 m du sol

N : Nombre d'arbres par placette.

Sur cet arbre les mesures suivantes ont été effectuées :

- La circonférence à 1.30 m du sol
- La hauteur totale
- L'âge à 0.30m du sol

2-9 – Principe de Calcul de l'accroissement en volume par sondage à la tarière de Pressler

La méthode la plus simple pour connaître l'accroissement d'un peuplement forestier est la comparaison d'inventaires. Parfois, on ne peut pas ou on ne souhaite pas utiliser cette méthode (manque d'un premier inventaire, fiabilité des inventaires ou suivi des exploitations mis en cause...) et il faut donc une autre méthode pour calculer l'accroissement d'un peuplement.

Comme son nom l'indique, le calcul des accroissements par sondage à la tarière de Pressler donne l'accroissement en volume des peuplements en fonction de la mesure des cernes annuels prélevés sur un échantillon. La subtilité de la méthode se trouve dans la relation qui existe entre l'accroissement du diamètre à 1,30 mètres et l'accroissement de volume correspondant.

Pour éviter au maximum les dégâts, POGE et THIERCELIN (1970) cités par PARDE et BOUCHON (1988) conseillent de faire les sondages pendant la période d'arrêt de la végétation, de reboucher les trous avec des chevilles de bois, et de colmater avec du mastic.

Les comptages et mesures des cernes sur bâtonnets se font souvent immédiatement en forêt, et pour rendre les limites des cernes annuels plus visibles, on peut tout d'abord planer une de leurs faces à l'aide d'un papier verre et humecter les bâtonnets de sondage avec une huile.

3- Observations relatives au milieu

Elles visent à décrire le milieu de croissances du peuplement (RONDEUX et al. 2002) et permettent de stratifier l'échantillonnage.

Elles portent sur :

- La topographie : altitude, pente, exposition, forme de relief ;
- La pédologie : détermination de la profondeur du sol, nature de la roche mère ;
- La végétation : relevée des principales espèces dans la strate ligneuse (arbustive et arborescente) et la strate herbacée.

4- Cubage des arbres sur pieds :

Au sein des peuplements sélectionnés, 149 arbres ont fait l'objet d'un tarif de cubage ainsi que des équations de rapport de volume et deux Fonctions de défilement. Nous avons toutefois veillé à disposer d'un échantillon représentatif des différentes classes de diamètres (M'HIRIT, 1982 ; PAUWELS et RENDEUX ,2002)

Pour pouvoir calculer le volume de chaque tige, les mesures suivantes ont été réalisées sur chaque arbre :

• H_t : La hauteur totale, H_{bf} : La hauteur de bois fort, $C_{0.30}$: La circonférence à 0.30m du sol, $C_{1.30}$: La circonférence à 1.30m du sol, $C_{h/2}$: La circonférence à mi-hauteur total, $C_{bf/2}$: La circonférence à mi-hauteur bois fort, C : La circonférence Pour chaque 1m de la tige. Les diamètres à différents niveaux ont été mesurés au relascope de BITTERLICH

La démarche adoptée pour établir les tarifs de cubage consiste à mettre en évidence les relations statistiques qui lient le volume des tiges ou arbres échantillonnés aux paramètres mesurés (diamètre, hauteur ...) (M'HIRIT, 1982).

Conclusion :

Pour étudier la croissance et la productivité du pin d'Alep au niveau de la pinède de Kimel ; nous avons utilisé un échantillonnage aléatoire stratifié. Au total, 150 placettes expérimentales de forme circulaires ont été installées. Après l'installation des placettes, les arbres inclus dans ces placettes, ont fait l'objet des mesures dendrométriques ; telles que les circonférences à 1.30m de tous les arbres, les hauteurs totales des plus gros arbres (10 par placette), l'âge à la tarière de PRESSLER des trois arbres dominants «le moyen, le plus gros et le plus petit », et l'épaisseur de l'écorce à 1.30m.

Dans l'objectif d'établir un tarif de cubage, un lot de 149 arbres échantillons sur lesquels des mesures des diamètres à chaque mètre ont été réalisés à l'aide de relascope de BITTERLICH.

Chapitre III :

Calcule des volumes

Introduction

Dans le domaine de la sylviculture, si des critères qualitatifs sont très souvent utilisés pour décrire et comparer les peuplements, il est parfois nécessaire de faire appel à des données chiffrées pour affiner la description et mieux comprendre l'évolution d'une parcelle. De même, en aménagement, les données chiffrées sont primordiales.

Parmi ces données chiffrées, le volume (ou le calcul du volume) constitue une donnée dendrométrique particulièrement importante, voire fondamentale pour caractériser un peuplement. S'il trouve auprès de nombreux forestiers un écho important, c'est en raison du fait qu'on peut le relier aux transactions commerciales. (GAUDIN, 1996)

L'objectif de ce chapitre est de construire des tarifs de cubage, des équations de rapport de volume et une fonction de défilement à forme variable pour le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mil). Cet ensemble d'équations permettra d'estimer le volume jusqu'à n'importe quel niveau d'utilisation et de prédire la forme des tiges pour cette espèce. cet objectif est justifié par les multiples utilisations de l'espèce en Algérie.

1-Tarifs de cubage

A partir des mesures de circonférence effectuées à chaque mètre des arbres sur pieds à l'aide de relascope de Bittlich, le volume bois fort (arrêtée à 7 centimètres au fin bout) ainsi que le volume total de chaque tige ont été cubés par sommation des volumes (v) des billons successifs la constituant. Ces billons sont assimilés à des troncs de cônes et cubés par la formule :

$$v = \frac{\pi h}{12} (d_0^2 + d_s^2 + d_0 d_s)$$

Dans laquelle : h = longueur du billon,

d_0 = circonférence à la base du billon,

d_s = circonférence fin bout du billon.

La répartition du nombre de tiges par classe de hauteurs et par classe de circonférences de notre zone d'étude est représentée ci-dessous (tableau n 5)

Tableau n°5: La répartition du nombre de tige par classes des hauteurs et par classes des circonférences

Classes de diamètres (cm)	Classes des hauteurs (m)						Total
	[7 - 10[	[10 -13[	[13 -16[	[16 - 19[	[19 - 22[	[22 – 25[	
[10 -15[		2					2
[15 - 20[	4	4					8
[20 - 25[	1	7	3				11
[25 - 30[		11	8				19
[30 - 35[		6	8	2			16
[35 - 40[		7	13	4			24
[40 - 45[		1	8	3			12
[45 - 50[			7	8	1		16
[50 - 55[			4	3			7
[55 - 60[				6	2		8
[60 - 65[			1	6	2		9
[65 - 70[			1	2	1		4
[70 - 75[				2	4	4	10
[75 -80[					3		3
Total	5	38	53	36	13	4	149

1-1 Équations testées :

On a ajusté les données observées sur les volumes totaux, les diamètres et les hauteurs des 149 arbres sur pieds, ont fait l'objet d'ajustements à partir de 06 modèles d'équations les plus utilisées.

Les équations utilisées sont de type :

Tarif à une entrée

$$(1) v = a_0 + a_1 d$$

$$(2) v = a_0 + a_1 d^2$$

$$(3) v = a_0 + a_1 d + a_2 d^2$$

Tarif à 2 entrées

$$(4) v = a_0 + a_1 d^2 h_{tot}$$

$$(5) v = a_0 + a_1 d + a_2 h_{tot}$$

$$(6) v = a_0 + a_1 d + a_2 d^2 + a_3 d^2 h_{tot}$$

Tarif peuplement:

$$(7) \nu = a_0 + a_1 h d + a_2 G$$

Avec :

ν = volume total de l'arbre (m³) ;

d = diamètre à 1,30 m (m) ;

h_{tot} = hauteur totale de l'arbre (m) ;

a_0, a_1, a_2, a_3 , = coefficients de régression

1-2 Ajustement :

Les modèles linéaires, (1) à (6), ont été ajustés à l'ensemble des données par régression linéaire. La qualité d'ajustement a été appréciée au vu de l'analyse graphique des résidus et à partir des critères suivants :

- Le coefficient de détermination (R^2) qui traduit la part de variation du volume (ν) expliquée par l'équation retenue.

$$(1) \quad r = \frac{SPE}{\sqrt{SCE\nu \cdot SCEx}}$$

Avec :

SPE = Somme des produits des écarts entre la variable expliquée (ν) et les variables explicatives (d ou $d^2 h$)

$SCE\nu$ = Somme de carrés des écarts du volume

$SCEx$ = Somme des carrées des écarts expliquée par l'équation

x = Variables explicatives (d ou $d^2 h$)

- L'écart type résiduel de la forme :

$$\sigma_{\nu x} = \sqrt{\frac{1}{n - p - 1} \sum (\nu i - \hat{\nu} i)^2}$$

Avec :

$\sigma_{x,\nu}$ = écart type résiduel ;

νi = volume observé ;

$\hat{\nu} i$ = volume estimé ;

n = nombre total des arbres ;

p = nombre de variables explicatives ;

x = variables explicatives.

Un coefficient de détermination élevé ou un écart type résiduel faible témoignent d'un bon ajustement (PALM et RONDEUX ,1976).

- Le coefficient de variation résiduel (CVR) qui chiffre les fluctuations entre le volume observés v_i et le volume calculés $v'i$ à partir de la régression, il est de la forme :

$$CV_{v.x} = \frac{|100\sigma_{v.x}|}{\bar{v}}$$

Avec :

$CV_{x.v}$ = coefficient de variation,

$\bar{v}$ = volume moyen

x = variables explicatives.

Le coefficient de variation résiduelle le plus bas témoigne d'un bon ajustement (MHIRT, 1982).

- La moyenne quadratique des résidus absolus sa et relatifs sr qui chiffre la fluctuation entre les volumes estimé et qui représentent les expressions suivantes :

$$sa = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - v'i)^2} \quad ; \quad sr = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i - v'i}{v'i} \right)^2}$$

1-3- Tarif arbre obtenu par la méthode directe

Les volumes calculés par la méthode de Newton / Simpson sont groupés par classe de diamètre d'une amplitude de 5 cm. Chaque classe est représentée par son volume moyen. (Tableau7). Cette façon de procéder se rattache à la méthode directe qui permet de tracer la courbe moyenne des volumes observés en fonction du diamètre moyen de la classe (figure 9).

Tableau n°6 : Répartition des volumes observés (dm^3) par classe du diamètre à 1.30m

Classe de diamètre (cm)	Effectif	moyen (dm^3)	Minimum (dm^3)	Maximum (dm^3)	Ecart-type (dm^3)
[10 -15[	2	74,6	63,0	86,3	16,5
[15 - 20[	8	121,2	75,9	157,2	32,2
[20 - 25[	11	198,5	139,7	261,3	37,1
[25 - 30[	19	335,1	259,3	454,1	46,8
[30 - 35[	16	497,8	331,5	625,4	86,9
[35 - 40[	24	625,2	425,9	809,3	91,0
[40 - 45[	12	844,8	706,4	1072,7	126,6
[45 - 50[	16	1163,5	856,4	1561,1	189,5
[50 - 55[	7	1419,6	1196,2	1669,1	156,0
[55 - 60[	8	1900,5	1399,3	2216,2	237,6
[60 - 65[	9	2197,5	1823,3	2528,0	234,4
[65 - 70[	4	2339,5	2012,7	2657,2	283,0
[70 - 75[	10	3114,6	2558,2	3856,7	424,3
[75 -80[	3	3243,0	2816,6	3522,2	375,1

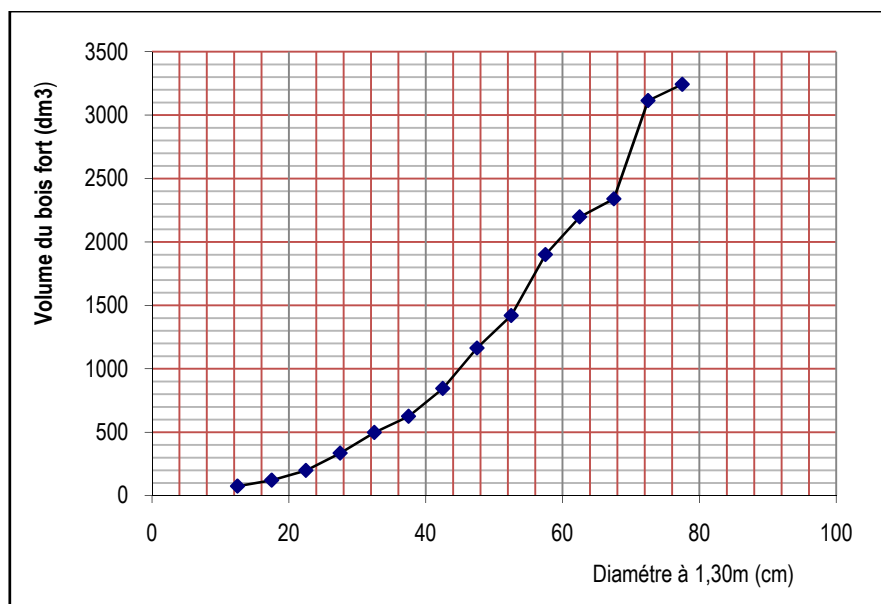


Figure n° 9 : Volume du bois fort en fonction du diamètre : Méthode directe

La figure montre l'évolution des volumes observés par la méthode en fonction du diamètre d'arbres à 1,30 m. Il apparaît clairement que l'effectif de l'échantillon se caractérise par une représentation graphique de diamètres moyens appartenant à une amplitude de classe de 25-50 cm. Les gros et les petits bois sont peu représentés.

1-4- Méthode graphique

Cette méthode est surtout utilisée dans la construction des tarifs à une entrée. Elle présente l'avantage de mieux tenir compte de l'allure générale du nuage des points. Ainsi elle permet de représenter individuellement les volumes de tous les arbres de l'échantillon en fonction du diamètre à 1.30 de chaque arbre. on ajuste ensuite une courbe de tendance moyenne passant par le maximum des points du graphique. (RONDEUX, 1993 ; BENTOUATI, 2006).

Contrairement à la méthode directe, la méthode graphique impose une évolution régulière des volumes en fonction des grosseurs. Elle ne nécessite pratiquement aucun calcul. L'inconvénient de cette méthode, est qu'elle ne permet pas d'estimer avec précision le tarif de cubage lors de la détermination du volume d'un ensemble d'arbres. (RONDEUX, 1999). La figure 10 illustre parfaitement l'existence d'une forte relation ($R^2 = 0.96$) entre le volume et le diamètre pour ce type de tarif.

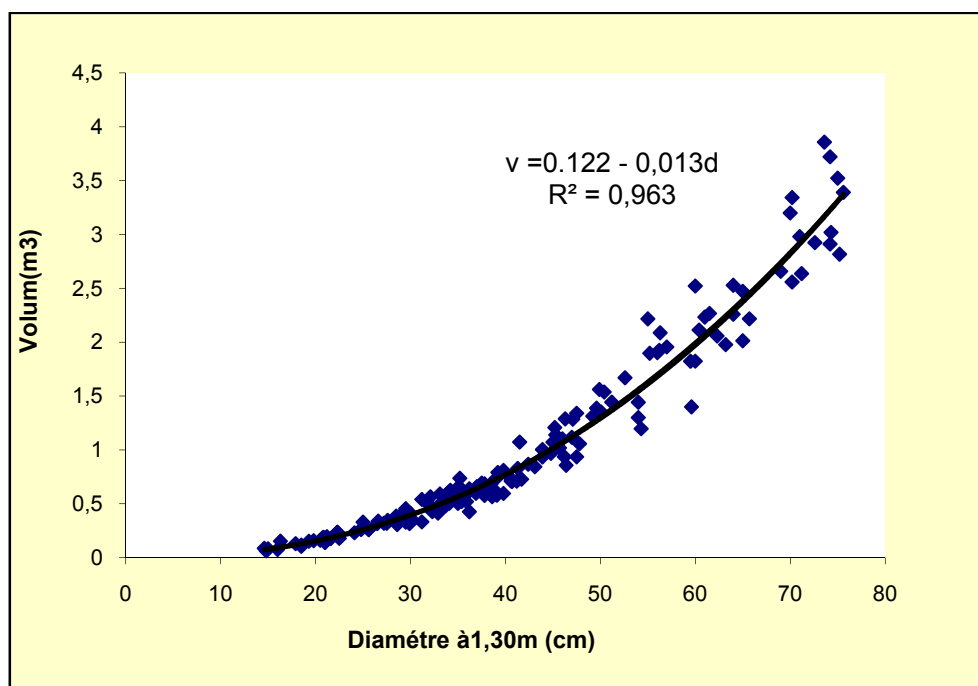


Figure n° 10: Représentation graphique du volume en fonction du diamètre à 1.30m

1-5- Calcul des tarifs de cubage mathématiques :

1-5-1- Régression non pondérée :

Le tableau n°7 donne les résultats d'ajustement des tarifs

Tableau n° 7 : Les résultats d'ajustement des tarifs

N°	EQUATIONS	R2	$\sigma_{x.v}$	CVR	Sa	Sr
1	$V1 = -1.215 + 5.4399d$	0,91	0.268	25.56	0.269	15.2
2	$V2 = -0.1549 + 6.0609d^2$	0,96	0.179	17.05	0.179	18.13
3	$V3 = -1.5317 + 4.8031d + 0.0393h$	0,91	0.260	24.8	0.261	2.001
4	$V4 = 0.221 + 0.0784d^2h$	0,95	0,2011	19,0151	0,1998	0,2319
5	$V5 = 0.2641 - 2.5266d + 10.3809d^2 - 0.0213d^2h$	0,96	0,1755	16,5969	0,1744	0,1446
6	$V6 = 0.1226 - 1.3584d + 7.5102d^2$	0,96	0,1757	16,6197	0,1746	0,1401

Selon le tableau précédent nous constatons que les trois équations (2, 5, 6) donnent les meilleurs résultats. En plus des paramètres statistiques et pour apprécier la qualité de l'ajustement des équations testées, et juger de l'adéquation des modèles, nous avons recours aux analyse de la répartition des résidus ($v_i - \hat{v}_i$) exprimés sous forme graphique

1-5-1-1- Tests statistiques des résidus

1-5-1-1-1- Représentations graphiques des résidus

1-5-1-1-1-1- Histogrammes des résidus pour les équations testés

Figure n° 11 : $V1 = -1.215 + 5.4399d$

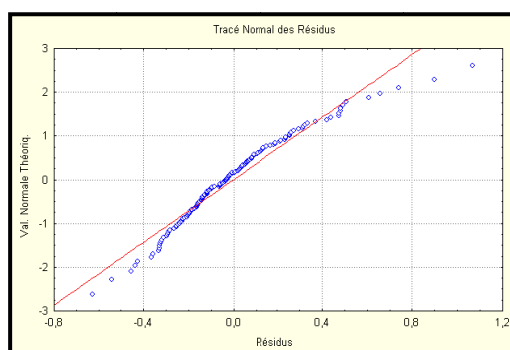
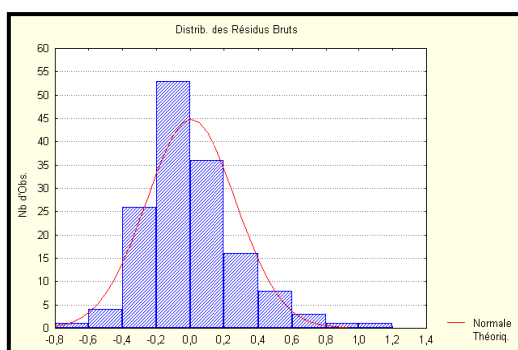


Figure n° 12 : $V2 = -0.1549 + 6.0609d^2$

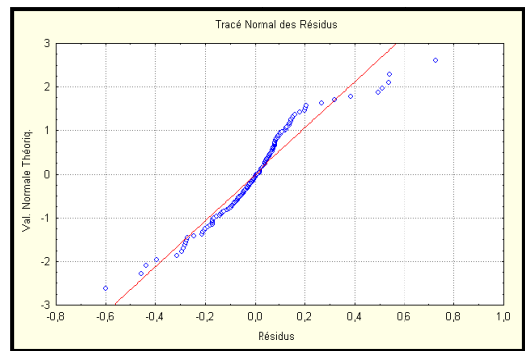
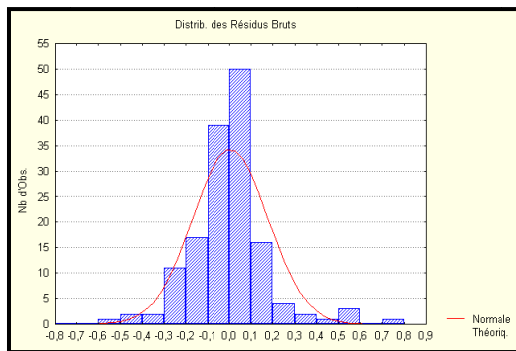


Figure n° 13 : $V3 = -1.5317 + 4.8031d + 0.0393h$

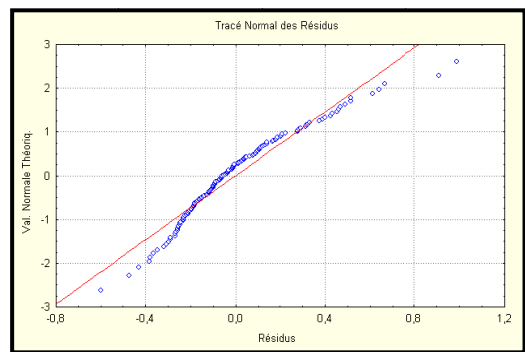
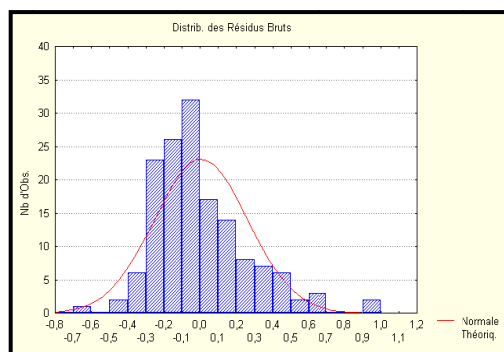


Figure n° 14 : $V4 = 0.221 + 0.0784d^2h$

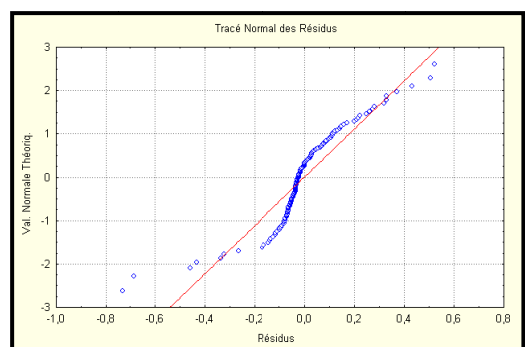
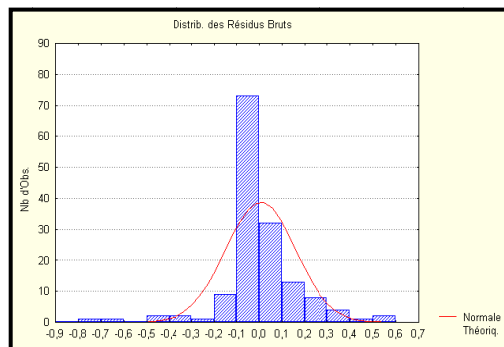


Figure n° 15 : $V5 = 0.2641 - 2.5266d + 10.3809d^2 - 0.0213d^2h$

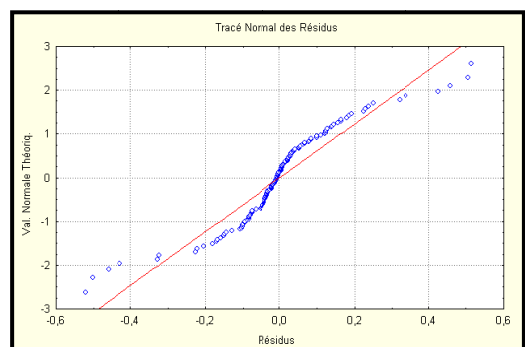
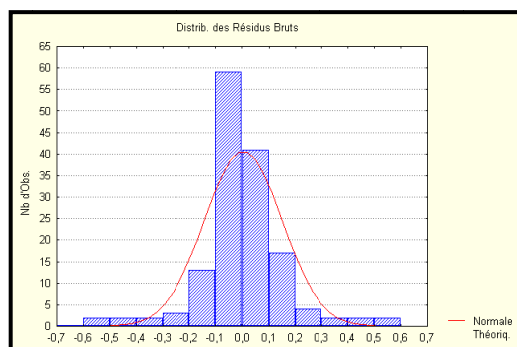
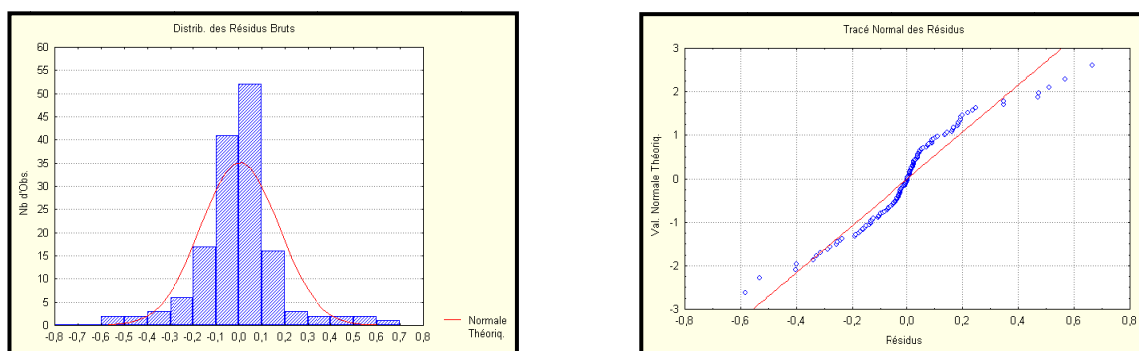


Figure n° 16 : $V6=0.1226-1.3584d+7.5102d$



La représentation graphique des résidus en fonction du volume estimé par les modèles, (2-5-6) nous fournit des informations concernant l'adéquation des modèles. Les figures (11 à 14) Montrent la non homogénéité de la dispersion des résidus, par contre l'examen des deux histogrammes (figures 15 et 16) des résidus, sont présentés sous la forme d'une cloche, ceci justifie l'adéquation des modèles qui montrent que les résidus sont distribués de telle sorte qu'ils peuvent être ajustés par une loi normale.

1-5-2 Régression pondérée :

Les tarifs obtenus montrent que la variance des volumes augmente avec la taille des arbres (fig.17-19) ; ce qui nécessite l'emploi d'une pondération ou d'une transformation de variable visant à rendre la variance homogène (BOUCHON, 1974) ; (CUNIA, 1964) cité par FONWEBAN 1997. La méthode de régression pondérée consiste à minimiser la quantité

$$s = \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2$$

(FONWEBON et HOULLIER, 1997).

Où y_i est la valeur du volume mesuré $\hat{y}_i$ est la valeur du volume estimé par le tarif et w_i est le poids (coefficient de pondération) (COURBET, 1991).

Le tableau n° 9 résume les résultats de l'ajustement des données des arbres de l'échantillon

Tableau n° 8 : Résultats obtenus avec pondération :

N°	EQUATIONS	Pondération	R2	$\sigma_{x.v}$	CVR	Sa	Sr
5	$V5=-0.0171+0.1431d+0.9395d^2+0.2478d^3h$	$1/(d^2h)^2$	0,97	0,1561	14,765	0,1551	0,1103
6	$V6=0.1106-1.2524d+7.3344d^2$	$1/(d^2)^2$	0,96	0,1760	16,647	0,1749	0,1392

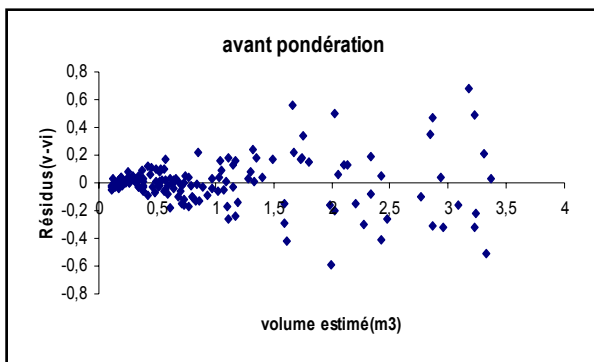


Figure n° 17.

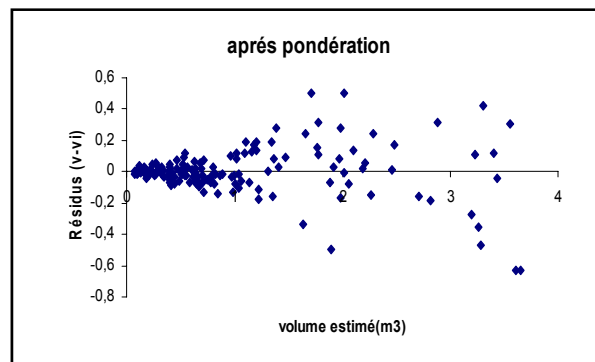


Figure n° 18.

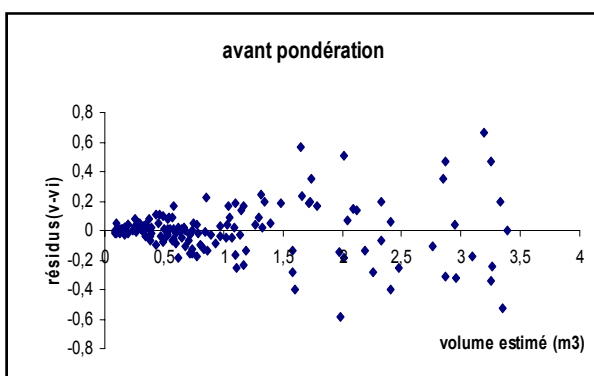


Figure n° 19

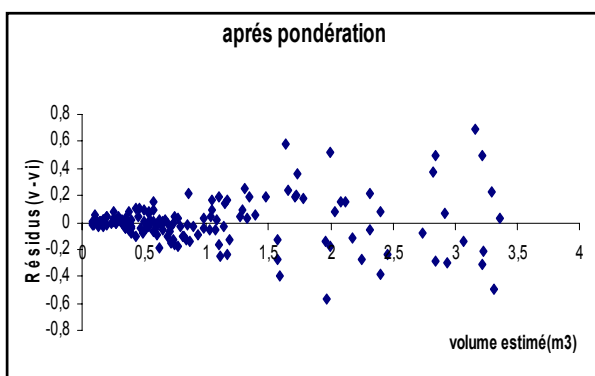


Figure n° 20

Figure n° 17 : Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 2 entrées)

Figure n° 18 : Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 2 entrées pondérées)

Figure n° 19: Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 1 entrée)

Figure n° 120 : Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 1 entrée pondéré)

L'utilisation de la régression pondérée conduit, lorsqu'il y'a hétéroscédaticité à des paramètres dont les variances sont plus petites, que les variances des paramètres obtenus par la régression non pondérée (DARPER et SMITH, 1996). Selon les figures numéros 18 à 20 et le tableau numéro 08, il ressort que les pondérations utilisées n'ont pas permis ni de diminuer le coefficient de variation résiduel ni d'améliorer la distribution des résidus, cette situation résulte en grande partie de la faible amplitude du diamètre des arbres échantillonnés pour la construction des tarifs de cubage.

Tableau n°9 : Caractéristiques dendrométriques des arbres ayant servi à construire le tarif de cubage

Variable	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
Hauteur (m)	14,79	7,8	24,4	3,077
Diamètre à 1.30 m (cm)	41,64	14,6	75,6	16,00
Volume (m³)	1,05	0,062	3,85	0,91

1-6 Tarif de cubage à deux entrées pour le pin d'Alep de la pinède de Kimel :

Le tableau n 10 donne le Tarif de cubage à deux entrées pour le pin d'Alep de la pinède de Kimel

$$V5 = 0.2641 - 2.5266 d + 10.3809 d^2 - 0.0213 d^2h$$

Tableau n° 10 : Tarif de cubage à deux entrées pour le pin d'Alep de la pinède de Kimel.

d _{1,30} (cm)	h _{tot} (m)																	
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04												
15	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09												
20	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21								
25				0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33								
30				0,33	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,47	0,49	0,51						
35				0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63	0,66	0,69						
40				0,59	0,63	0,67	0,71	0,75	0,79	0,82	0,86	0,90						
45							0,89	0,94	0,99	1,04	1,09	1,14	1,19	1,24	1,29			
50							1,09	1,16	1,22	1,28	1,34	1,40	1,47	1,53	1,59			
55							1,32	1,40	1,47	1,55	1,62	1,70	1,77	1,85	1,92			
60							1,57	1,66	1,75	1,83	1,92	2,01	2,10	2,19	2,28			
65							1,83	1,94	2,04	2,15	2,25	2,36	2,46	2,57	2,67			
70										2,49	2,61	2,73	2,85	2,97	3,09	3,21	3,34	3,46
75													3,27	3,41	3,55	3,69	3,82	3,96
80													3,71	3,87	4,03	4,19	4,35	4,50

1-7- Elaboration de modèle de cubage peuplement

Ce type de tarif nécessite au préalable la connaissance de la surface et de la hauteur moyenne ou mieux encore la hauteur dominante du peuplement. Les données de base utilisées pour la

détermination du tarif peuplement sont issues des 150 placettes temporaires destinées initialement à la construction du modèle de croissance pour le pin d'Alep dans notre zone d'étude.

Les peuplements échantillonnés proviennent de tous les niveaux de productivités et représentent les classes de croissance pour des hauteurs dominantes de 10, 13,16 mètres à l'âge de référence de 90 ans.

Ces placettes de 10 ares de surface ont fait l'objet de mesures telles que :

- Les diamètres de tous les arbres de la placette,
- Le diamètre et la hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne,
- La hauteur dominante correspondant aux 100 plus gros arbres de la placette,
- Le volume total par hectare (somme des volumes individuels des arbres de la placette),
- La surface terrière par hectare de la placette

A partir des données récoltées dans les placettes d'échantillonnage, et après l'ajustement mathématique des volumes à l'hectare en fonction de la hauteur dominante et de la surface terrière selon la formule suivante :

$$v = a_0 + a_1 h_{dom} + a_2 G$$

Le modèle qui résulte est :

$$v = - 27,825 + 1,857 h_{dom} + 6,0979G$$

Où v = volume par hectare (m^3/ha) ;

h_{dom} = hauteur dominante (m)

G = surface terrière à l'hectare (m^2/ha)

Avec les paramètres statistiques suivants :

R ²	ETR	CVR	Sa	Sr
0,96	10,1884465	7,40608029	10,1884465	0,26608757

Dans la présente étude, la variation de la surface terrière en fonction de la hauteur dominante de notre échantillon nous ramène d'accepter l'équation précédente pour l'estimation du volume des peuplements (Tableau n° 11).

Tableau n° 11 : Limites des valeurs de la surface terrière en fonction de la hauteur dominante

Hauteur dominante (m)	Surface terrière à (m^2/ha) l'hectare	
	Minimum	Maximum
11	9,69	25,33
12	10,20	33,80
13	10,24	12,66
14	13,54	25,46
15	13,17	35,54
16	12,80	39,21
17	13,81	37,87
18	18,34	32,69
19	22,16	37,30
20	23,48	28,90

Tableau n° 12 : Volume total par hectare établi à partir de la relation :

$$V = -27,825 + 1,857 h_{dom} + 6,0979 G$$

G (m^2/ha)	Hdom(m)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	54,07									
12	66,27	68,17	70,07							
14	78,47	80,37	82,27	84,17	86,07	87,97				
16	90,67	92,57	94,47	96,37	98,27	100,17	102,07			
18	102,87	104,77	106,67	108,57	110,47	112,37	114,27			
20	115,07	116,97	118,87	120,77	122,67	124,57	126,47	128,37		
22	127,27	129,17	131,07	132,97	134,87	136,77	138,67	140,57	142,47	
24	139,47	141,37	143,27	145,17	147,07	148,97	150,87	152,77	154,67	156,57
26		153,57	155,47	157,37	159,27	161,17	163,07	164,97	166,87	168,77
28		165,77	167,67	169,57	171,47	173,37	175,27	177,17	179,07	180,97
30		177,97	179,87	181,77	183,67	185,57	187,47	189,37	191,27	193,17
32		190,17	192,07	193,97	195,87	197,77	199,67	201,57	203,47	205,37
34		202,37	204,27	206,17	208,07	209,97	211,87	213,77	215,67	217,57
36				218,37	220,27	222,17	224,07	225,97	227,87	229,77
38				230,57	232,47	234,37	236,27	238,17	240,07	241,97

2. Equations de rapport des volumes à différentes découpes :

Pour construire des équations de rapport des volumes, nous avons estimé de la même manière le volume de chaque arbre jusqu'aux différentes découpes puis nous avons calculé le rapport entre ce volume et le volume total. Ces rapports ont alors été mis en relation avec le diamètre et la hauteur de l'arbre par régression non linéaire avec Statistica.

2-1. Equations testées :

Les équations de rapport de volumes s'écrivent : $r_d = v_d/v = f(d, D)$ où $r_h = v_h/v = f(h, H)$.

Où : D = diamètre à 1,30m ; h = hauteur le long de la tige à un niveau h donné ;
 H = hauteur totale de l'arbre ;
 V = volume total ; v_d = volume jusqu'au diamètre d ;
 f = coefficient de forme de la tige v_h = volume jusqu'à une hauteur h

Nous avons ajusté les équations suivantes : (RD1), (RD2), (RH1), (RH2), a été proposée par BUKHART (1977), (CAO et BUKHART, 1980) cités par FONWEBAN 1997 :

$$r_d = 1 + \beta_{1d} \left(\frac{d^{\beta_{2d}}}{D^{\beta_{3d}}} \right) + \varepsilon \quad [RD1]$$

$$r_d = 1 + \beta_{1d} \left(\frac{d}{D} \right)^{\beta_{2d}} + \varepsilon \quad [RD2]$$

$$r_h = 1 + \beta_{1h} \left(\frac{(H-h)^{\beta_{2d}}}{H^{\beta_{3d}}} \right) + \varepsilon \quad [RH1]$$

$$r_h = 1 + \beta_{1d} \left(\frac{H-h}{H} \right)^{\beta_{2h}} + \varepsilon \quad [RH2]$$

Où : β_i = coefficients (paramètres) à estimer ; ε = erreur aléatoire.

On a retenue les équation(RD1) et (RH1) car possèdent les R^2 les plus élevé

2-2 Ajustement :

Ces équations ont été ajustées à l'ensemble des données par régression non linéaire. La qualité d'ajustement a été appréciée grâce aux mêmes critères que pour les tarifs de cubage. Sur la base de ces critères, nous avons choisi la (les) meilleure(s) équation(s).

Les équations de rapport de volume donnent la possibilité d'estimer n'importe quel volume intermédiaire sur les arbres .il peut aussi être employé pour estimer soit le diamètre à une découpe de hauteur donnée, soit la hauteur à une découpe de diamètre donnée (CAO et BUKHART,1980) cités par FONWEBAN 1997.

Les résultats des ajustements sont :

$$r_d = 1 - 0.6098 \left(\frac{d^{3.3406}}{D^{3.2758}} \right) - 0.0065 \quad ; R^2 = 96.43$$

$$r_d = 1 - 0.7757 \left(\frac{d}{D} \right)^{3.3341} - 0.0065 \quad ; R^2 = 96.32$$

$$r_h = 1 - 1.4258 \left(\frac{(H-h)^{2.7739}}{H^{2.8869}} \right) + 0.0006 \quad ; R^2 = 98.68$$

$$r_h = 1 - 1.0451 \left(\frac{H-h}{H} \right)^{2.7625} + 0.0009 \quad ; R^2 = 98.59$$

3. Fonction de défilement et profil de la tige

3-1. Fonction de défilement

En effet, si on néglige le terme aléatoire, les équations de rapports, (RDI) et (RHI) ou bien $[r_d(h) \text{ et } r_h(d)]$, doivent être égales pour un niveau donné de l'arbre et on obtient une fonction de défilement à forme fixe : $d(h) = D \cdot \alpha \cdot \left(\frac{H-h}{H} \right)^\gamma$

$$\text{Où : } \alpha = \left(\frac{\beta_{1h}}{\beta_{1d}} \right)^{1/\beta_{2d}} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{\beta_{2h}}{\beta_{2d}}$$

Pour les équations globales on obtient ainsi :

$$dh = 2,989 \cdot D \left(\frac{H-h}{H} \right)^{0.7329}$$

On obtient réciproquement une fonction qui permet d'estimer la hauteur à une découpe donnée.

$$h = H \left[1 - \varphi \left(\frac{d}{D} \right)^\lambda \right]$$

$$\text{où } \varphi = \left(\frac{\beta_{1d}}{\beta_{1h}} \right)^{1/\beta_{2h}} \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{\beta_{2d}}{\beta_{2h}}$$

Donc l'équation globale est :

$$h = H \left[-1.275 \left(\frac{d}{D} \right)^{1.347} \right]$$

3-2. Profil de la tige

3-2-1. Equation testée

Le profil des arbres a été exprimé via le modèle de Riniker (TRAP-JOHANSEN et al ; 1997) cités par (FONTON et al 2002). Elle s'écrit sous la forme :

$$d_i^2 = 4 p (h - h_i)^r$$

Avec

d_i = diamètre de l'arbre à un niveau donné h_i au-dessus du niveau du sol ;

h = hauteur totale de l'arbre ;

r et p = constantes strictement positives (r est l'exposant de forme et p est liée au défilement ou décroissance métrique de l'arbre exprimée en cm/m).

3-2-2. Ajustement :

Afin de faciliter l'estimation des paramètres, le modèle de Riniker a été linéarisé via la transformation logarithmique suivante :

$$\ln (d_i^2) = \ln (4 p) + r \ln (h - h_i),$$

Expression au sein de laquelle r et $\ln (4p)$, qui représente respectivement le coefficient de régression et l'ordonnée à l'origine, ont été estimés par la méthode des moindres carrés. L'ajustement étant réalisé sur l'ensemble des couples (d_i, h_i)

L'équation générale présentée : $d_i^2 = 4 p (h - h_i)^r$ donné lieu au résultat suivant :

$$d_i^2 = 2,29 (h - h_i)^{2,097} \text{ avec } R^2 = 0.77$$

En déduit de cette équation que les arbres de pin d'Alep perdent globalement en moyenne, de la base au sommet, environ 0,52 cm ($p = 2.29/4$) de diamètre par mètre courant avec une valeur de r égale à 2.097 en moyenne.

Conclusion :

Des tarifs de cubage, des équations de rapports de volume et une fonction de défilement ont été construits pour le pin d'Alep à partir de données de cubage de 149 arbres échantillonnés dans la forêt de Kimel. Le système d'équations obtenu permet d'estimer :

- Le volume total des arbres et le volume jusqu'à une découpe quelconque
- Le volume entre deux niveaux de l'arbre

Le diamètre à une hauteur donnée ainsi que la hauteur à un diamètre de découpe donné .il peut aussi être utilisé pour estimer le volume d'un peuplement jusqu'à une découpe quelconque .l'intérêt d'un tel système est sa flexibilité qui est appropriée eu égard aux multiples utilisations de cette espèce en Algérie.

Les systèmes d'équations que nous avons développés permettent de répondre à diverses exigences des utilisateurs de produits du pin d'Alep. Qu'il s'agisse de la demande en termes volumétriques (volumes jusqu'à différentes découpes) ou par assortiments (poteaux de diamètres limites différents). En matière d'aménagement des ressources forestières, ces équations sont indispensables.

Chapitre VI :
Modélisation de la croissance
et de la productivité

Introduction :

En plus de l'estimation du volume du bois disponible dans un peuplement, la modélisation et la prévision de la croissance du peuplement et des arbres est une autre mission de la dendrométrie. Forts de leurs expérience de mesure des arbres les dendrométriciens ont construit leurs modèles, de plus en plus élaborés, à partir des données de mesures d'arbres (ASSMANN, 1970 ; DHOTE, 1999).

Les premiers modèles de croissance, les plus simples, sont les tables de productions, inventées par les Allemands (COTTA, 1821) cité par (PARDI et BOUCHON, 1988) qui résument l'évolution du volume et de la croissance des peuplements types pour une zone géographique et une fertilité données. Ces outils, développés en France depuis 1960 (DECOURT, 1972 ; BARTET et BOULLIET 1976), sont encore utilisés sur terrain par les gestionnaires (DHOTE, 1999).

Progressivement les dendrométriciens ont développé des modèles de plus en plus complexes, destinés à améliorer la qualité et la précision des prédictions, ainsi que la gamme d'utilisation des modèles, il existe de nombreux types de modèles, parmi lesquels on a choisis d'établir un modèle peuplement qui décrit et prédit la dynamique de la croissance et de la productivité basé sur la hauteur dominante à un âge de référence donnée.

L'objectif de ce chapitre est de Définir des classes de fertilité à partir d'un modèle de croissance basé sur la hauteur dominante à un âge de référence donné pour le pin d'Alep dans la pinède de Kimel

1-Principe de base et démarche adoptée

Il existe plusieurs hypothèses à partir desquelles on peut concevoir des modèles de production très simples de définition et d'emploi, notre étude fondée sur la suivante :

La croissance en hauteur dominante, pour une essence donnée dans une région donnée, se décrit par un faisceau de courbes étagées qui ne se recoupent pas. Chaque peuplement suit au cours du temps une courbe du faisceau quelle que soit la sylviculture qu'il subit ; le niveau de cette courbe dans le faisceau est l'indice de fertilité du peuplement ; il est déterminé par la station ABBAS(1986).

Dans cette hypothèse, l'indice de fertilité s'exprime simplement par la hauteur dominante atteinte à un âge de référence fixé.

À partir des hauteurs dominantes et des âges mesurés dans l'ensemble des stations retenues et de retracer au mieux l'évolution de la hauteur dominante au cours du temps des peuplements de

pin ; l'évolution des niveaux de productivité a été établie sur la base des données obtenues à partir de 150 placettes temporaires, au total (1500 arbres dominants.)

Le choix de la hauteur dominante à un âge de référence donné, comme indice de productivité s'appuie sur l'hypothèse qui en est fondée sur l'existence d'une relation entre la production totale en volume depuis l'origine et la hauteur dominante (indépendante de la sylviculture). Cet indice peut être déterminé en utilisant un modèle de croissance qui permet de rapporter le niveau de croissance d'un peuplement à un âge donné au niveau de croissance de référence de même âge (DUQUESNEY, 1998) cité par (OUNNAS, 2000).

2- Equations testées :

Les hauteurs dominantes et les âges mesurés au sein des peuplements ayant fait l'objet d'étude ont été mis en relation, abstraction faite des conditions de station. (THIBOULT et al, 2002). On cherche à ajuster au faisceau de courbes de croissance fournies par les couples (H_d , âge) un modèle mathématique du type : $h_t = f(\text{âge})$.

Avec : h_t = hauteur de l'arbre au temps t .

Age_t = âge de l'arbre au temps t .

Les courbes de croissance en hauteur peuvent être ajustées à l'aide de différents modèles. Parmi ceux-ci nous avons testé :

$$(1) H_{dom} = K_1 [1 - \exp(-k_2 \times \text{âge})]^{k_3}$$

$$(2) H_{dom} = A^2 / (b + b_1 \times A + b_2 \times A^2)$$

$$(3) H_{dom} = M \cdot \exp^{(b_1/A + b_2/A^2)}$$

$$(4) H_{dom} = b + b_1/A + b_2/A^2$$

$$(5) H_{dom} = M \cdot \exp^{(b/(A - b_2))}$$

3- Ajustement des modèles :

La régression simple ou multiple des moindres carrés permet la réalisation de l'ajustement d'une série d'équations sur l'image des points (LETREUCH (1998)).

Dans notre travail les modèles sont ajustés simultanément à l'ensemble des courbes à l'aide d'un logiciel (Statistica 5.1) qui permet la régression non linéaire multiple. Dans les modèles finaux, les paramètres sont remplacés par les valeurs fournies par l'ajustement (CYRILLE et al, 2004). Dans l'équation du modèle choisi, on remplace ensuite h par h_{90} (hauteur de l'arbre à 90 ans pris comme indice de croissance de l'arbre), ce qui permet d'exprimer le paramètre libre (propre à chaque

courbe) du modèle en fonction de l'indice de croissance de la hauteur à l'âge de référence de 90 ans de l'arbre(h_{90}) ; Cet indice étant plus facilement mesurable (CRILLE et al, 2004).

Pour que les courbes aient un point de départ commun, on a imposé leur passage par le point d'abscisse 0 an (THIBAUT et al, 2002) et de l'ordonnée 0 m correspondant à l'origine de l'arbre.

3-1. Critères de choix des modèles :

Le choix du model se fait selon deux étapes, la première consiste à représenter sur un graphique, l'ensemble des couples hauteur dominante-âge provenant des arbres échantillon .A travers le nuage de points on peut avoir une idée sur la tendance de la courbe moyenne.

La seconde étape basée sur le coefficient de détermination (R^2), doit être le plus élevé, traduit la part de la variation de la variable dépendante expliquée par les variables explicatives.

3-2. Choix du modèle :

La régression simple ou multiple des moindres carrés permet la réalisation de l'ajustement d'une série d'équation sur l'image des points (LETREUCH 1998).Le tableau n 13 donne les paramètres de régression des modèles et les critères statistiques correspondants les différentes équations testées :

Tableau n 13: les paramètres de régression des modèles et les critères statistiques correspondants les différentes équations testées

Modèles	Equations	R^2
$H_{dom} = K_1 [1 - \exp^{(-k_2 \times \text{âge})}]^{k_3}$	$H_{dom} = K_1 [1 - \exp^{(-0,0239 \times \text{âge})}]^{2,5751}$	0.50
$H_{dom} = A^2 / (b + b_1 \times A + b_2 \times A^2)$	$H_{dom} = A^2 / (261.06 + 0.966 \times A + 0.053 \times A^2)$	0.48
$H_{dom} = M. \exp^{(b_1/A + b_2/A^2)}$	$H_{dom} = 20.26. \exp^{(-10.52/A - 2447.06/A^2)}$	0.49
$H_{dom} = b + b_1/A + b_2/A^2$	$H_{dom} = 21.89 - 697.99/A - 2447.06/A^2$	0.49
$H_{dom} = M. \exp^{(b/(A - b_2))}$	$H_{dom} = 22.05. \exp^{(-32.82/(A - 24.62))}$	0.49

Parmi tous les modèles de croissance testés, celui de Chapman-Richards lequel a donné lieu à un meilleur ajustement, d'ailleurs confirmé par la valeur d'ajustement (coefficient de détermination R^2 le plus élevé 0.50) et par la dispersion équilibrée des résidus :

$$H_{dom} = K_1 [1 - \exp^{(-0,0239 \times \text{âge})}]^{2,5751}$$

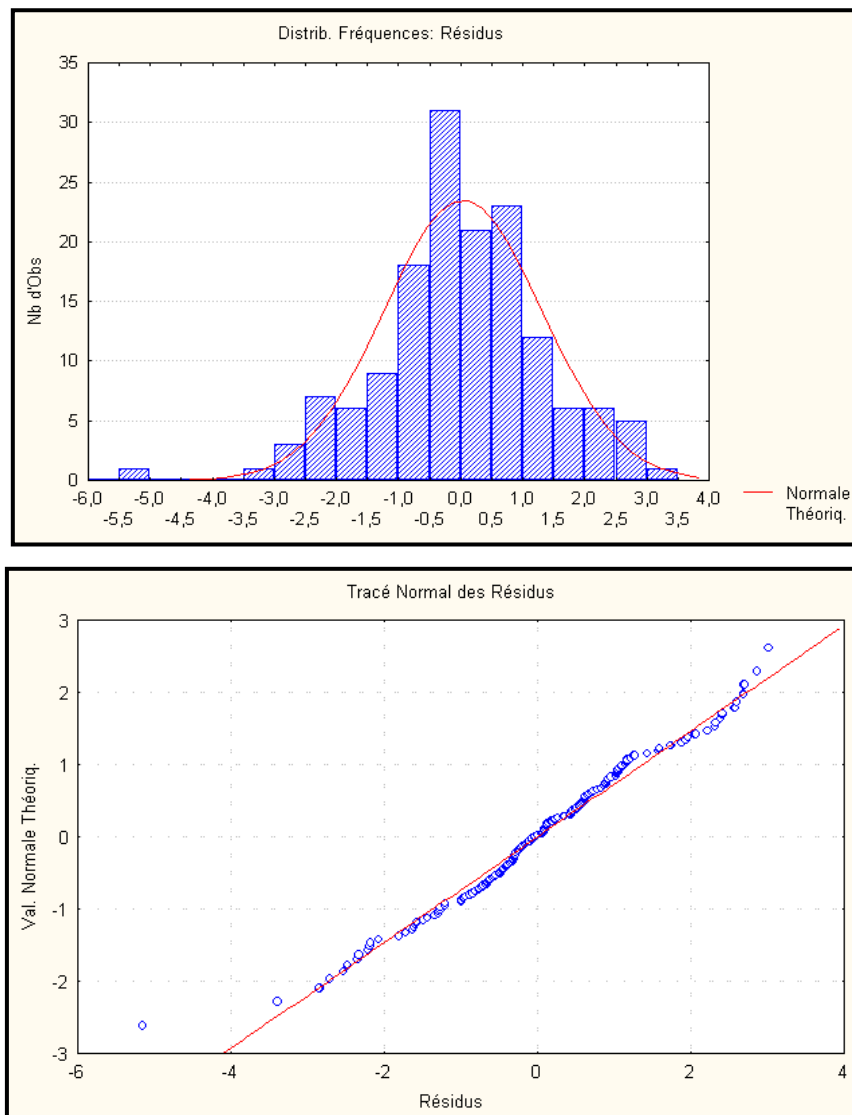
Avec :

K_1 =paramètre libre qui dépend de l'arbre .Il représente la hauteur de l'arbre atteinte à un âge avancé

$\exp$: fonction exponentielle

K_2 et K_3 =coefficients d'ajustement des courbes

La figure n° 21 donne la dispersion des résidus.



. Figure n° 21 : la distribution des résidus de modèle de Chapman Richard

4. Etablissement des courbes de productivité :

A partir des hauteurs et des âges mesurés dans l'ensembles des stations retenues pour l'étude , et la représentation graphique du nuage de points (hauteur dominante, âge) de l'ensembles des données recueillies lors de cet inventaire (figure n 22) , il nous a paru logique de distinguer

plusieurs niveaux de productivité .Nous avons jugé que trois classes suffisaient largement à exprimer la variabilité du potentiel de croissance du la pinède de Kimel. La limite des différentes classes et fixée arbitrairement avec une amplitude de 3m à été choisie.

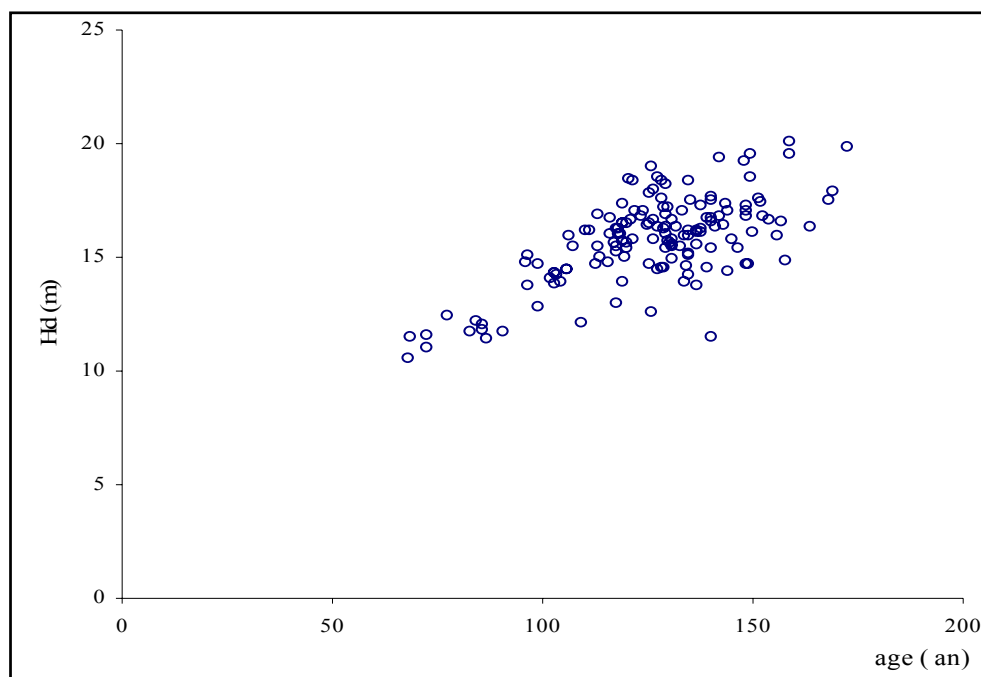


Figure n° 22 : la répartition de la hauteur dominante en fonction de l'âge

La courbe représentée l'échantillon de la hauteur dominante (Hd) en fonction de l'âge. Il s'agit des données issus des placettes temporaires dont les peuplements sont pratiquement âgés qui dépassent largement les 100 ans ; Les peuplements d'âge moyens sont peu représentatifs ; L'amplitude de la hauteur dominante varie de 10 m à 20 m approximatif pour des âges très varies occupant des classes très hétérogènes allant de 52 ans pour une hauteur dominante de 10 m à 160 ans pour des taille dominante de 20 m.

L'allure de la courbe montre que la croissance en hauteur ralentir au delà de 100 ans pour se concentrer autour de 120 ans pour l'ensemble de peuplement échantillonnée.

Dans le modèle de Chapman-Richards les paramètres généraux expriment la forme générale commune de l'ensemble des courbes du faisceau, alors que le paramètre libre K_1 exprime le «niveau » propre de chaque courbe (c'est-à-dire la vitesse de croissance de chaque arbre).

Le tableau n 14: donne les valeurs du paramètre de liberté K_1 de l'équation de Chapman-Richards.

Tableau n 14: les valeurs du paramètre de liberté K_1 de l'équation de Chapman-Richards.

Classe de fertilité	H90 (m)	K1
1	10m	13,73
2	13m	17,85
3	16m	21,97

A partir du couple (H_d , âge), on détermine le classe de croissance en remplaçant H_d par S_i et âge par A_0 , qui correspondent au site index et l'âge de référence dans le modèle qu'on a choisi.

$$H_{dom} = K_1 [1 - \exp^{(-0,0239 \times \text{âge})}]^{2,5751} \dots\dots (1)$$

$$A_0 = 90 \text{ ans} \quad S_i = K_1 [1 - \exp^{(-0,0239 \times 90)}]^{2,5751} \dots\dots\dots (2)$$

Si on divise membre à membre les équations (1) – (2) l'expression devient ;

$$S_i = H_{dom} \frac{[1 - \exp^{(-0,0239 \times 90)}]^{2,5751}}{[1 - \exp^{(-0,0239 \times \text{âge})}]^{2,5751}} \dots\dots\dots (3)$$

Donc pour représenter les courbes de l'évolution de la hauteur en fonction de l'âge et de site index, il suffit de remplacer ce dernier par sa valeur dans l'équation (3). Les différentes équations de l'évolution de la hauteur sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau n° 15 : Equations des différentes courbes de l'évolution de la hauteur dominante en fonction de l'âge et de site index :

$S_i = 16$	$S_i = 16 \frac{[1 - \exp^{(-0,0239 \times 90)}]^{2,5751}}{[1 - \exp^{(-0,0239 \times \text{âge})}]^{2,5751}}$
$S_i = 13$	$S_i = 13 \frac{[1 - \exp^{(-0,0239 \times 90)}]^{2,5751}}{[1 - \exp^{(-0,0239 \times \text{âge})}]^{2,5751}}$
$S_i = 10$	$S_i = 10 \frac{[1 - \exp^{(-0,0239 \times 90)}]^{2,5751}}{[1 - \exp^{(-0,0239 \times \text{âge})}]^{2,5751}}$

Les classes de croissances sont matérialisées par un faisceau de courbes qui reflète les différents niveaux de productivité (tableau 15 et fig23).

Tableau n16 : valeurs de la hauteur dominante en fonction de l'âge pour les 3 indices de fertilité

âge (ans)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
h_{dom1}	1,14	2,46	3,95	5,44	6,82	8,06	9,11	10	11	11	12	12,21	13	13	13	13	13
h_{dom2}	1,48	3,19	5,13	7,07	8,87	10,5	11,8	13	14	15	15	15,87	16	17	17	17	17
h_{dom3}	1,83	3,93	6,32	8,71	10,92	12,9	14,6	16	17	18	19	19,54	20	20	21	21	21

Selon le tableau ci-dessus on constate que l'évolution de la hauteur dominante en fonction de l'âge passe par trois étapes :

Une croissance plus rapide de la hauteur dominante dans les premières années ; étape correspond un peuplement jeune en pleine croissance, puis cette croissance ralentie à l'âge adulte et devient presque nulle dans les trois classes de croissances pendant le vieillissement qui correspondre à l'âge de 150ans pour les trois classes de croissance.

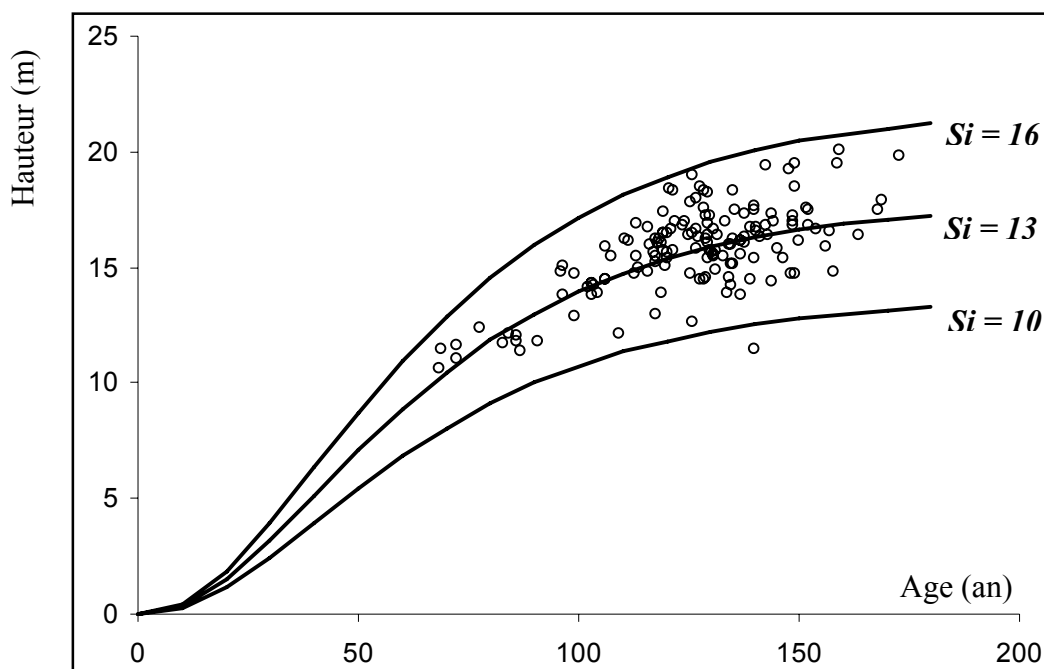


Figure n° 23 : courbes de croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge pour le pin d'Alep de la pinède de Kimel.

Le niveau de chaque courbe dans le faisceau est le « site index » ou indice de station des peuplements, nous obtenons alors les valeurs suivantes :

- 10m pour la classe III

- 13m pour la classe II
- 16m pour la classe I

Si on analyse l'ensemble des courbes ; il s'avère que la fertilité moyenne des peuplements se situe autour de la classe 2 ($S_i = 13m$). Les stations ayant fait l'objet de cette étude répartissent comme suit selon les classes de fertilité ; 11.33 % en classe 1, 82.66% en classe 2 et 6% en classe 3. Le tableau n° 16 donne les classes de croissance et leurs caractéristiques :

Tableau n° 17: les caractéristiques des trois classes de croissances

Classe de croissance	Nombre de placettes	Pourcentage de placettes	S_i 90 moyen	observations
Classe I	17	11.33	15.3	Fertile
Classe II	124	82.66	13.10	Fertilité moyenne
Classe III	9	6	10.90	Fertilité médiocre

Pour donner une signification à ce découpage effectué essentiellement à partir de l'indice de station (hauteur dominante à 90 ans), nous avons utilisé le test de l'analyse de la variance pour la comparaison des variables dendrométriques prises en compte dans les classes (tableau n° 18).

L'objectif de ce test est de vérifier l'hypothèse d'égalité des valeurs moyennes prises par chacune des variables dans les différentes classes de fertilité (DAGNELIE, 1970).

L'analyse de la variance utilisée pour comparer les moyennes et estimer par conséquent la relation entre le SI avec les différentes variables dendrométriques.

Le tableau ci-dessous montre la décomposition de la variance et le F observée.

Tableau n° 18: Comparaison de la valeur moyenne du (SI) des 3 classes de croissance

Source de variation	ddl	Sce	Cm	Fobs	Fthé
<i>Variation expliquée par la régression</i>	2	106.80	53.40	123.96*	3,15
<i>Variation résiduelle</i>	57	24,56	0,43		
	59	131,36			

La comparaison de la valeur F observé avec la valeur F théorique (F , 0. 5%=3.15), conduit que les valeurs moyennes attribuées au site index caractérisent bien les différentes classes de croissances définies au préalable. Ce critère très hautement significatif reflète bien la qualité d'estimation de la productivité (BENTOUATI ; 1993).

Le tableau suivant donne la décomposition de la variance et le F observé

Tableau n19 : Résultats du test F relatif à l'analyse de la variance appliquée aux variables dendrométriques.

Variable	F observé	F théorique
<i>SI(m)</i>	123.96	Significatif au seuil de 0. 5%=3.15
<i>Dg (cm)</i>	15.99	//
<i>G/ha (m²/ha)</i>	11.20	//
<i>Amv (m³/ha/an)</i>	12.35	//
<i>Acv (m³/ha/an)</i>	4.98	//
<i>Hdom (m)</i>	44.91	//
<i>Hg (m)</i>	13.17	//
<i>Vg (m3)</i>	16.05	//
<i>V/ha (m³/ha)</i>	12.83	//
<i>Age dom (ans)</i>	1.16	Non significatif au seuil de 0. 5%=3.15
<i>Age g (ans)</i>	0.23	//
<i>N/ha</i>	0.09	//

Selon le tableau ci-dessous nous pouvant constater que tous les paramètres sont significatifs d'une classe a une autre (sauf l'âge dominant, âge de la surface terrière et la densité) qui sont non significatifs.

Tableau n20: Matrice de corrélation

	<i>AGE</i>	<i>H</i>	<i>H90</i>	<i>HG</i>	<i>DG</i>	<i>N_HA</i>	<i>GH</i>	<i>VHA</i>	<i>AMV</i>	<i>ACV</i>
<i>AGE</i>	1									
<i>H</i>	0,68	1								
<i>H90</i>	-0,00	0,70	1							
<i>HG</i>	0,56	0,78	0,52	1						
<i>DG</i>	0,46	0,58	0,37	0,61	1					
<i>N_HA</i>	0,00	-0,05	-0,07	-0,29	-0,35	1				
<i>GH</i>	0,42	0,52	0,33	0,39	0,74	0,35	1			
<i>VHA</i>	0,46	0,57	0,36	0,44	0,77	0,28	0,98	1		
<i>AMV</i>	-0,05	0,21	0,36	0,16	0,48	0,39	0,79	0,80	1	
<i>ACV</i>	-0,24	0,00	0,23	-0,03	0,27	0,40	0,57	0,52	0,71	1

Selon le tableau n° 20 on observe que le *SI* possède une relation positive avec tous les autres paramètres sauf avec l'âge et la densité, chose qui nous permet de dire que la liaison entre la production totale et la hauteur du peuplement est indépendante de la densité du peuplement.

5-Modélisation de la production totale

L'utilisation de la hauteur dominante à un âge de référence comme indice de fertilité par du principe qu'il est possible d'apprécier valablement la production totale d'un peuplement à partir de sa hauteur (DECOURT, 1964, RONDEUX, 1977).

Pour pouvoir chiffrer la production d'une station à partir de sa hauteur dominante; on doit faire appel à une relation exprimant le volume total produit par le peuplement depuis son installation en fonction de sa hauteur dominante, autrement dit, utiliser la loi d'EICHHORN (1904), qui est valable pour une essence donnée, croissant en futaie sensiblement équienne et dans le cadre d'une région climatiquement homogène par ailleurs elle implique que la liaison entre la production totale et la hauteur du peuplement est indépendante de l'âge de la station et de la densité du peuplement (DECOURT, 1973; RONDEUX, 1977).

Dans le même contexte, et dans le but d'établir la meilleure relation qui exprime la production totale en fonction de la hauteur dominante; nous avons adopté le modèle suivant : $Pt = a \times Hd^b$

L'ajustement du modèle précédent sur l'ensemble des données issues des placettes temporaire a aboutit à l'équation : $Pt = 1.613 \times Hd^{1.598}$

Où : *Pt* = production totale (m³/ha) , *Hd* = hauteur dominante (m) , *a* et *b* coefficients de régression

En se référant aux critères de précision des modèles on s'aperçoit que le modèle le plus adéquat est:

Tableau n 21: Evaluation de la production totale par la relation $Pt = a \times Hd^b$

les classes	hauteur dominant à 90 ans	Production à 90ans	
		<i>Pt</i> (m ³ /ha)	<i>Amv</i> (m ³ /ha/ans)
Classe 1	16	135,63	1,507
Classe 2	13	97,32	1,081
Classe 3	10	63,99	0,711

Tableau n ° 22: Productions et accroissements à l'âge de 90 ans et 126 ans.

	âge (ans)	<i>Pt</i> (m ³ /ha)	<i>Amv</i> (m ³ /ha/ans)
Classes de croissance	90	100,33	1,114
pinède	126	132,09	1,048

Le tableau n 22 montre que l'accroissement moyen en volume à l'âge de référence qui correspond 90 ans supérieure à celle-ci de l'âge moyen de peuplement 126 ans. La seule explication quand peu donne ce que l'accroissement moyenne en volume diminuer après l'âge 90 ans qui correspond l'âge idéal de l'exploitabilité de notre pinède.

Et le même tableau montre que le volume moyen estimé à partir de la hauteur dominante pour l'âge de référence 90 ans ($100,33\text{m}^3/\text{ha}$) s'écart de celui qui estimé pour l'ensemble de la pinède ($132,09\text{m}^3/\text{ha/an}$) pour un âge moyen de 126ans.

6- Etudes des moyennes

6-1. La première classe

Représente 11.33 % du nombre total de placettes d'échantillonnage avec les meilleures placettes de productivité et les meilleures stations composées de peuplements bien venants, constitués d'arbres élancés et présentant un site index supérieur à 14,64m, qui évoluent dans une tranche altitudinale qui varie de 1179 à 1413 m. C'est une station à exposition (Nord-Est, Sud-Ouest, Sud-Est, Sud-Ouest, Est, Sud-Sud-Ouest), sur une pente qui varie de 3 à 22 %.

L'âge dominant moyen de cette classe, est plus proche de l'âge de l'exploitation et égal 135 ans avec une densité faible (227 tiges / ha) et une production en volume de $168,51\text{ m}^3/\text{ha}$. L'accroissement moyen en volume si de $1,53\text{ m}^3/\text{ha/an}$ et un accroissement courant en volume égale à $2,52\text{ m}^3/\text{ha/an}$ diamètre de surface terrière moyenne de 38.71 m.

Tableau n23: Caractéristiques dendrométriques de la première classe de fertilité

	N Actifs	Moyenne	Minimum	Maximum	Ec-Type
Age	17	135	113	173	16,69
H	17	18,63	16,85	20,05	0,88
H90	17	15,13	14,64	15,76	0,31
Hg	17	16,37	13	19	1,59
Dg	17	38,71	29,94	43,98	3,85
N/ha	17	227	160	320	49,47
G	17	26,59	18,77	37,30	4,59
V/ha	17	168,51	112,06	245,81	32,83
Amv	17	1,53	1,12	2,70	0,39
Acv	17	2,52	1,53	3,51	0,70

6-2- La deuxième classe

Représente 82.66 % du nombre total des placettes échantillonnées avec une productivité moyenne 136,44m³/ha et site index 13.17 m. Elle englobe les stations situées sur une altitude qui varie entre 1163 et 1435m a exposition (Nord, Nord Ouest, Nord-Est, Ouest, Sud, Est, Sud -Ouest, Sud -Est), présentant 2 à 22 %.

Age dominant moyen de cette classe est de 124 ans avec un accroissement moyen en volume de 1.30 m³/ha/an , un accroissement courant en volume de 2.32 m³/ha/an , une densité moyenne 223 tiges/ha et un diamètre de surface terrière moyenne de 35,64cm.

Tableau n° 24 : Caractéristiques dendrométriques de la deuxième classe de fertilité.

	N Actifs	Moyenne	Minimum	Maximum	Ec-Type
<i>Age</i>	124	124	68	169	20,85
<i>H</i>	124	15,53	10,58	18,50	1,59
<i>H90</i>	124	13,17	11,52	14,49	0,73
<i>Hg</i>	124	14,65	9,5	19	1,89
<i>Dg</i>	124	35,64	21,00	54,78	5,31
<i>N/ha</i>	124	223	140	420	49,44
<i>G</i>	124	22,19	7,27	39,21	6,27
<i>V/ha</i>	124	136,44	48,90	242,06	40,32
<i>Amv</i>	124	1,30	0,67	2,96	0,39
<i>Acv</i>	124	2,32	1,09	4,63	0,82

6-3- La troisième Classe

Représente 6 % de nombre total des placettes échantillonnées avec une mauvaise productivité et des mauvaises stations.

C'est une station à exposition (Sud, Est, Sud-Est, Sud-Ouest, Nord-Nord-Ouest) à une pente qui varie de 3 à 12 % à une tranche altitudinale qui varie de 1187 à 1385m avec une production moyenne en volume de 94.72 m³/ha d'un accroissement moyen en volume moyen 0.89 m³/ha /an et un accroissement courant en volume de 1.67 m³/ha /an et cite index 10.90m.La densité est plus élevée 237 tiges/ ha avec un diamètre de la surface terrière le plus faible 29.38cm.

Tableau n° 25 : Caractéristiques dendrométriques de la troisième classe de fertilité

	N Actifs	Moyenne	Minimum	Maximum	Ec-Type
<i>Age</i>	9	133	109	158	14,38
<i>H</i>	9	13,36	11,45	14,83	1,13
<i>H90</i>	9	10,90	9,14	11,50	0,74
<i>Hg</i>	9	12,58	10	15,5	1,56
<i>Dg</i>	9	29,38	27,07	33,50	2,17
<i>N/ha</i>	9	237	170	360	62,25
<i>G</i>	9	16,13	10,24	25,33	4,91
<i>V/ha</i>	9	94,72	60,21	144,12	29,48
<i>Amv</i>	9	0,89	0,60	1,35	0,26
<i>Acv</i>	9	1,67	0,92	3,60	0,86

Conclusion

Les résultats obtenus par les mesures de couples âge-hauteur dominante des placettes temporaires donnent une bonne précision du régime de la croissance en hauteur. Pour les trois classes de fertilités confondues, la croissance en hauteur du pin d'Alep de Kimel reste faible. Au – delà de l'âge de référence choisi de 90 ans cette croissance se réduit significativement.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous pensons avoir contribué à la quantification de la croissance et la productivité du pin d'Alep dans la forêt domaniale de Kimel qui fait partie du massif de Beni – Imloul.

Dans cette zone, le pin d'Alep semble bien adapté aux conditions écologiques difficiles qui prévalent au massif des Beni-Imloul ; se retrouve depuis le fond des vallées jusqu'aux plus hauts sommets. Comme strate basse, le chêne vert contribué également à l'enrichissement de l'écosystème dans les stations les plus fraîches contrairement au genévrier oxycèdre et le genévrier de Phénicie qui caractérisent les stations les plus sèches et les plus dégradées.

L'étude climatique montre que la forêt domaniale de Kimel se classe à l'étage bioclimatique semi-aride. En effet, ladite zone est sujette à un climat continental montagnard qui puise son originalité à partir de deux facteurs prédominant ; l'un en relation avec l'altitude responsable des variations de températures et l'autre en relation avec l'exposition qui peut influencer le régime des précipitations. Cette zone se caractérise donc par une longue saison estivale sèche et chaude et aussi par des années moins arrosées de plus en plus nombreuses. Quant aux températures, il ya lieu de souligner que les valeurs moyennes de l'amplitude extrême déduites et qui s'étalent entre 9°C et 16.9°C montrent, bel et bien, que le pin d'Alep dans notre zone peut se maintenir en vie d'autant plus que dans sa limite biologique il peut supporter des basses températures allant même jusqu'à (-15°C).

Dans le but d'estimer la production sur pied, des tarifs de cubage sont construits à partir de 149 arbres échantillons, des volumes individuels ont été calculés par la formule de tronc de cône. Ces mêmes volumes ont servi à l'élaboration d'équations de cubage dont l'utilisation dépend de l'objectif souhaité.

Il ressort de cette étude que les critères de précision pris en compte dans le choix de l'équation du tarif sont particulièrement liés à la distribution des résidus. Les ajustements réalisés par la méthode classique des moindres carrés non pondérés conduisent dans l'ensemble à des résultats aussi bons que ceux obtenus à partir des régressions pondérées qui ne donnent pas des améliorations suffisantes de la précision du volume et ce, pour la simple raison que l'échantillon, prélevé pour le cubage des arbres, présente des amplitudes très faibles au niveau du diamètre et que l'équation retenue donne une estimation non biaisée du volume. Quant au cubage des peuplements, le calcul rapide des volumes à l'hectare, basé sur des paramètres simples et facilement mesurables sur les placettes s'avère utile lorsqu'on souhaite avoir une estimation approchée et globale de la production forestière.

L'étude de profil de la tige montre aussi que les arbres perdent globalement en moyenne, de la base au sommet, environ 0,52 cm de diamètre pour chaque mètre. Les tarifs de cubage traditionnels

permettent généralement de prédire le volume total ainsi que le volume marchand d'une tige en fonction de diamètre à 1.30m et la hauteur d'une tige. En plus de ces paramètres, les modèles mis au point dans cette étude permettent de prédire le volume entre deux diamètres ou même entre deux hauteurs quelconques sur la tige. Il est également possible de prédire le diamètre pour une longueur fixée de billon ou encore de prédire la longueur de billon pour un diamètre fixé ; Il s'agit donc d'un tarif de cubage plus flexible montrant diverses possibilités d'utilisation.

Pour estimer la productivité dans cette pinède, l'ajustement du modèle de Chapman Richard au faisceau expérimental a montré de bonnes performances. Il a donc été adopté pour la modélisation de la croissance de la hauteur ce qui a abouti à l'étagement de la pinède en trois (03) classes de productivité à l'âge de référence de 90 ans.

Aussi, l'ajustement de la relation hauteur dominante - production totale ou loi d'EICHHORN élargie montre que la production totale à 90 ans pour les trois (03) classes de fertilité est de l'ordre de 135,63 m³/ha pour la première, de 97,32 m³/ha pour la deuxième et de 63.99 m³/ha pour la troisième classe. Et les accroissements moyens respectifs sont de 1,507 m³/ha/ans, 1,081 m³/ha/ans et de 0,711 m³/ha/ans. Ainsi, la production totale des trois classes de fertilités est de 100,33 m³/ha à l'âge de 90 ans avec un accroissement moyen en volume égal à 1,114 m³/ha/an ; ce qui correspond à une production totale de 132,09 m³/ha à l'âge de 126 ans pour la pinède avec un accroissement moyen en volume égal à 1,048 m³/ha/ans.

En résumé, les résultats obtenus peuvent servir comme appui ou initiative pour de futures investigations plus poussées sur la productivité du pin d'Alep dans cette zone en appliquant une démarche écologique plus poussée afin de donner un diagnostic de conservation et de protection de cette zone.

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **ABBAS H. (1986)** : *la productivité des forêts de pin d'Alep dans le sud –est méditerranéen français. Analyse écodendrométriques. Option Méditerranéennes. Série Etude CIHEM 86/1 .p.127-156*
- [2]. **ACHERAR M. (1981)** : *la colonisation des friches par le pin d'Alep (Pinus halepensis. Mill) dans les basses garrigues du Montpellier. Thèse de doctorat, US TL Montpellier, 210 p.*
- [3]. **ACHERAR M., LEPART J. & DEBUSSCHE M. (1984)** : *La colonisation des friches par le pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) en Languedoc méditerranéen. Oecologia Plantarum 5 (19) : 179-189.*
- [4]. **ALDER D. (1980)**: *Estimation des volumes et accroissements des peuplements forestiers. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome, Vol 22/2, 226 p.*
- [5]. **AMMARI T.(1990)** : *contribution à l'étude des accroissements du pin d'Alep (pinus halepensis Mill) par la méthode de (arbre modèle) dans la forets domaniale Sdama Gharbi versant nord (contant) Ain-El Khalfa). Willaya de Tiaret. Thes . Ing. Ins.Ago , Batna .p .23-62*
- [6]. **AMMARI Y, SGHAIER T, KHALDI A et GARCHI S (2001)** : *Productivité du pin d'Alep en Tunisie: Table de Production. Annales de L'INGREF N_ Spécial pp 239-246*
- [7]. **ANTONI T , MARGARIDA T , JARI M.(2004)** : *growth and yield model for Pinus halepensis Mill .in Catalonia , north-east Spain. Forest Ecology and Management 203.p.49-62.*
- [8]. **ASSMANN E. (1970)**: *The principals of yield study. Oxford, Pergamon Press, 506 p.*
- [9]. **BARTET J.H. et BOLLIET R. (1976)** : *Méthode utilisée pour la construction de tables de production à sylviculture variable. Section technique. Document n° 76-9, 87p*
- [10]. **BELGHAZI B. EZZAHIRI M et ROMANE F. (2000)** : *Productivité de peuplements naturels de pin d'Alep (Pinus halepensis Mill) dans la futé de Tamga (Haüt Atlas, Maiûc).Cahieis Agiieültüies, 9 (1),39-46.*
- [11]. **BENTOUATI A. (1993)** : *première approche à l'étude de croissance et la productivité du cèdre de l'Atlas dans le massif du Belezma . mémoire magistère, université de Batna p .63*
- [12]. **BENTOUATI A. (2006)** : *croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (Pinus halepensis Mill) du massif de de Ouled Yagoub (Khenchla – Aurès) .thèse doctorat inst d'agronomie univ Batna .p. 1-115.*

- [13]. **BNEF (1982)**: *Plan d'aménagement de la zone des Ouled Yakoub et des Béni-Oudjana (40.000 ha). Ministère de l'Hydraulique de l'Environnement et des Forêts. RADP. 62 pages + annexes*

- [14]. **BOUCHON J. (1974)** : *Les tarifs de cubage, CEMEGREF, 57 pages + annexes*

- [15]. **BOUCHON J. (1982)** : *Tarifs de cubage à deux entrées pour le Hêtre (Fagus sylvatica) en France. Rev. For. Fr, Vol. XXXIV. 3,225- 236.*

- [16]. **BOUCHON J. (1984)** : *Les tarifs de cubage. E.N.G.RE.F. Nancy, 135p*

- [17]. **BURKHART HE. (1977)** : *cubic – foot volume of loblolly pine to any merchantable top limit. South j Appl for , 4, 166-163.*

- [18]. **CALAMASSI R, FALUSI M. & Taccl A. (1984)** : *Effet de la température et de la stratification sur la Régénération des semences de Pinus halepensis Mill. Silvae genetica 33 (4-5): 133-139.*

- [19]. **CHAKROUN M.L. (1986)** : *le pin d'Alep en Tunisie .options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1 , 25-27*

- [20]. **COUHERT B. et DUPLAT P. (1993)** : *Le pin d'Alep. Rencontres forestiers-chercheurs en forêt méditerranéenne. la Grande-iviotte (34), 6-7 octobre 1993. Ed. INRA, Paris 1993. (les colloques n° 63),125-147.*

- [21]. **COURBET F. (1991)** : *Tarif de cubage à deux entrées pour le Cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) en France. Rev. For. Fr., XLIII (3),215-227.*

- [22]. **CYRILLE R (2002)** : *impact des changements climatiques et de l'augmentation des taux de CO₂ atmosphérique sur la productivité des écosystèmes forestiers : exemple du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill) en Provence calcaire (France) . thèse doctorat université de droit, d'économie et des sciences d'Aix – Marseille .p. 76-102.*

- [23]. **CYRILLE R, LAURENCE B , RIPERT CH , VENNETION M . (2004)** : *modélisation de la croissance en hauteur du pin d'alep (Pinus halepensis Mill) en région méditerranéenne française , Ecologia mediterranea 30 , fascicule 2 .p. 205-218.*

- [24]. **DAGNELIE P. (1956)** : *Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les Types phytosociologiques et les facteurs écologiques. Bu li. inst. Agro. et Stat. Rech. Gembloux, 24,249-284 et 369-410*

- [25]. **DAGNELIE P. (1957)** : *Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologique et les facteurs écologiques. Bull. Inst. Agro. et Sta. Rech.*

- Gembloux, Tome XXV, n01-2, 45-91.
- [26]. **DAGNELIE P. (1970)** : *théorie et méthode statistique, applications argonomiques (2 volumes). les presses agronomiques de Gembloux, p 451*
- [27]. **DAOUI A, DOUET J, MARCHEL R, ZERIZER A. (2007)** : *valorisation du bois de pin d'Alep pour déroulage : optimisation de son étuvage ; bois et forêts des tropiques. n° 294 (4) .p. 53.*
- [28]. **DECOURT N. (1964)** : *Les tables de production: leurs limites et leur utilité. Rev. For. Fr. n° 16, 640- 657.*
- [29]. **DECOURT N. (1964)** : *Remarques sur les relations entre les circonférences à hauteur d'hommes et les circonférences à hauteur de souches dans les peuplements forestiers. Rev. For. Fr., n°, 216-224.*
- [30]. **DECOURT N. (1966)** : *instruction pour assiette et les mensurations des placettes temporaires et semis – permanente C.N.R.F, station de sylviculture et production. p8.*
- [31]. **DECOURT N. (1967)** : *Le douglas dans le Nord-Est du massif central. Tables de production provisoires. Ann. Sei. For. 24,54-84.*
- [32]. **DECOURT N. (1972 a)** : *Méthode utilisée pour la construction rapide des tables de production provisoires en France -. Ann. Sci. Forest., 29 (1), 35-48.*
- [33]. **DECOURT N. (1972 b)** : *Tables de production provisoire pour l'Epicéa commun dans le Nord Est de la France. Ann. Sei. Forest., 29 (1), 49-65.*
- [34]. **DECOURT N. (1973)** : *Production primaire, production utile: méthodes d'évaluation, indices de productivité. Ann. Sei. For. 30,219-238.*
- [35]. **DECOURT N. (1973)** : *Protocole d'installation et de mesures des placettes de production semi- permanentes. Ann. Sei. Forest., 29 (ij, 49-65.*
- [36]. **DHOTE J.F. (1999)** : *modélisation de la dynamique des peuplements de grands feuillus sociaux. applications à la sylviculture du Hêtre et du chêne, Mémoire d'Habilitation à diriger les recherches, Université Nancy-I, Nancy.p.116*
- [37]. **DRAPER N.R et SMITH H (1996)**: *applied reression analysis .New York. Wiley .p.409.*
- [38]. **DUPLAT P. (1986)** : *Modèles de croissance en hauteur dominante pour le hêtre (Fagus sy/vatica L.), le sapin pectiné (Abies alba Miller), le pin sylvestre (Pinus sy/vestris L.) dans le massif de l'Aigoual. a.N.F. Section Technique, doc Doc.86.1,34 p + annexes.*
- [39]. **ECHHORN : (1904)** : *une estimation de la productivité forestière ; principes et méthodes*

Annales de Gembloux. vol (83). pp 5 -77.

- [40]. **EL AOUNI M. (1980)** : *Processus déterminant la production du pm d'Alep (Pinus halepensis Mill.) : Photosynthèse, croissance et répartition des assimilâtes. Thèse d'état, Université de Montpellier, France, 164p.*
- [41]. **EMBERGER L. (1952)** : *Sur le quotient pluviométrique. C.R.A.S, 2508- 2511.*
- [42]. **FONTON N.H, KAKAI R.G, RONDEUX J. (2002)** : *étude dendrométrique d'Acacia Auriculiformis A. Cunn esc Benth . en mélange sur vertisol au Bénin. Biotechnol . Agron .Soc . Environ. 6(1) p. 29-37.*
- [43]. **FONWEBAN J.N et HOUILIER F. (1995)** : *Modèle de croissance en hauteur à partir de placettes temporaires pour Eucalyptus saligna au Cameroun. Ann. Sei. Forest, 52, 513-528.*
- [44]. **FONWEBAN J.N et HOUILIER F. (1997)** : *Tarifs de cubage et fonctions de défilement pour Eucalyptus saligna au Cameroun. Ann. Sei. Forest, 54, 513-528.*
- [45]. **FRANCELET A. (1970).** *Stimulation de l'ouverture des cônes de pins. Institut National de Recherches Forestières Tunisien, Note technique 13 : 2-3.*
- [46]. **GOREAUD F , DE COLINGY .F , COURBAUD B , DHOTE . J F 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, vol 6 N 2 : p1-3.*
- [47]. **GAUDIN.S. (1996)** : *Dendrométrie des peuplements .chateaufarine formation BTSA. gestion forestière module D42*
- [48]. **GUY .P ET FRANCE S , GILLES D (2001)** : *tarif de cubage à diamètre et longueur variables d'utilisation pour le pin Gris en plantation au Québec ; mémoire de recherche forestière N : 139 , direction de recherche forestière . Forêt Québec p 9-14.*
- [49]. **HAMILTON ET CHRISTIE J. (1971)** : *forêt et aménagement table (metric forestry commission booklet) n° 34 , p 190 -210.*
- [50]. **JAYARAMAN K, (1999)** : *manuel de statistique pour la recherche forestière . Kerala forest research institute peechie, thrissur , Kerala (Inde) .pp. 613.*
- [51]. **KADIK B. (1983)** : *atlas d'anatomie des bois des conifères. centre technique du bois. vol 2 .p. 241.*
- [52]. **KADIK B. (1987)** : *Contribution à l'étude du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill) en Algérie: Ecologie, Dendrométrie, Morphologie. Office des publications universitaires(Alger). 585 p.*

- [53]. **KHERCHOUCHE. (2003)** : Typologie écologique et phytosociologique des stations et croissance des peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) Dans le massif des Beni-Imloul (Aurès). Algérie. 87 pages + annexes
- [54]. **LEDANT J.P.(1975)** : *Essences forestières algériennes (indigènes et exotiques), notes pour le cours dendrologie, 4^{ème} année forêt .Inst .Nat.Agr .Alger .p.133.*
- [55]. **LEGOFF N. (1982)** : *Productivité du Frêne en région Nord-Picardie: Courbes de croissance. Ann. Sei. Forest., 26 (4), 445-473.*
- [56]. **LETRRUCH B. (1998)** : *dendrométrie, méthodes d'estimation de la productivité stationnelle , Opu , p .7.*
- [57]. **LOISEL R. (1976)** : *Place et rôle des espèces du genre Pinus dans la végétation du sud-est méditerranéen Français. Ecologia Mediterranea 2 : 131-152.*
- [58]. **MEDDOUR H. (1983)** : *Contribution à l'étude de la croissance du Pinus halepensis Mill. En relation avec les groupements végétaux dans la forêt de Baïnem. Mém. Ing. Inst. Nat. Agro. Alger, 63 p.*
- [59]. **M'HIRIT O. (1982)** : *Etude écologique et forestière des cédraies du rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle, de la phytoécologie et de la production du Cèdre. (Cedrus atlantica Manetti.). Th. Doc. Univ. D'Aix. Marseille, 436 p.*
- [60]. **MONTERO G , CMELLAS I .et RUIS D .(2001)** : *growth and yield model for Pinus halepensis Mill . Invest .Agr. Sist. Recur. For; 10 .p.24.*
- [61]. **Nahal .B (1962)**: *Le pin d'Alep. (Pinus halepensis Mill.). Etude taxonomique, phytoécologique, écologique et sylvicole. E.N. G.R.E.F. Nancy. Tome 19.4, 208 p.*
- [62]. **Nahal .B (1986)**: *Taxonomie et aire géographique des pins du groupe halepensis. Options Méditerranéennes .Série Etude CIHEAM 86 p.1-9.*
- [63]. **NICAULT A., RATHGEBER c. TESSIER 1. & THOMAS A. (2001)**: *Croissance radiale et densité du bois du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) en relation avec les facteurs climatiques. Analyse in situ de la mise en place du cerne. Annals of Forest Sciences 58: 769-784.*
- [64]. **ORAZIO C. (1986)** : *Sylviculture du pin d'Alep. Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1,47-54.*
- [65]. **OUNNAS A . (2000)** : *quantification de la croissance de Pinus Pinea L. dans le sous secteur*

littoral algérois. cas des stations de Bainem , Bouchaoui et Zeralda . these magister institue national Agronomique Elharache p .10-12-17.

- [66]. **Palm R., Pondeux J. (1976).** A propos de deux problèmes rencontrés dans la construction de tarifs de cubage: le choix des équations de régression et l'échantillonnage des arbres. *Bull. Rech. Agro. Gembloux*.11, 243-258.
- [67]. **PALM R. (1977) :** *dendrométrie cours polycopies Ina, Alger .p. 112*
- [68]. **PALM R. (1982) _** Influence de la formule de cubage et de la longueur du billon sur la détermination du volume des arbres abattus. *Ann. Sci. Forest.*, 39 (3), 231-238.
- [69]. **PARDE J. (1957) :** La productivité des forêts de pin d'Alep en France. *Ann. E.N.E.F de la Stat. Rech. Expér.* 15 (2), 367-414.
- [70]. **PARDE J et BOUCHON J. (1988) :** *Dendrométrie. 2ème édition Ecole national du génie rural des eaux et forêts.*328 p.
- [71]. **PAUWELS D et RONDEUX J. (2002) :** *Tarifs de cubage pour les petits bois de mélèze (Larix sp) en Ardenne belge. Les cahiers forestiers de Gembloux n023, 11 p.*
- [72]. **QUEZEL P. (1980) :** *Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Actualité s d'écologie forestière. Edition Gautier-Villars. Paris, 205-255*
- [73]. **QUEZEL P.(1986):** Les pins du groupe «ha/epensis»: Ecologie, Végétation, Ecophysiologie. *Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1, 11-24.*
- [74]. **QUEZEL P ; BARBERO M , et BENNABID A . (1987) :** contribution à l'étude des groupements forestiers du Haut Atlas oriental (Maroc) . *Ecologia méditirraneia XIII (112) .p. 107-117.*
- [75]. **QUEZEL P et BARBERO M. (1992):** Le Pin d'Alep et les essences voisines: Répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France Méditerranéenne. *Forêt Méditerranéenne, XIII(3), 158-170*
- [76]. **RONDEUX J. (1977) :** Construction et utilisation des tarifs de cubage « peuplements» pour l'Epicéa en Ardenne Méridionale. *Note technique - Aménagement et production. Fac. Sci. Agron. Gembloux Belgique, 14p.*
- [77]. **RONDEUX J, LAURRNT C, THIBAUT A (1991) :** construction d'une table de production pour le Douglas (*pseudotsuga memziesii* (MIRB) FRANCO) cah . for Gembloux .p.3-23.

- [78]. **RONDEUX J. (1999)**: *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Les presses agronomiques de Gembloux..Edition TEC 0 DDC. 511 pages.
- [79]. **RONDEUX J. LAURENT C. et THIBAUT A. (2002)** : *Construction d'une table de production pour le Douglas (Pseudotsuga menziesii Mirb) en Belgique*. Les cahiers forestiers de Gembloux, n016, 21 p.
- [80]. **SERRE F. (1973)** : *contribution à l'étude dendroclimatologique du pin d'Alep (pinus halepensis Mill)*. Thèse Doctorat, Université d'Aix – Marseille III France, 236 p.
- [81]. **SGHIR T, AMMARI Y, GARCHIS, KHALDI A. (2001)** : *croissance en hauteur dominante et classes de fertilité du pin d'Alep, annales de l'INRGREF, N° spicial, p. 45-53*.
- [82]. **THAVAUD 1979** : *étude dendrométrique d'un cèdre échantillon dans le massif de Belezma . rapport de stage école d'agriculture de Poizy chovand , p 30*.
- [83]. **THIBAUT A. CLAESSENS H et RONDEUX, J. (2002)**: *Etablissement de courbes de fertilité pour les peuplements de frêne (Fraxinus Exelsior L.) En région limono-calcaire du Condroz et de l'Entrée Sambre-Et- Meuse*. Les cahiers forestiers de Gembloux, n07.18 p.
- [84]. **THIBAUT A. RONDEUX J et CLAESSENS H. (2002)** : *Indices et courbes de fertilité pour les peuplements de Douglas (Pseudotsuga menziesii. Mirb) en Belgique*. Les cahiers forestiers de Gembloux, n016, 12 p.
- [85]. **ZIAT (1986)** : *écologie, productivité et model de croissance du cèdre de l'Atlas (cédrus atlantica manetti) dans le massif de Bou-Iblen .Mem .3^{eme} cycle . Ins . Agro . veter . Hassan II , p .181*.

ANNEXES

Observations :

.....

.....

.....

ANNEXE N° : 02**Cubage des arbres avec le relascope de BITTERLICH****Cubage des arbres sur pieds :**

La solution générale adoptée pour établir les tarifs de cubage consiste à mettre en évidence les relations statistiques qui lient le volume des tiges ou arbres échantillonné aux paramètres mesurés (diamètre, hauteur ...) (M'HIRIT, 1982).

Les diamètres à différents niveaux ont été mesurés au relascope de BITTERLICH. Selon (RENDEUX ; 1999), Le relascope permet d'effectuer la mesure de diamètres situés à divers niveaux à la condition de stationner à une distance prédéterminée de l'arbre, soit à 15, 20, 25 ou 30 mètres. Le principe est simple : il suffit d'apprécier la largeur des bandes qui couvrent exactement le diamètre de l'arbre au niveau de visée déterminé. Pour ce faire, on recommandera l'utilisation d'un harnais fourni en option avec l'appareil, ou mieux, d'un pied.

Lorsque la largeur de la bande 1 couvre exactement, en visée, le diamètre de l'arbre à mesurer, l'opérateur se trouve à une distance L de l'arbre équivalente à 50 fois son diamètre d c'est-à-dire $L = d/c$, ce qui signifie également que le rapport entre le diamètre de cet arbre et la distance le séparant de l'opérateur est égal à $1/50$.

Pour mieux fixer les idées, le tableau 05 fournit les valeurs de diamètres selon les bandes utilisées et les distances d'éloignement.

Si, à 15 m de distance, par exemple, le diamètre d'un arbre, à un niveau donné de hauteur, est couvert par : la bande 1 + 2 bandes étroites + 1 12 bande étroite, le diamètre de cet arbre est égal à :

$$30 + 15 + 3,75 = 48,75 \text{ cm ou } 49 \text{ cm.}$$

Equivalences entre largeurs des bandes et diamètres.

Bandes	Rapports $C=d/R$,	Diamètres (en cm) pour des distances d'éloignement de :			
		15 m	20 m	25 m	30m
1 étroite (1E)	1/200	7,5	10	12,5	15
2 étroites (2E)	1/100	15	20	25	30
3 droites (3E)	3/200	22,5	30	37,5	45
1 ou 4 étroites (4E)	1/50	30	40	50	60
1 + 1E	1/40	37,5	50	62,5	75
2	$\sqrt{2} / 50$	42,4	56,6	70,7	84,9
1 + 2E	3/100	45	60	75	90
1 + 3E	7/200	52,5	70	87,5	105
4 ou (1 + 4E)	1/25	60	80	100	120

ANNEXE N° : 03

Valeurs moyennes des principales variables dendrométriques des classes d'âges.

	Classe d'âge Nombre de placettes	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	141-160
		2	16	39	53	38	2
<i>hd</i>	Moyenne	11,09	13,342	15,458	16,0556	16,8371	16,45
	Minimum	10,58	11	11,75	11,45	14,4	16,35
	Maximum	11,6	16,375	19,5	19,4	20,05	16,55
	Ec-Type	0,7212	1,7005	1,7122	1,43253	1,48566	0,14142
<i>dg</i>	Moyenne	22,92	31,959	34,472	35,5442	38,6264	44,2357
	Minimum	21	25,809	25,478	27,0701	31,6879	42,9936
	Maximum	24,841	43,981	51,274	45	54,7771	45,4777
	Ec-Type	2,7158	5,4967	4,8863	4,19536	4,90883	1,75651
<i>n/ha</i>	Moyenne	205	237,5	227,69	235,66	202,105	195
	Minimum	200	200	140	160	150	180
	Maximum	210	290	390	420	340	210
	Ec-Type	7,0711	28,166	54,021	55,0353	40,4139	21,2132
<i>G</i>	Moyenne	8,4789	19,489	21,383	23,1426	23,6836	29,8479
	Minimum	7,2699	11,777	11,21	10,2447	13,535	29,224
	Maximum	9,6879	33,801	39,212	35,5414	37,8706	30,4717
	Ec-Type	1,7098	6,8892	6,6295	5,43502	6,01799	0,8823
<i>V</i>	Moyenne	50,593	116,66	130,43	142,182	149,196	187,816
	Minimum	48,902	57,675	60,207	65,2247	83,2719	186,034
	Maximum	52,283	223,43	245,81	213,648	242,06	189,599
	Ec-Type	2,3904	48,427	42,197	35,102	38,4671	2,52142

ANNEXE N° : 04

Caractéristique dendroécologiques des 3 classes

	Class3	Class2	Class1
Age do	133	124	135
H do	13,36	15,50	18,63
h90	10	13	16
hg	12,58	14,61	16,37
N/ha	237	224	227
G/ha	16,13	22,11	26,59
dg	29,38	35,54	38,71
Vol/ha	94,72	135,86	168,51
vg	0,38	0,61	0,74
Age g	107	106	112
tp	26	23	23
Acv	1,67	2,30	2,52
Amv	0,89	1,30	1,53
ecorce	3,06	3,84	4,25
Ke	1,117	1,122	1,124
exp	S,E,SE,SW,NNW	S,N,E,NE,NW,W,SW,SE	E,NE,SW,SE,SSW,W,S
pente	3 à 12	2 à 22	3 à 22
alt(m)	1187-1385	1159-1435	1179-1413
Serie	Djenien	Djenien-Tbabou	Djenien-Tbabou
sol(cm)	15-100	20-150	25-100

Résumé

Des tarifs de cubage, des équations de rapports de volume et des fonctions de défilement à forme variable ont été construites pour le pin d'Alep à partir des données issues de 149 arbres échantillonnés. Le système d'équations obtenu permet d'estimer le volume total des arbres et le volume jusqu'à une découpe quelconque, le volume entre deux niveaux de l'arbre, le diamètre à une hauteur donnée ainsi que la hauteur à un diamètre de découpe donné. L'intérêt d'un tel système est sa flexibilité qui est appropriée eu égard aux.

La croissance en hauteur du pin d'Alep de la forêt domaniale de Kimel a été établie à partir 150 couples hauteur-dominante - âge mesurés sur des placettes temporaires représentant les différents milieux de croissance.

L'application du modèle de Chapman-Richards sous la forme $H_{dom} = k_1[1 - \exp(-k_2 \times \text{âge})]^{k_3}$ a permis d'étager la pinède en 3 classes de croissance à l'âge de référence de 90 ans. La majeure partie de peuplements échantillonnés appartient aux classes 2 et 3 dont l'indice de station varie de 13 à 16 m à l'âge de 90 ans.

Mots clés : *Pinus halepensis*, indice de fertilité, modèle de croissance, hauteur dominante, tarifs de cubage, équations de rapport de volume.

Abstract

Volume equations, volume-ratio equations and variable-taper functions were constructed for Aleppo pine of the massifs of Kimel using data collected from 149 trees. The equations obtained offer several possibilities, via, the estimation of total tree volume, of tree volume to various merchantability limits, of volume between different heights on a tree bole, of diameter to any height and of height to any given top diameter limit. The flexibility of this estimation system is of great interest given the multiple uses of the species.

The height growth of Aleppo pine of the massifs of Kimel has been established 150 dominant-height-ages couples measured on temporary plots representing the different media of growth.

The application of the Chapman –Richards model in the form: $H_{dom} = k_1[1 - \exp(-k_2 \times \text{age})]^{k_3}$ has allowed to arrange the pine forest into 3 classes of growth at the reference age of 90 years.

Most of the stands sampled belong to the classes 2 and 3 the site index of which vary from 13 to 16 m at the age of ninety.

Keywords: *Aleppo pine*, *fertility index*, *model of growth*, *dominant height*, *volume equations* *volume-ratio equations*

ملخص:

قياس الأحجام و معادلات مقاطع الأشجار بأشكال مختلفة تم إجراؤها على الصنوبر الحلبي من خلال قياسات للأحجام أجريت على 149 شجرة كعينة. هذا النمط من المعادلات يسمح بقياس الحجم الكلي للأشجار و الحجم عند مقطع معين من الشجرة و الحجم بين مقطعين من الشجرة و القطر عند ارتفاع ما كما يمكن حساب الطول عند قطر مقطع معين

النمو للطول السائد للصنوبر الحلبي بجبال كيمل قد تمت بقياس طول وعمر 150 بقعة إنتاج وقتية ممثلة لكل مستويات الخصوبة.

تطبيق نموذج Chapman –Richards $H_{dom} = k_1[1 - \exp(-k_2 \times \text{âge})]^{k_3}$ قد سمح بتقسيم غابة الصنوبر المدروسة إلى ثلاث مستويات مع أخذ العمر المرجعي 90 سنة.

أغلبية البقع تنتمي إلى مستويات الخصوبة 2 و 3 متمثلة في طول سائد يتراوح بين 13 و 16 متر عند عمر 90 سنة.

الكلمات المفتاحية : الصنوبر الحلبي، خصوبة، نموذج النمو، الطول السائد الحجم.