REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR-BATNA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

THESE

Présentée par : M^r^ BENTOUATI Abdallah

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat d'Etat en Sciences Agronomiques

Spécialité : Foresterie

Sujet :

Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* M.) du massif de Ouled Yagoub (Khenchela-Aurès).

Soutenue publiquement le **: 06 Mai 2006** devant le jury:

M. KAABACHE	**Prof.**	**Université de Sétif**	**Président**
Dj. ALATOU	**Prof.**	**Université de Constantine**	**Rapporteur**
A. TAHAR	**Prof.**	**Université de Annaba**	**Examinateur**
B. OUDJEHIH	**M.C**	**Université de Batna**	**Examinateur**
M. BARITEAU	**Direct. Rech.**	**INRA (France)**	**Examinateur**

REMERCIEMENTS

J'adresse mes plus vifs remerciements à monsieur **Djamel ALATOU** professeur à l'Université de Constantine pour m'avoir fait confiance et accepté de superviser mon travail. Je lui exprime toute mon amitié et ma profonde reconnaissance.

Je remercie également Mr Le Professeur **Amor HALITIM** de l'Université de Batna pour la correction de certains chapitres du manuscrit. Ses critiques et ses conseils m'ont été précieux pour la rédaction.

J'adresse ma chaleureuse et amicale reconnaissance à Monsieur **Bachir OUDJEHIH** maître de conférences à l'Université de Batna qui a contribué largement à la correction du manuscrit. Ces conseils et son soutien moral m'ont été très utiles.

J'exprime aussi ma reconnaissance à Mr **Mohamed KAABACHE** Professeur à L'université de Sétif pour avoir accepter de présider le jury,

Je n'oublierai pas Monsieur **Ali TAHAR,** professeur à l'Université de Annaba qui a toujours répondu à notre appel et qui a bien voulu examiner et juger ce travail. Je lui exprime toute ma sympathie.

Monsieur, **Michel BARITEAU**, Chef de département d'Ecologie à l'INRA de France trouvera l'expression de ma profonde gratitude pour avoir accepter de faire partie du jury. Je ne saurais oublier son hospitalité et les nombreuses tournées de terrain effectués ensemble.

Je remercie vivement les chercheurs de la station de sylviculture méditerranéenne d'Avignon qui chacun dans son domaine m'a consacré un peu de son temps pour discuter des problèmes de la forêt méditerranéenne.

Je suis très reconnaissant aux ingénieurs et aux techniciens de la conservation des forêts de khenchela ,et surtout Mr **Bachir BAHRI** chef de la circonscription des forêts d'El Hamma et toute son équipe, pour les moyens mis à ma disposition pour réaliser les sorties sur terrain.

J'adresse mes plus vifs remerciements à mes collègues enseignants et à tous les étudiants en particuliers de la section foresterie du département d'agronomie de Batna pour leur encouragement et leur soutien moral.

A tous, je dis Merci.

TABLE DES MATIERES

	Page
INTRODUCTION	01
CHAPITRE 1 : CHOROLOGIE DU PIN D'ALEP	04
1.1 REPARTITION DU PIN D'ALEP	04
1.1.1 Dans le monde	04
1.1.2 En Algérie	05
1.2 VALEUR ECOLOGIQUE E SYNTAXONOMIQUE DU PIN D'ALEP	07
1.3 CONCLUSION	09
CHAPITRE 2: LE CADRE PHYSIQUE ET BIOLOGIQUE	10
2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE	10
2.2 GEOLOGIE ET PEDOLOGIE	11
2.3 CLIMAT	14
2.3.1 Précipitations	14
2.3.2 Températures	16
2.3.3 Enneigement	16
2.3.4 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	17
2.3.5 Situation de la Pinède dans le climagramme d'Emberger	17
2.3.6 Autres indices climatiques	20
2.3.6.1 L'indice de xéricité ou indice de sécheresse estivale	20
2.3.6.2 L'indice d'aridité de De Martonne (Im)	20
2.3.6.3 Indices de continentalités pluviale et thermique	20
2.4 VEGETATION	21
2.5 CONCLUSION	24
CHAPITRE 3 : LA DETERMINATION DU VOLUME DES ARBRES ABATTUS	25
INTRODUCTION	25
3.1 METHODES DE CALCULS DES VOLUMES DES ARBRES ABATTUS	25
3.2 MATERIEL ET METHODE	28
3.3 RESULTATS ET DISCUSSION	30
3.**3.**1 Comparaison des méthodes de cubage	30
3.3.2 Influence de la longueur du billon	32
3.4 CONCLUSION	34
CHAPITRE 4 : LES TARIFS DE CUBAGE	35

INTRODUCTION 35
4.1 BIBLIOGRAPHIE 35
4.1.1 Présentation des tarifs de cubage 35
4.1.2 Méthode de construction des tarifs de cubage 37
4.1.3 Critères de sélection des équations 38
4.2 MATERIEL ET METHODES 41
4.2.1 Les tarifs de cubage individuels 41
4.2.2 Le tarif peuplement 42
4.2.3 Les modèles d'équations utilisées 43
4.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS 43
4.3.1 Tarif obtenu par la méthode directe 43
4.3.2 Représentation graphique 45
4.3.3 Tarif obtenu par la méthode mathématique 45
4.3.3.1 Ajustement des équations avec pondération 45
4.3.3.2 Ajustement des équations sans pondération 46
4.3.3.3 Validité de l'équation retenue 48
4.3.4 Elaboration du modèle de cubage des peuplements 50
4.4 CONCLUSION 53
CHAPITRE 5 : CROISSANCE EN HAUTEUR DU PIN D'ALEP 54
INTRODUCTION 54
5.1 BIBLIOGRAHIE 54
5.1.1 Le concept général de la productivité 54
5.1.2 La hauteur dominante comme indice de fertilité 56
5.1.3 Les courbes de croissance de la hauteur dominante 60
5.1.4 La modélisation de la croissance en hauteur 60
5.2 MATERIEL ET METHODE 61
5.2.1 La démarche adoptée et la récolte des données 61
5.2.2 Le choix du modèle de croissance 62
5.2.3 La fixation de l'âge de référence 63
5.3 RESULTATS ET DISCUSSION 64
5.3.1 Reconstitution du faisceau expérimental 64
5.3.2 Ajustement du modèle de Chapman – Richard 65
5.3.3 Etablissement des courbes de productivité 65
5.3.4 Caractérisation des classes de croissance 66
5.4 COMPARAISON DES COURBES A CELLES ETABLIES DANS D'AUTRES SITES 68
5.5 CONCLUSION 71

CHAPITRE 6 : CONSTRUCTION D'UNE TABLE DE PRODUCTION 73

INTRODUCTION 73
6.1 BIBLIOGRAPHIE 73
6.1.1 Intérêt des tables de productions 74
6.1.2 Principe de construction 75
6.2 MATERIEL ET METHODE 75
6.2.1 Peuplements étudiés et paramètres mesurés 75
6.2.2 Modèle de sylviculture proposée 77
6.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS **79**
6.3.1 Caractéristiques dendrométriques des placettes 79
6.3.2 Elaboration de la table de production 80
6.3.2.1 Fixation des niveaux de productivité 80
6.3.2.2 Relations de description des peuplements 81
6.3.2.3 Caractéristiques de la sylviculture choisie 81
6.4 RELATION PRODUCTION TOTALE-HAUTEUR DOMINANTE 89
6.5 COMPARAISON DES RESULTATS AVEC CEUX REALISES SUR D'AUTRES SITES 89
6.6 CONCLUSION 92

CHAPITRE 7 : **SYLVICULTURE ETCONDUITE DES PEUPLEMENTS** **93**
INTRODUCTION 93
7.1 STRUCTURE ET QUALITE DES PEUPLEMENTS 93
7.2 CONDUITE DES PEUPLEMENTS 94
7.3 REGENERATION 95
7.4 ACCROISSEMENTS ET PRODUCTIVITE 98
7.5 CARACTERISTIQUE DES ECLAIRCIES 99
7.6 CONCLUSION 103

CONCLUSION GENERALE 105
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 108
ANNEXES 115

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Fig.1.1 : Aire de répartition du pin d'Alep et du pin Brutia (QUEZEL, 1986) 05
Fig.1.2 : Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie **07**
Fig.1.2 : Aire de répartition de quelques conifères méditerranéens 08

CHAPITRE II

Fig. 2.1 : Localisation de la zone d'étude 10
Fig. 2.2 : Carte de situation de la pinède de Ouled Yakoub et des Béni-Oudjana 12
Fig. 2.3 : Carte des formations géologiques de la zone d'étude 13
Fig. 2.4 : Diagrammes ombrothermiques des 2 stations utilisées 18
Fig. 2.5 : Climagrame d'Emberger 19
Fig. 2.6 : Chêne vert envahissant sur versant nord-ouest de de lapinède (Photo) 23
Fig. 7.7 : Strate arbustive peu recouvrante (Photo) 23
Fig. 2.8 : Peuplements dégradés de pin d'Alep sur versant sud 24

CHAPITRE III

Fig. 3.1 : Les différents types dendrométriques utilisés pour le cubage des arbres 26
Fig. 3.2 : Hauteurs de mesures pour les différentes modalités 29
Fig. 3.3 : Comparaison de 4 volumes correspondants aux différentes billons 31
Fig. 3.4 : Comparaison de 4 volumes correspondants aux différentes découpes 31
Fig. 3.5 : Ecarts observés sur le volume des différentes découpes: volume de Huber 32
Fig. 3.6 : Ecarts observés sur le volume des différentes découpes: volume du cône tronqué 33
Fig. 3.7 : Ecarts observés sur le volume des différentes découpes: volume de Smallian 33
Fig. 3.8 : Écarts observés sur le volume des différentes découpes: volume de Newton et Simpson 34

CHAPITRE IV

FIG 4.1 : Volume du bois fort en fonction du diamètre : méthode directe 44

Fig. 4.2 : Représentation graphique du volume observé en fonction du diamètre à 1,30 m 45

Fig. 4.3 : Distribution des résidus en fonction volume estimé 47

Fig. 4.4 : Représentation graphique des volumes observés et estimés en fonction de d^2h 49

Fig. 4.5 : Caractéristiques des arbres ayant servi à construire le tarif et de l'échantillon d'arbres utilisé pour la validation 49

CHAPITRE V

Fig. 5.1 : Site index pour *Pinus halepensis* (Montéro 2000) 57

Fig. 5.2 : Corrélation Production totale hauteur dominante : Cas du hêtre en Suisse 58

Ether, 1949 (in Dagnelie, 1956) 58

Fig. 5.3 : Production totale en volume en fonction de la hauteur dominante d'Epicéa 59

commun en France (Pardé 1988) 59

Fig. 5.4 : Courbes expérimentales et nuage de points des peuplements échantillonnés 64

Fig. 5.5 : Courbes de croissance 67
Fig. 5.6 à 5.10 : Allure des courbes de croissance de la hauteur dominante dans différents sites 68-7

CHAPITRE VI

Fig. 6.1 : Répartition du nombre d'arbres par classes de diamètre 79
Fig. 6.2 : Evolution du nombre d'arbres en fonction de l'âge 82
Fig. 6.3 : Evolution du nombre d'arbres en fonction de la hauteur dominante 83
Fig. 6.4 : Nombre d'arbres par hectare avant et après éclaircies 85
Fig. 6.5 : Pourcentage de volume prélevé au cours des différentes éclaircies 85
Fig. 6.6 : Production totale en fonction de l'âge 88
Fig. 6.7 : Courbes de l'évolution des accroissements moyens et courants. 88
Fig. 6.8 : Courbes de production 92

CHAPITRE VII

Fig. 7.1 Obtention de la régénération naturelle après une coupe de vieux bois (Photo) 95
Fig. 7.2 : Vue d'une coupe rase en lisière et depressage du chêne vert (Photo) 96
Fig. 7.3 Reboisement de 5 ans sur une parcelle labouré (Photo) 97
Fig. 7.4 : Volume sur pied en fonction de l'âge 98
Fig. 7.5 Accroissements en hauteur 101
Fig. 7.6 : Evolution de la hauteur moyenne en fonction de l'âge 101
Fig. 7.7 Evolution du diamètre moyen en fonction de l'âge 102
Fig. 7.8 :Evolution du nombre d'arbres par hectare en fonction de l'âge : peuplements principau 102

$

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau 1.1 Répartition du pin d'Alep dans le monde 05

CHAPITRE II

Tableau 2.1 : Pluviosités mensuelle et annuelle 15
Tableau 2.2 : Répartition saisonnière des précipitations (mm) 15
Tableau 2.3 : Températures minimales (m) maximales (M), moyenne et amplitudes 17
thermiques (M-m) des stations de Foum El Gueiss et de Bouhmama 17
Tableau 2.4: Caractéristiques bioclimatiques des stations de Foum El Gueiss et de Bouhmama 17
Tableau 2.5 : Evaluation du Q_2 en fonction de l'altitude 18
Tableau 2.6 : Indices climatiques des 2 stations étudiées 21

CHAPITRE III

Tableau 3.1 : Valeurs des estimations fournies par les différentes formules de cubage pour
diverses formes géométriques (Rondeux, 1993) 27
Tableau 3.2 : Répartition des arbres en fonction de leur diamètre à 1.30 m et de leur Hbf 30

CHAPITRE IV

Tableau 4.1: Répartition des arbres mesurés par classe de diamètre et de hauteur totale 42
Tableau 4.2 : Répartition des volumes observés (dm^3) par classe de diamètre à 1,30 m. 44
Tableau 4.3 : Critères de précision des équations ajustées sans pondération 46
Tableau 4.4 : Critères de précision des équations ajustées avec pondération 47
Tableau 4.5 : Caractéristiques dendrométriques des arbres ayant servi 48
à construire le tarif de cubage 48
Tableau 4.6 : tarif de cubage arbre 50
Tableau 4.7 : limites du nombre d'arbres en fonction de la hauteur dominante 51
Tableau 4.8 : Valeurs des rapports V/G et F en fonction de la hauteur dominante 52
Tableau 4.9 : tarif peuplement 52

CHAPITRE V

Tableau 5.1 : Valeurs du paramètre k1 de l'équation de Chapman- Richards 65
Tableau 5.2 :Valeurs de la hauteur dominante (m) en fonction de l'âge (ans) 66
Tableau 5.3 : Caractéristiques dendrométriques moyennes des classes de croissance 66

CHAPITRE VI

Tableau 6.1 :Valeurs moyennes des principales variables dendrométriques des classes d'âges **80**
Tableau 6.2 : limites du nombre d'arbres en fonction de la hauteur dominante 83
Tableau 6.3 : Table de production 87
Tableau 6.4 : Accroissements moyens maxima établis pour le pin d'Alep dans différents sites **91**

CHAPITRE VII

Tableau 71 : Caractéristiques dendrométriques moyennes des classes d'âges 99
Tableau 7.2 : Résultats de la sylviculture proposée pour les 4 classes de productivité 100

Abréviations utilisées

1. Htot =Hauteur totale
2. Hdom= Hauteur dominante
3. H70 = Hauteur dominante à 70 ans
4. Dg = Diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne
5. Hg = Hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne
6. N/ha = nombre d'arbres par hectare
7. G/ha = Surface terrière par hectare (m^2/ha)
8. Vol/ha = Volume par hectare (m^3/ha)
9. Amv = accroissement moyen en volume (m^3/ha/an)
10. Acv = accroissement courant en volume (m^3/ha/an)
11. Id = Accroissement moyen en diamètre (cm/an)
12. H/D = Facteur d'élancement
13. S% = Facteur d'espacement
14. F = Coefficient de forme
15. d1,30 = diamètre à 1,30 m
16. d0,5 h = diamètre à mi- hauteur
17. Vest = Volume estimé
18. V N/S = Volume de Newton et Simpson
19. V/G = Rapport de conversion
20. K = Coefficient de décroissance métrique
21. k' = coefficient de défilement
22. f = coefficient de forme arbre
23. vi = *volume observé*
24. $\widehat{vi}$ = volume estimé
25. $CV_{v.x}$ = Cvr = coefficient de variation résiduel
26. $\sigma_{v.x}$ = écart type résiduel
27. v = volume et x = variables explicatives
28. Sa= résidus absolus
29. Sr = résidus relatif
30. ei = Ecarts entre le volume observé et le volume estimé
31. S = somme des carrés des écarts
32. Wi = poids ou coefficient de pondération
33. K= Type d'éclaircie
34. ve = volume de l'arbre moyen enlevé en éclaircie
35. vm = volume de l'arbre moyen enlevé avant l'éclaircie
36. Ve et Ne = Volume et nombre d'arbres enlevés en éclaircie
37. V et N = Volume et nombre d'arbres enlevés avant l'éclaircie

INTRODUCTION GENERALE

La forêt Algérienne occupe une surface d'environ 3 Millions d'hectares dont un productif, le reste est constitué par des maquis et des garrigues. Le taux de boisement est estimé à 1,3% pour une superficie totale de 238 millions d'hectares (KADIK,1987). Elle se distingue par sa valeur écologique, sa richesse en espèces forestières et occupant les bioclimats les plus variables. Les importantes sur le plan économique sont le chêne liège qui occupe la zone littorale humide et sub-humide, avec 21% de la surface forestière et le pin d'Alep dominant par ses peuplements répartis sous forme de grands massifs sur l'ensemble de l'Algérie du Nord. Cette espèce localisée dans la majorité des variantes bioclimatiques méditerranéennes de l'Algérie, peuplant même les zones les plus hostiles en marge du Sahara et de la steppe. Il forme des forêts importantes dont les valeurs écologiques sont variables (QUEZEL,1986). Le pin d'Alep couvre 35% des surfaces boisées de l'Algérie du Nord, soit environ 800.000 ha (MEZALI, 2003).

Comme toute forêt du bassin méditerranéen, celle de pin d'Alep a subit depuis des siècles d'intenses pressions humaines (défrichements, coupes illicites, incendies, pâturages) causant ainsi la déforestation et la régression du couvert végétal. A cela s'ajoutent ces dernières années les sécheresses successives et prolongées qui sont à l'origine du dessèchement et du dépérissement des arbres sur pieds. Les échecs constatés dans les reboisements sont liés soit le plus souvent à une mauvaise connaissance de l'écologie de l'espèce, soit au mauvais choix des provenances.

Tous ces facteurs conjugués ont entraîné une diminution nette de la couverture forestière qui a provoqué une rupture du système naturel de défense et de restauration des sols.

Aux difficultés d'ordre technique, s'ajoutent aussi la faible valeur économique et les caractéristiques technologiques médiocres des produits du pin d'Alep qui n'ont pas justifiée une sylviculture ambitieuse.

Toutefois, au cours de cette dernière décade, une attention particulière et un intérêt scientifique et forestier ont été exprimés pour cette espèce. C'est ainsi que le pin d'Alep a fait l'objet d'études sur le problème de taxinomie et d'hybridation avec le pin brutia (NAHAL, 1986 et QUEZEL, 1986).

De nombreux articles lui sont consacrés aussi dans le domaine de la phytosociologie et de l'écologie (QUEZEL, 1976; KLEPAK, 1986 et KADIK, 1987).

On note aussi quelques travaux relatifs, à la physiologie et à l'écophysiologie rapportés par SCHILLER (2000 a et b). La variabilité génétique et géographique du pin d'Alep a surtout fait l'objet d'études en Grèce par ARAVANOPOLUS (2000) et par DROUZAS (2000).

Dans le domaine de la sylviculture et de l'aménagement, le pin d'Alep a bénéficié de travaux effectués dans les pays du pourtour méditerranéen, notamment en France sur la

productivité et la croissance (BEDEL, 1986 ; HIKMAT, 1986 ; COUHERT et DUPLAT, 1992 ; BROHIERO, 1999). En Espagne (MONTERO, 2001), au Maroc (BELGHAZI, 2000), en Italie (ORAZIO, 1986) et en Tunisie (SOULERES, 1969 et 1975 et CHAKROUN, 1986, SGHAEIR,2001).

Dans tous ces pays, le pin d'Alep en raison de ses faibles exigences a encouragé les forestiers à l'utiliser à grande échelle comme essence de grand reboisement, malgré sa faible productivité. Il est ainsi introduit pour reconstituer les zones dégradées et occupe les terrains nus. La notion de production devient alors pour cette espèce un aspect secondaire.

En Algérie, il n'en est pas de même, car en plus de son rôle écologique, le pin d'Alep possède un potentiel productif appréciable qui ne peut être négligé vu l'importance des surfaces occupées par cette espèce.

Dans les Aurès, la forêt des Béni-imloul produit un volume de 40.000 m^3 par an. Celle de Ouled Yagoub et Béni-Oudjana qui totalisent une surface de plus de 40.000 hectares peuvent produire une possibilité de plus 8500 m^3 par an (BNEF,1984) sont des exemples qui témoignent des capacités de production importantes du pin d'Alep en Algérie.

Les peuplements de pin d'Alep qui composent les massifs forestiers sont constitués souvent de futaies adultes et vieilles dépassant parfois largement l'âge d'exploitabilité. La durée de survie pour ce type de peuplements est limitée. Ils possèdent en outre un potentiel de bois sur pied estimable et devront être régénérés rapidement avant qu'il n'y ait dépréciation de la qualité du bois et donc perte substantielle de revenus.

Jusque là, les travaux de recherche sur la productivité et la croissance du pin d'Alep sont rares. Les seules études effectuées sur cette espèce sont réalisées dans le cadre des aménagements forestiers. Ces travaux se résument au calcul du volume et à l'estimation de la possibilité. On peut citer à cet effet uniquement les tables de production établies par FRANTZ ET FORSTER (1979) sur le pin d'Alep des Aurès.

Ces études quoique indispensables sur le plan quantitatif restent à notre avis insuffisantes car elles n'expliquent pas suffisamment les mécanismes qui interviennent dans la caractérisation de la productivité et de sa variabilité.

Ce manque d'informations constitue un handicap quand il s'agit d'évaluer correctement une espèce forestière. Un diagnostic complet permet de ce fait de définir les aptitudes et les potentialités forestières d'une zone et de préciser la meilleure façon de la mettre en valeur.

Pour compléter les travaux existants, nous avons jugé utile de mener une étude approfondie pour mieux comprendre la dynamique de la croissance en hauteur et la productivité du pin d'Alep dans les massifs de Ouled Yagoub et des Béni Oudjana .

L'objectif de ce travail vise principalement, la connaissance de la dynamique de la l'évolution de la production ligneuse de cette espèce et l'élaboration d'un modèle de sylviculture pour la construction des tables de production à sylviculture moyenne, ainsi qu' un mode de gestion.

La méthodologie d'approche pour cette étude repose sur un matériel de base issu essentiellement des placettes temporaires de milieux écologiques variés et sur les analyses de tiges d'arbres abattus. Une telle approche à été utilisée dans de nombreux travaux (DECOURT 1965, 1966, 1972 a et 1972 b ; GARBAYE et al 1970 ; ALDER, 1980 ; OTTORONI 1981 ; LEGOFF, 1982 ; LEMOINE, 1982 ; ABBAS,1986 ; COUHERT et DUPLAT, 1993 ; FONWEBAN et HOULLIER. 1995 ; BOISSEAU, 1996 ; SGHAIER et PALM, 2002 ; THIBAULT, 2002).

Le manuscrit comprend 7 chapitres :

1. Biogéographie du pin d'Alep,
2. Cadre physique de la zone d'étude
3. Comparaison de différentes méthodes de cubage
4. Elaboration de tarifs de cubage arbres et peuplements
5. Croissance en hauteur dominante et classes de fertilité
6. Construction d'une table de production
7. Gestion et aménagement des forêts de pin d'Alep

CHAPITRE 1 : CHOROLOGIE DU PIN D'ALEP

1.1 REPARTITION DU PIN D'ALEP

1.1.1 Dans le monde

Le pin d'Alep appartenant au groupe Halepensis est une espèce de la famille des *Pinacées* (*Abietacees*), genre *Pinus* , sous genre *Pinus* (*Eupinus*), section *Halepensis*, et sous-groupe *halepensis*. Ce groupe représenté essentiellement par deux espèces *Pinus halepensis* Mill et *Pinus brutia* Ten appartient exclusivement au circumméditerranéen. (NAHAL, 1986) (Fig. 1.1).

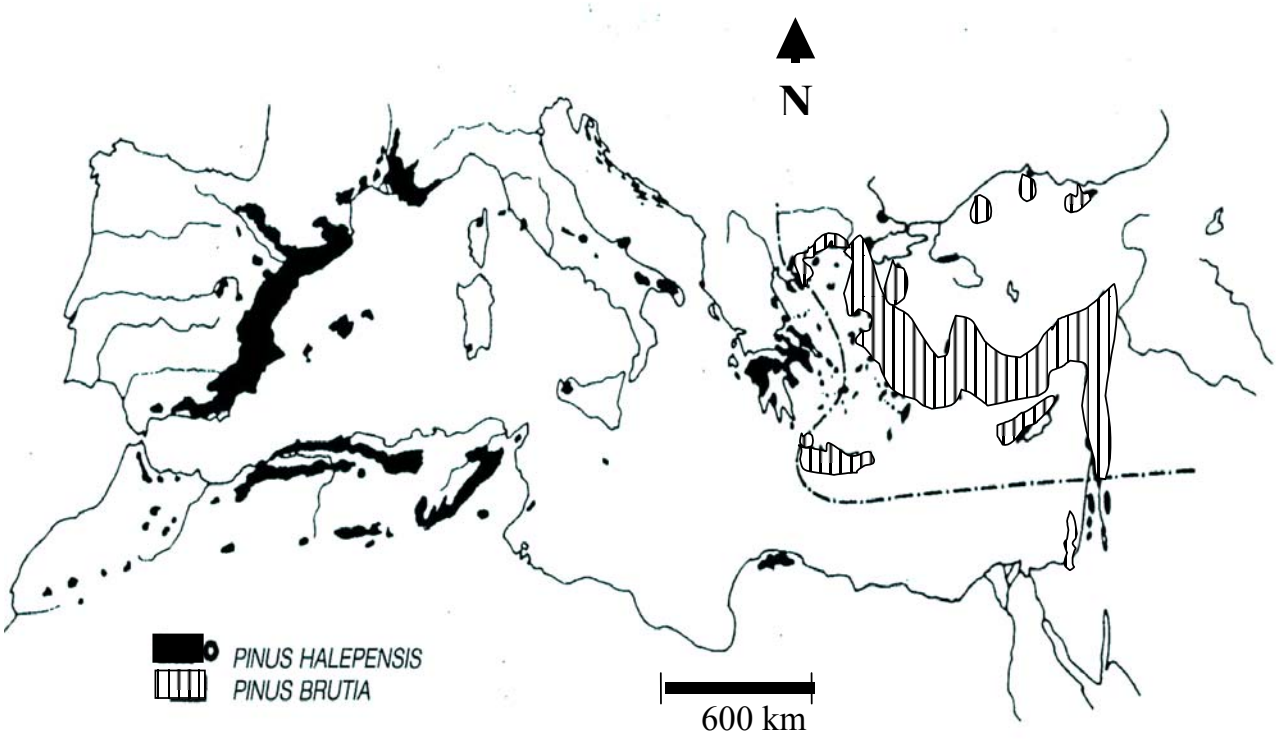


Fig 1. 1 : Aire de répartition du pin d'Alep et du pin Brutia (QUEZEL, 1986)

L'aire de répartition du pin d'Alep est limitée au bassin méditerranéen (Fig.1.1) et occupe plus de 3,5 millions d'hectares (QUEZEL, 1980 et 1986). Cette espèce est surtout cantonnée dans les pays du Maghreb et en Espagne où elle trouve son optimum de croissance et de développement (PARDE, 1957; QUEZEL et al, 1992). (tableau 1.1)

Au Maroc, le pin d'Alep est peu fréquent à l'état spontané, il occupe une superficie de 65.000 hectares répartis en peuplements disloqués occupant la façade littorale méditerranéenne au niveau du Rif, du moyen et du Haut Atlas (QUEZEL, 1986 ; BAKHIYI, 2000) . En Tunisie, les forêts naturelles de pin d'Alep couvrent 170.000 hectares, occupant

ainsi tous les étages bioclimatiques depuis la mer jusqu'à l'étage méditerranéen semi- aride (SOULERES, 1969 ; CHAKROUN, 1986). Cependant AMMARI et al (2001) avance le chiffre de 370.000 hectares, soit environ 56% de la couverture forestière du pays.

En Europe, Le pin d'Alep est surtout présent sur le littoral espagnol où il couvre une superficie de 1.046.978 hectares en peuplements purs et 497.709 hectares en peuplements mixtes ou mélangés avec d'autres espèces, soit 15% de la surface boisée de ce Pays (MONTERO, 2000).

En France, le pin d'Alep est beaucoup plus fréquent en Provence, prolongeant dans le Nord la vallée du Rhône. COUHERT ET DUPLAT (1993) avancent le chiffre de 202.000 hectares.

En Italie, le pin d'Alep est peu présent. Il ne représente que 20.000 hectares cantonnés essentiellement dans le sud, en Sicile et en Sardaigne. Par contre, en Grèce, les peuplements de pin d'Alep représentent une superficie importante de 330.000 hectares. Il existe aussi à l'état spontané mais d'une façon très restreinte en Turquie, en Albanie et en Yougoslavie et très peu au proche orient (Palestine, Jordanie, Syrie et Liban). (SEIGUE, 1985).

Tableau 1.1: Répartition du pin d'Alep dans quelques pays le monde

Pays	Superficie (ha)	**2.2 Source**
Algérie	800,000	Mezali (2003)
Maroc	65,000	Bakhiyi (2000)
Tunisie	170,000 à 370,000	Chakroun (1986), Ammari (2001)
France	202,000	Couhert et Duplat (1993)
Espagne	1,046,978	Montéro (2000)
Italie	20,000	Seigue (1985)
Grèce	330,000	Seigue (1985)

1.1.2 En Algérie

En Algérie, le pin d'Alep est présent dans toutes les variantes bioclimatiques avec une prédominance dans l'étage semi-aride. Sa plasticité et sa rusticité lui ont conféré un tempérament d'essence possédant un grand pouvoir d'expansion formant ainsi de vastes massifs forestiers.

Le pin d'Alep avec ses 35% de couverture reste bien l'espèce qui occupe la première place de la surface boisée de l'Algérie. BOUDY (1950) rapporte que le pin d'Alep occupe une surface de 852.000 hectares, MEZALI (2003) dans un rapport sur le Forum des Nations Unis sur les Forêts (FNUF) avance un chiffre de 800.000 hectares, alors que

SEIGUE (1985) donne une surface de 855.000 hectares. Il est présent partout, d'Est en Ouest allant du niveau de la mer aux grands massifs montagneux du Tell littoral et de L'Atlas Saharien (Fig 1.2) . Son optimum de croissance et de développement se situe au niveau des versants Nord de l'Atlas saharien où il constitue des forêts importantes et l'on peut citer à l'Est, les grands massifs de Tébessa avec leurs 90.000 hectares, celui des Aurès à plus de 100.000 hectares constitués principalement par les pinèdes des Béni-Imloul (72.000 ha), des Ouled Yagoub et celle des Béni - Oudjana. Selon KADIK (1987), ce sont les plus beaux peuplements du pin d'Alep en Algérie qui sont situés entre 1000 et 1400 m d'altitude. Au centre du pays, on peut signaler les forêts de Médéa- Boghar , de Theniet El Had qui totalisent respectivement 52.000 et 47.000 hectares et les vieilles futaies des Monts des Ouled Nail dans la région de Djelfa. A l'ouest du pays , en Oranie, on peut trouver de vastes massifs concentrés dans les régions de Bel Abbés, de Saida et de l'Ouarsenis.

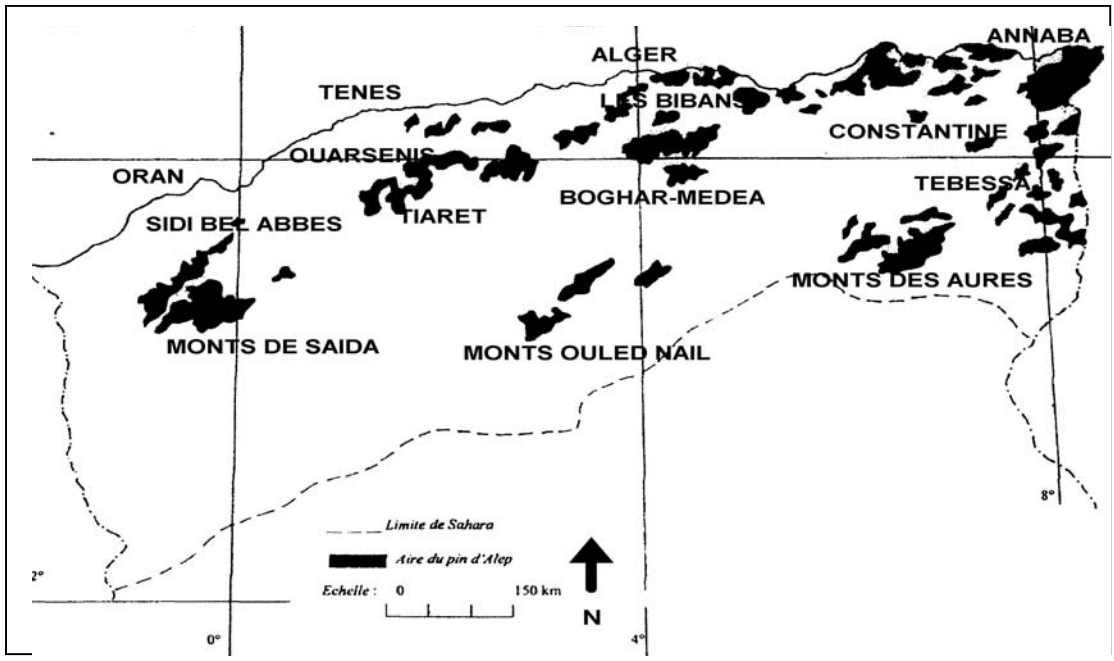


Fig 1.2 :Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie

1.2 VALEUR ECOLOGIQUE ET SYNTAXONOMIQUE DU PIN D'ALEP

Pris longtemps comme une sous espèce de *Pinus brutia* ou relégué au rang de variété, le pin d'Alep est maintenant considéré comme une espèce à part entière bien définie et très distincte du Pin brutia. Toutefois, ces 2 espèces présentent des affinités génétiques qui leur permettent de s'hybrider facilement en milieu naturel ou artificiel (NAHAL, 1986 ; QUEZEL, 1986).

Les études en matière de sélection et d'amélioration génétique restent encore fragmentaires et l'on peut citer dans ce contexte, les travaux sur les problèmes d'hybridation entre ces 2 espèces (ARAVANOPOULUS et al., 2000 ; DROUZAS et al, 2000).

En ce qui concerne *Pinus halepensis*, NAHAL (1986) rapporte que cette espèce présente des populations hétérogènes qui se distinguent nettement par le port, la morphologie des grains de pollen et par la forme du cône. Elle forme de ce fait des races et des écotypes dont certains sont résistants à la sécheresse.

Sur le plan bioclimatique, le pin d'Alep se rencontre dans les différents étages : Aride supérieur, semi-aride, sub-humide et humide. Toutefois, c'est dans l'étage semi-aride qu'il trouve son plein épanouissement (NAHAL,1986). QUEZEL (2000), en définissant des étages en relation avec l'altitude montre que le groupe Halepensis se développe aux étages thermo-méditerranéen ou méditerranéen inférieur, allant du bord de la mer jusqu'à 300 – 600 mètres en méditerranée septentrionale pour arriver entre 400 – 1200 mètres en méditerranée méridionale correspondant à l'étage mésoméditerranéen. Néanmoins, *Pinus halepensis* comme *Pinus brutia* peuvent aller au-delà de ces altitudes et coloniser l'étage supra méditerranéen supérieur à 2000 m d'altitude.

Du fait de son pouvoir d'expansion extraordinaire et de ses faibles exigences, le pin d'Alep prospère dans une tranche pluviométrique allant de 200 mm jusqu'à 1500 mm par an. On rencontre de très belles futaies de pin d'Alep en zone semi-aride entre 300-400 jusqu'à 700 mm de précipitations annuelles. Sur le plan thermique, l'aire naturelle du pin d'Alep admet une variante humide et semi-aride, froide à chaude avec des valeurs moyennes de températures minimales du mois le plus froid de – 3° à +10°C QUEZEL (1986) (Fig.1.3). Il peut supporter cependant des froids exceptionnels de courtes durées de – 15 à – 18 °C (BEDEL, 1986).

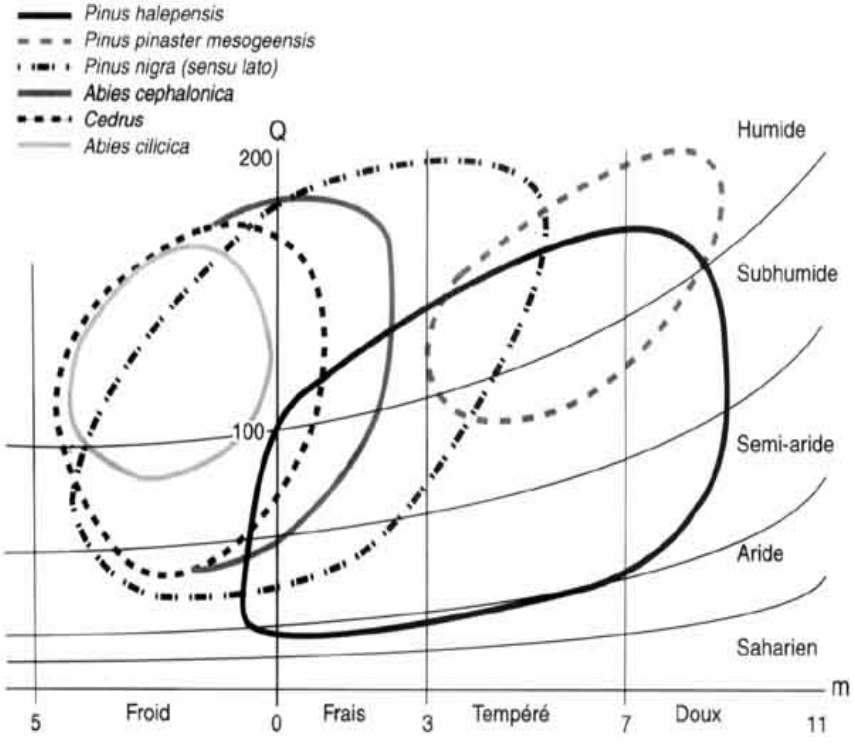


Fig 1.3 : Aire de répartition de quelques conifères méditerranéens en fonction du coefficient pluviothermique d'Emberger et de la moyenne des minima du mois le plus froid (Quezel 1986)

Du point de vue édaphique, le pin d'Alep est une espèce indifférente à la nature du sol. On peut le rencontrer surtout et en abondance sur des substrats marneux et marno-calcaires avec des sols profonds. Il peut aussi évoluer à un degré moindre sur des sols calcaires compacts, présentant des fissures mais ne tolère ni les sols sablonneux dont la pérméabilté ne permet pas de retenir de l'eau, ni les bas fonds limoneux. Toutefois, il faut noter que c'est une espèce qui craint l'hydromorphie et ne peut prospérer dans les dépressions où l'eau s'accumule l'exposant ainsi à l'asphyxie racinaire. Le pin se comporte très mal sur les Schistes et les micaschistes (SEIGUE, 1985).

Sur le plan syntaxonomique des groupements végétaux du pin d'Alep, les observations de la végétation effectuées par les phytosociologues en Algérie, en Tunisie et en quelques points en Provence française montrent qu'à tous les niveaux des étages méditerranéens, les séries de formation à pin d'Alep constituent de véritables formations climaciques. A ce stade, les peuplements de pin d'Alep sont arrivés à leur optimum d'accroissement en matière de productivité, alors que la dynamique des forêts de pin d'Alep en France (LOISEL, 1976), en Espagne et même au Maroc sont encore de nature para climacique. Ce type d'évolution constitue une étape transitoire vers la formation de forêts sempervirentes ou caducifoliées (QUEZEL, 1986).

Sur le plan phytosociologique, les forêts de pin d'Alep relèvent de la classe des QUERCETA ILLICIS (MAIRE,1926 ;BRAUN BLANQUET,1936 ; RIVAS- MARTINEZ,1975 ET DJEBAILI,197, cités par KAABACHE, 1995). Cette classe représentée sur le plan physionomique par une végétation ligneuse xérique, traduit le plus fidèlement les conditions climatiques de la région méditerranéenne. Ce type de végétation est dominé par des formations à feuilles persistantes qui constituent la végétation climax d(une grande partie du cercle de groupements méditerranéens

Malheureusement, le manteau forestier primitif presque disparu sauf dans quelques contrées montagnardes, reculées et éloignées des centres d'habitation.

La syntaxonomie des groupements à pin d'Alep est la suivante :

Classes : QUERCETA ILLICIS. (BRAUN BLANQUET, 1936)

Ordre :Quercetalia illicis (BRAUN BLANQUET,1936 et RIVAS- MARTINEZ,1975)

Alliance : Pinus halepensis et Quercus ilex (DJEBAILI,1979)

Association Pinetum halepensis (MAIRE,1926)

Cette association est répartie sur les sommets et hauts versants de l'Atlas saharien ainsi que sur les versants des Aurès.

1.3 CONCLUSION

Le pin d'Alep est une espèce frugale et plastique appartenant exclusivement au bassin méditerranéen. Il supporte assez bien la sécheresse estivale et occupe tous les étages bioclimatiques à l'exception du saharien. Son optimum de croissance varie de 250 à 700 mm de précipitations par an. Il est indifférent à la nature du sol mais craint les sols à hydromorphie importante.

Dans la partie méridionale du bassin méditerranéen, le pin d'Alep contribue largement à la reforestation des zones dégradées. Dans cette partie, il constitue de véritables forêts climaciques. Il possède aussi une grande affinité avec le pin brutia avec lequel il peut s'hybrider.

CHAPITRE 2: LE CADRE PHYSIQUE ET BIOLOGIQUE

2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET RELIEF

La zone d'étude qui appartient à l'ensemble du massif des Aurès se situe entre 6° 47' - 7° 7' de longitude Est et 35° 18'- 35° 29' de latitude Nord et prolonge l'Atlas saharien au Nord-Est (Fig.2.1).

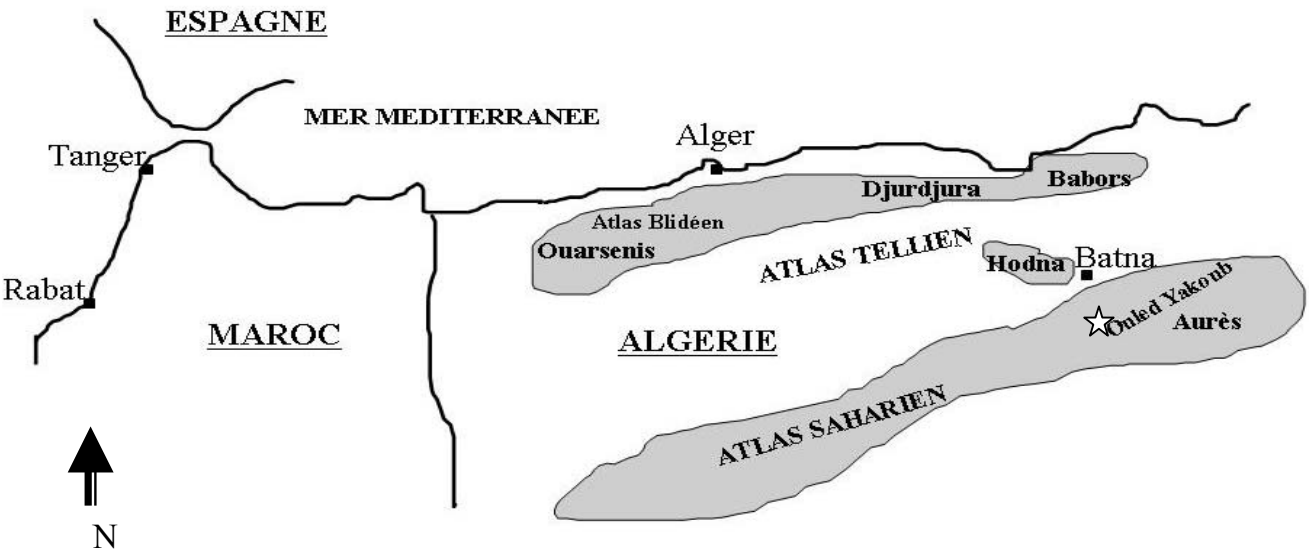


Fig 2.1 : Localisation de la zone d'étude en Algérie ☆

Elle est divisée classiquement en différentes régions naturelles en fonction du relief, de la géologie et de la végétation. Elle est formée d'une succession de plis plus ou moins parallèles orientés Sud-Ouest Nord-Est et séparés par deux vallées principales: la vallée de l'oued Tamza et celle de l'oued Issouel qui alimente le barrage de Foum el gueiss. Elle est limitée (Fig2.2)

A l'Est, par le cèdre de l'Atlas qui occupe le premier pli et dont les sommets les plus importants s'élèvent à plus de 2000 mètres d'altitudes (Djebel Chentgouma à 2113m ; Djebel Aidel à 2192 m et Djebel Féraoun à 2093 m).

Au Nord, par la route nationale Batna – khenchela .

A l'Ouest, la pinède s'étend vers la vallée de Oued Mellagou et la route reliant Kais-Bouhmama.

Au Sud, la zone d'étude est délimitée par la plaine de Mellagou qui prolonge la pinède des Béni-Imloul.

L'aspect montagneux des plis qui caractérise la zone d'étude se différencie au du sud vers le nord par un ensemble de sommets plus élevés (Guern El kebch à 1413 m, Djebel El Oud à 1560m et Djebel Aourès à 1521 m), au Nord-Est, l'altitude se réduit progressivement (Ras Tafer et Djebel Tizi Ala à 1282 m, pour arriver à la limite extrême ouest à 1250 m à Kef Chachoua et à 1161 m au niveau de Tirkabine).

2.2 GEOLOGIE ET PEDOLOGIE

La pinède de Ouled Yakoub et des Béni-oudjana repose sur le Crétacé supérieur (Laffite, 1939). Le Turonien est présent sous forme d'un arc assez large qui se prolonge dans le synclinal de djebel Aourès et la vallée de Tamza au Sud, avec un faciès à prédominance calcaire.

Le centre du massif est occupé par le Cénomanien avec la présence de dolomie et de calcaire dans la partie Nord, alors que dans la partie Sud se localisent des substrats marno et marno - calcaires.

Vers le Nord - Est de la zone, le Cénomanien côtoie l'Albien localement à la base de la cédraie avec présence de grés et de marnes rouges.

Le Coniacien et le Santonien marquent la limite Nord-Ouest du massif des Béni - Oudjana sous forme d'une bande plus ou moins régulière et longeant le massif du Nord au Sud . (Fig.2.3).

Sur le plan pédologique, la région n'a pas fait l'objet d'une étude cartographique. Néanmoins, les sols sont globalement squelettiques et de faibles profondeurs, inférieure à 20 cm. Sur les fortes pentes, les sols sont peu évolués, on y rencontre des lithosols. Sur ce type de substrat, la végétation herbacée a du mal à s'installer et l'érosion est par endroit très intense. Elle provoque un décapage en surface des sols supprimant les horizons superficiels. La couche humifère est pauvre avec souvent un humus très peu décomposé. La litière quand elle existe se compose d'aiguilles de pin et de feuilles de chêne vert et d'autres espèces arbustives caractéristiques de la pinède. Dans les replats, le sol est assez profond et la strate herbacée est très présente. La zone se caractérise aussi par des sols calcimorphes de types rendzines.

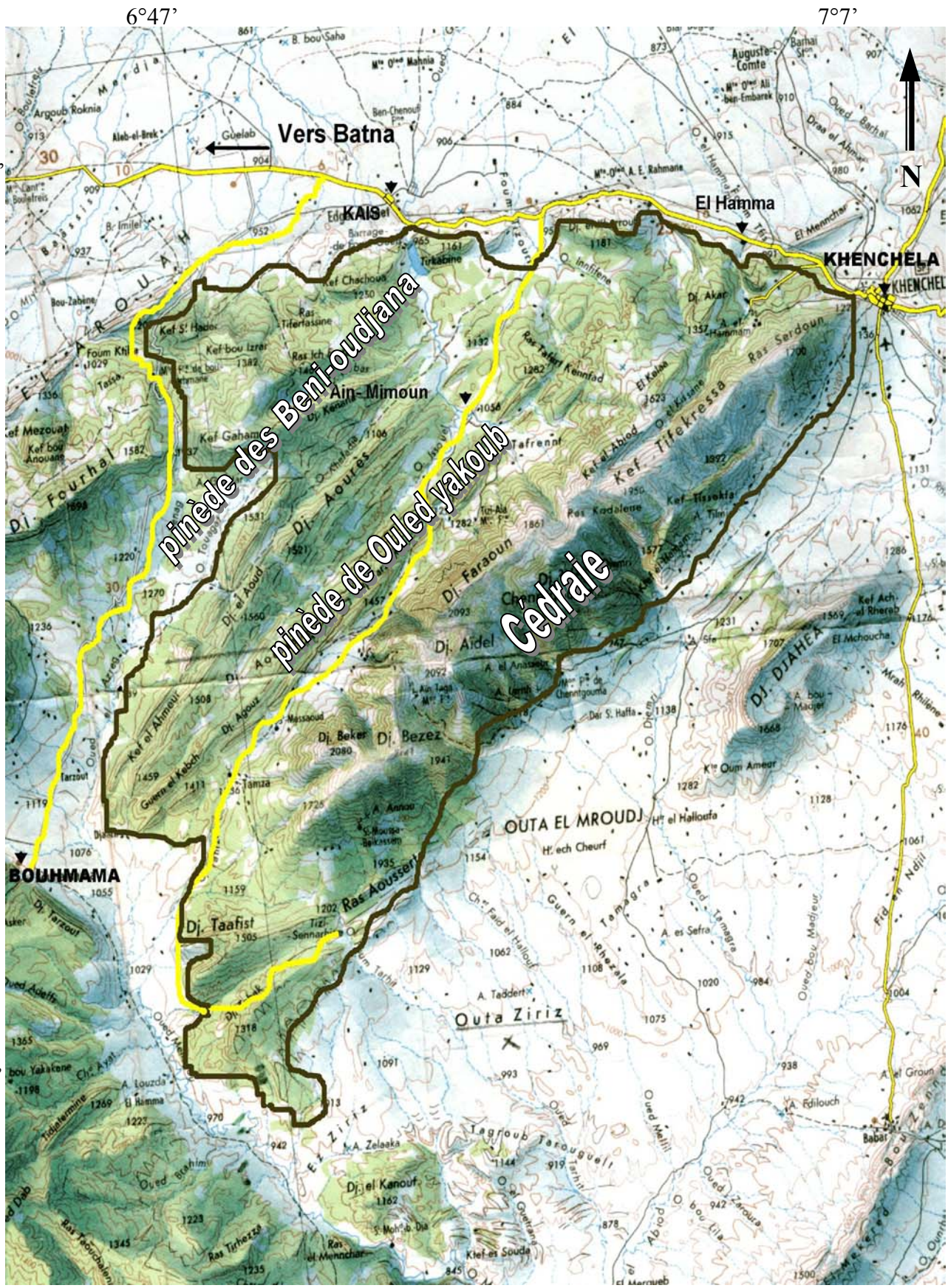
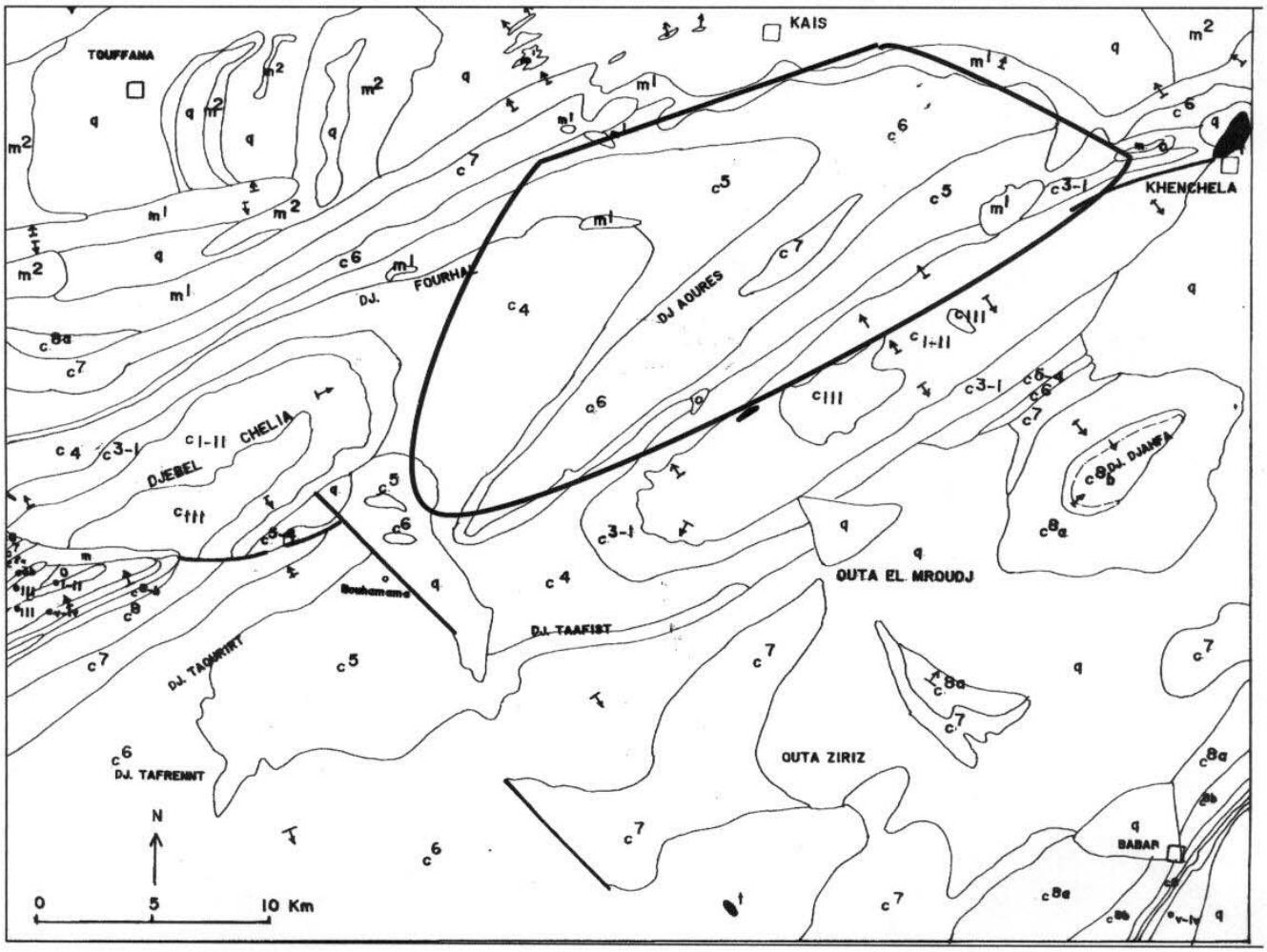


Fig 2.2 : Situation des massifs de Ouled Yakoub et des Béni-Oudjana :
Extrait de la feuille PQ Khenchela .1964. Ech : 1/200.000



Zone d'étude

q	Quaternaire
m^2	Pontien inf. : marnes grès et sables rouges
m^1	Miocène inf. marin
o	Oligocène : Marnes rouges à gypse , grès , conglomérats , brèches .
e_{I-II}	Lutetien : e_{I-II} : marnes blanches avec bancs calcaires et gypseux localemen phosphates ; dans la partie Sud-Est e_{II} : Calcaires à gypses , ei - marnes noires .
e_{III}	Londinien : Calcaires massifs .
e_{v-Iv}	Paléocène : Marnes blanches ; calcaires
c^9	Danien : Marnes noires , localement phosphates
c^{8b}	Maëstrichtien : 1 - calcaires 2 - marnes noires ou marnes crayeuses
c^{8d}	Campanien : marnes noires , marnes crayeuses à la base localement , gypses
c^7	Coniacien et Santonien : marnes et calcaires.
c^6	Turonien : 1-calcaires à Rudistes (récifs) 2-Calcaires et marnes (+ Rudistes isolés)
c^{5-4}	Cénomanien : 1 -dolomies 2-calcaires (localement gypse) 3-marnes et marno-calcaires .
c^{3-1}	Albien : 1-grès et marnes rouges , verts .... 2- marnes ,calcaires , grès , flysch localement phosphates .
c_{I-II}	Aptien : 1-grès et marnes rouges , verts ... ; 2-calcaires , dolomies , marnes , grès .
c_{III}	Barrémien : 1-grès , graviers , marnes rouges , verts ...., 2-grès blancs 3-calcaires et calcaires grèseux
t	Trias
	Pendage
	Faille

SOURCE : Extrait de la feuille géologique de l'Aurès au 1/200.000 de R. LAFFITTE . 1939 .

Fig 2.3 : Carte des formations géologiques de la zone d'étude

2.3 LE CLIMAT

Avec ses principaux paramètres, le climat reste l'élément le plus important dans la caractérisation de la productivité forestière. Il permet en effet d'apprécier les aptitudes d'une région à la production potentielle. Cependant, ses caractéristiques difficiles à mesurer régulièrement d'une année à l'autre, constituent un problème majeur compte tenu des conséquences d'interprétation qui peuvent en découler.

Ces difficultés sont liées principalement à l'insuffisance de postes météorologiques installés en régions forestières et à l'homogénéité des mesures climatiques par rapport à leur situation topographique très différentes.

La très faible densité des stations météorologique au niveau de la région d'étude nous a contraint à utiliser pour ce travail des mesures issues des 2 stations référencées situées à proximité des massifs des Béni-Oudjana et de Ouled Yakoub (celle du barrage de Foum el Gueiss au Nord-ouest et celle de Bouhmama au Sud).

Ces 2 stations ne présentent pas des séries de mesures sur des période assez longues pour les principaux paramètres climatiques, températures et précipitations.

Les données recueillies sont inférieures à 20 ans, aussi sont elles complétées par celles de Seltzer (1946) établies sur une longue période.

2.3.1 Précipitations

D'une manière générale, La zone d'étude se caractérise par un climat continental montagnard qui tire son originalité d'une part de l'altitude responsable des conditions climatiques contrastées et d'autre part de l'exposition qui peut influencer le régime des précipitations. Le massif est soumis dans sa partie sud à des influences sahariennes.

La pluviométrie est en général faible et présente une grande variabilité inter mensuelle. La station de Bouhmama située à une altitude 1150 mètres au piémont Sud du massif reçoit moins d'eau (382 mm/an) que celle de Foum El Gueis située au nord du massif qui est mieux arrosée (451 mm/an). Ce gradient de pluviosité est sous l'influence orographique des 2 massifs.

Les versants nord sont nettement mieux arrosés que ceux situés sur l'exposition Sud. Les précipitations décroissent progressivement vers le Sud. Le nombre de jours de pluie ne dépasse guère les 90 jours par an pour les 2 sites.

Le tableau 2.1 donne la répartition mensuelle et annuelle des précipitations moyennes au niveau des 2 stations considérées

Tableau 2.1 : Pluviosités mensuelle et annuelle..

Mois	Stations		
	Foum El Gueiss Altitude : 928m Période: 1983-2001	Foum El Gueiss Seltzer (1946) Période : 1914-1938	Bouhmama Altitude:1150m Période:1970-2000
Janvier	50,3	36	36,3
Février	45,3	41	35,8
Mars	62,6	62	42,4
Avril	39,4	43	30,9
Mai	41,3	53	34,3
Juin	41,1	40	24,0
Juillet	11,4	16	17,7
Août	17.2	17	20,9
Septembre	29,7	30	34,6
Octobre	19,3	30	29,8
Novembre	45,9	48	42,4
Décembre	34.2	36	33,2
Total P (mm)	451,3	452	382,3

En ce qui concerne le régime saisonnier des précipitations**,** il est connu que dans un climat continental le déficit hydrique est un élément décisif pour le maintient de la végétation. La moyenne des précipitations reste une notion aléatoire et purement indicative car la répartition saisonnière de la pluviométrie est plus intéressante à considérer que la quantité d'eau qui tombe annuellement

Si on considère la répartition des pluies par saison, le tableau 2.2 précisant le régime saisonnier moyen indique que les précipitations sont assez conséquentes au printemps. Le maximum de pluviométrie tombe au mois de mars pour les 2 stations, suivi par une saison estivale sèche caractérisée par des pluies souvent brèves à caractère orageux. Le déficit hydrique est très accentué.

En Automne, il y a reprise progressive des pluies avec un maximum au mois de Novembre.

En hiver, les pluies continuent de tomber. Elles sont généralement de faibles intensités et réparties sur une assez longue durée. A cette époque, les sommets reçoivent déjà les premiers flocons de neige.

L'analyse du régime saisonnier laisse conclure que les 2 stations appartiennent à un régime saisonnier du type PHAE. Le gradient de pluviosité décroît du Nord vers le Sud.

Tableau 2.2 : Répartition saisonnière des précipitations (mm)

Saison / Station	Foum El Gueiss		Bouhmama
	1983-2001	Seltzer 1914-1938	
Hiver (Déc, Jan ,Fév)	129.8	113	105,3
Printemps (Mar, Avr, Mai)	143,3	158	107,6
Eté (Jui, Juil, Août)	69,7	73	62,6
Automne (Sep, Oct, Nov)	108,5	108	106,8
Total	451,3	452	382,3

2.3.2 Températures

Parmi les facteurs limitant la présence et la répartition des espèces forestières, la température est l'un des éléments le plus déterminant dans la caractérisation de la végétation. Chaque espèce présente un seuil minima ou maxima qui lui permet de se maintenir en vie. Au-delà de ces limites la survie de l'espèce peut être compromise.

Globalement, les massifs de Ouled Yakoub et des Béni-oudjana évoluent dans des limites de températures moyennes annuelles allant de 13,6 à 14,9 °C (tableau 2.3). Le régime thermique est relativement homogène. L'hiver est rigoureux comme en témoignent les moyennes mensuelles de températures. Le mois de Janvier est le mois le plus froid, alors que la température du mois le plus chaud (Juillet - Août) dépasse les 30 °C. La station de Foum El Gueiss est légèrement moins froide (9,3°C) que celle de Bouhmama (7,2°C).

L'amplitude thermique qui marque le degré de continentalité est beaucoup plus accentuée au niveau de ce secteur. Cette continentalité du climat se traduit par de fortes chaleurs alternant avec des froids rigoureux. Dans ce type de climat, les aspects continentaux et montagnards se manifestent par de brusques variations saisonnières de températures

2.3.3 L'enneigement

En moyenne le massif reçoit moins de 30 jours de neige par an répartis en hivers et au printemps. Le manteau neigeux ne subsiste pas longtemps. Il est beaucoup plus précaire dans la pinède. Par contre, en pleine montagne au niveau de la cédraie, le manteau neigeux plus épais en raison de l'altitude et du relief du massif peut subsister assez longtemps et dans certains endroits plus frais, il se maintient jusqu'à la fin du printemps.

Tableau 2.3 : Températures minimales (m) maximales (M), moyenne et amplitudes thermiques (M-m) des stations de Foum El Gueiss et de Bouhmama

Précipitations	Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	Moy. Ann.
Foum El Gueiss	m	1,1	2,3	3,2	5,6	10,9	15,1	18,5	18,5	14,9	9,2	6,6	5,4	9,27
	M	9,7	9,4	14,9	17,1	24,3	29,6	32,7	31,1	27	20,9	16,1	14,4	20,6
	(M+m)/2	5,4	5,85	9,05	11,35	17,6	22,35	25,6	24,8	20,95	15,05	11,35	9,9	14,9
	M-m	8,6	7,1	11,7	11,5	13,4	14,5	14,2	12,6	12,1	11,7	9,5	9	11,3
Bouhmama	m	-1,0	-0,4	1,4	5,0	9,5	12,9	15,3	17,2	13,0	8,4	3,7	1,2	7,2
	M	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
	(M+m)/2	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
	M-m	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

2.3.4 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

L'indice xérothermique de Bagnouls et Gaussen qui définit un mois sec comme étant un mois ou la pluviosité est égale ou inférieure au double de la température P (mm) $\leq$ 2 T(°C), montre qu'à Bouhmama, la saison sèche est nettement plus importante que celle de Foum El Gueiss. Celle- ci commence mi - Mai et se termine pratiquement mi- Octobre, soit un mois d'écart entre les secteurs (Fig.2.4)

2.3.5 Situation de la Pinède dans le climagramme d'Emberger

Pour situer la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger, nous avons procédé à des extrapolations des valeurs de pluviométries et de températures relevées dans la station de Foum El Gueiss pour le versant Nord et celle de Bouhmama pour le versant Sud du massif. Les caractéristiques bioclimatiques des deux sites sont résumées dans le tableau 2.4.

Tableau 2.4 : Caractéristiques bioclimatiques des deux stations

Station	P(mm)	M	m	Q_2	Etage
Foum EL Gueiss	451,.3	32,7°	1,1°	48,9	Semi-aride frais
Bouhmama	382	39,7°	-1,°	38,6	Semi-aride froid

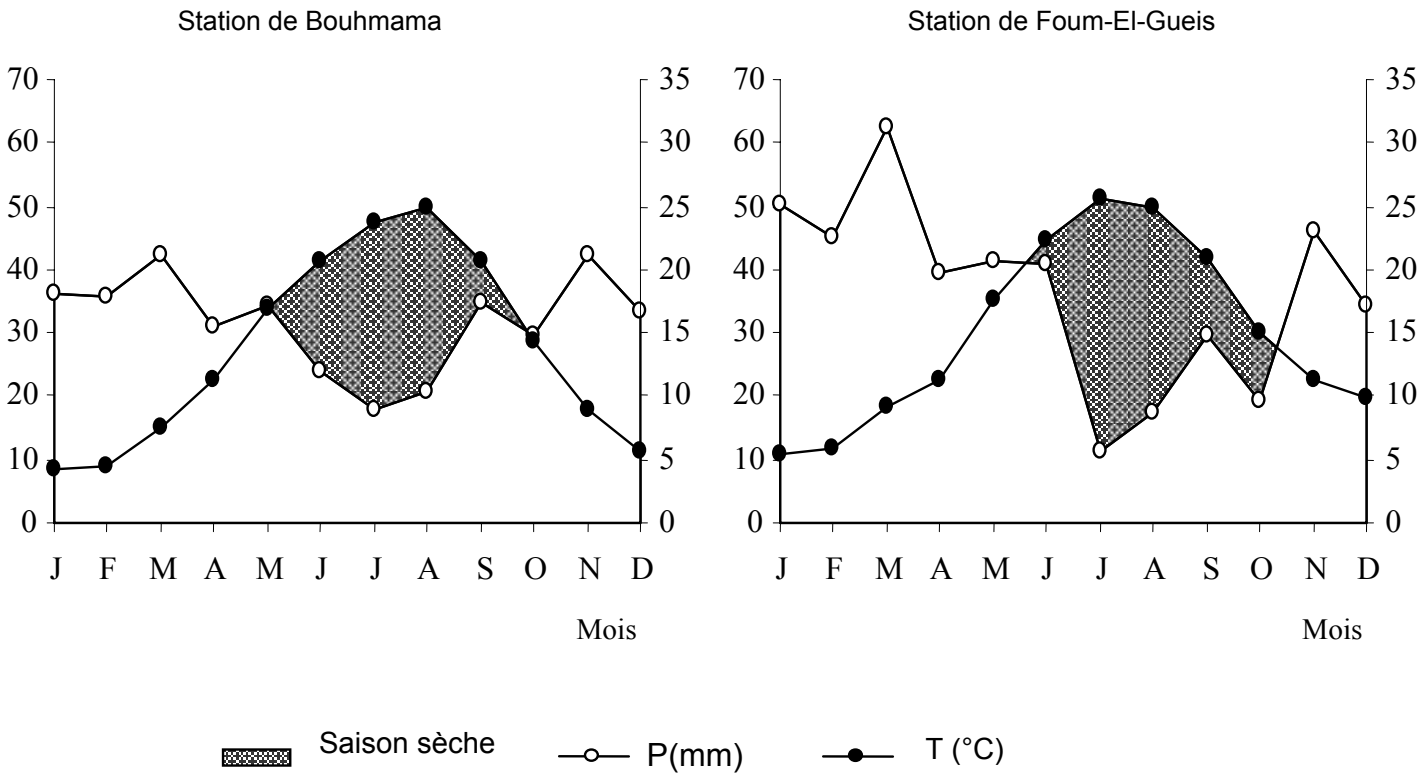


Fig 2.4 : Diagrammes ombrothermiques

Ces extrapolations de valeurs sont effectuées suivant un gradient altitudinal de 100 m de dénivelé, calculé sur la base de – 0,7°C pour le maxima M et de – 0,45 °C pour le minima m (tableau 2.5).

Tableau 2.5 : Evaluation du Q_2 en fonction de l'altitude

Altitude (m)	Versant Sud					Versant Nord				
	m	M	P	Q_2	Etage	m	M	P	Q_2	Etage
1050	-0,55	33,6	362	36,4	Sa	0,55	31,8	500	54,8	Sh
1100	-0,78	33,3	372	37,5	Sa	0,33	31,5	520	57,2	Sh
1200	-1,23	32,6	392	39,8	Sa	-0,12	30,8	560	62,1	Sh
1300	-1,68	31,9	412	42,2	Sa	-0,57	30,1	600	67,1	Sh
1400	-2,13	31,2	432	44,5	Sa	-1,02	29,4	640	72,1	Sh
1500	-2,58	30,5	452	46,9	Sa	-1,47	28,7	680	77,3	Sh
1600	-3,03	29,8	472	49,4	Sa	-1,92	28,0	720	82,5	Sh

En ce qui concerne la pluviosité, le gradient pluviométrique croit de 20 mm tous les 100 mètres d'altitude sur versant Sud et de 40 mm sur versant Nord (Seltzer ,1946).

Sur cette base, nous avons donc évalué les différents quotients Q_2 pour des altitudes allant de 1050 m à 1600 m et déterminé ainsi les limites bioclimatiques de la pinède.

Ces données, montrent que celle ci qui évolue dans une tranche altitudinale allant de 1000 jusqu'à plus 1580 m reçoit jusqu'à plus de700 mm d'eau par an sur le versant Nord. Cependant, c'est entre 350 et 700 mm d'eau par an qu'elle présente son développement optimal (Quezel, 1986).

Le climagramme d'Emberger établi (fig 2.5) montre en effet que la majeure partie de la pinède se situe dans l'étage sub-humide à hiver froid, ceci s'explique probablement par son exposition Nord à Nord-Ouest qui est beaucoup mieux arrosée.

Ces observations rejoignent les observations faites par Quezel (1986) qui précise que le groupe halepensis se développe non seulement dans les étages thermo et méso méditerranéen à des altitudes qui varient de 0 à 1400 m mais occupe aussi l'étage supraméditérrannéen à plus de 2000 m dans le cas des Aurès et à plus de 2600 m dans le haut Atlas Marocain.

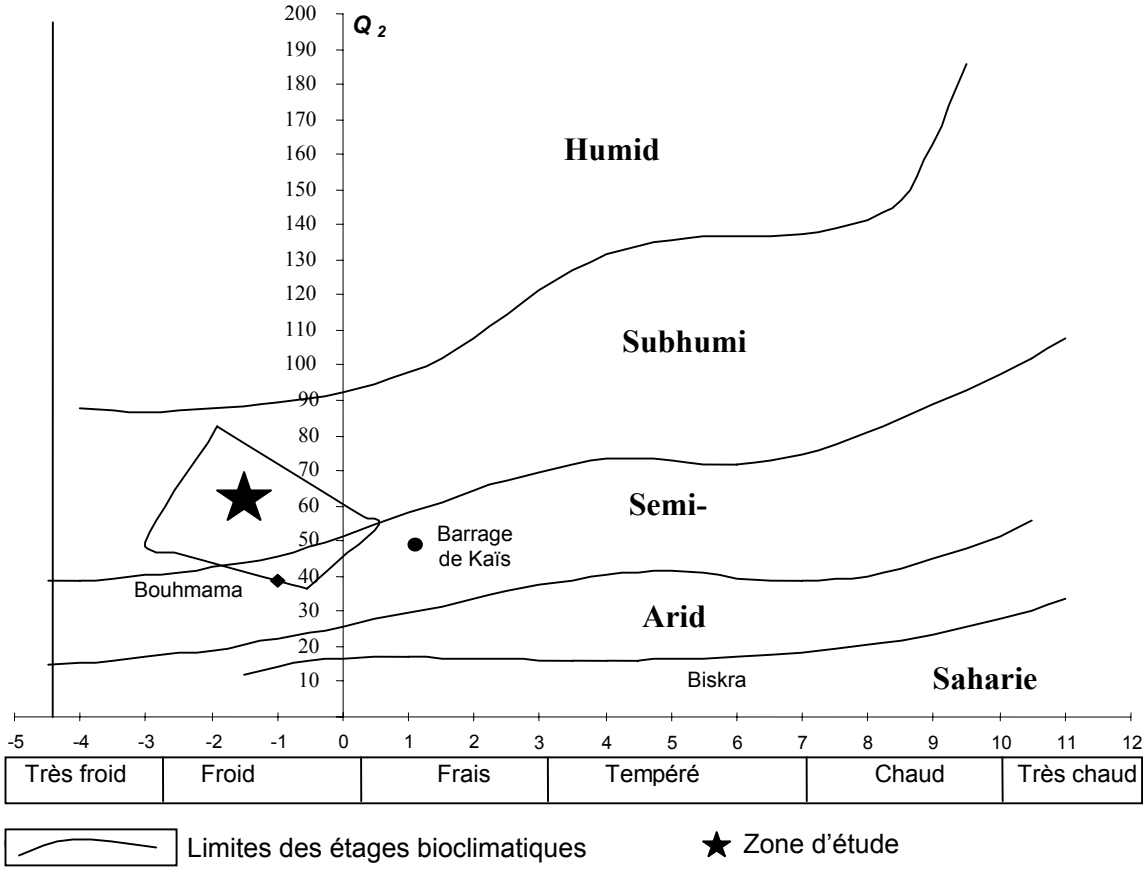


Fig.2.5 : Climagramme d'Emberger

2.3.6 Autres indices climatiques

D' autres indices empiriques aussi importants que ceux évoqués peuvent être utilisés pour apprécier les aptitudes d'une région où d'une station à la production potentielle. Parmi ces indices on cite :

2.3.6.1 L'indice de xéricité ou indice de sécheresse estivale

Appelé aussi indice d'Emberger – Giacobbe, il est déterminé par la relation

$$S=\frac{PE}{M}$$ (Daget,1993).

Cet indice caractérise le degré de sécheresse de l'été par le rapport de la pluviométrie estivale en mm (PE) à la moyenne des maxima (M) du mois le plus chaud.

En région méditerranéenne, un été est considéré comme sec lorsque le quotient de sécheresse estivale est égal ou inférieur à 5. Cette valeur permet de séparer les climats méditerranéen des climats océaniques.

Emberger (in Daget ,1993) estime que ce même quotient est applicable aussi pour des données mensuelles et définit un mois sec pour lequel ce même quotient est inférieur ou égal à 5.

2.3.6.2 L'indice d'aridité de De Martonne (Im)

Cet indice est exprimé par la formule

$$\mathrm{Im}=\frac{P(mm)}{T°C+10}$$ (Pouget,1980)

où

P = Pluviosité annuelle moyenne

T = Températuire annuelle moyenne

2.3.6.3 Indices de continentalités pluviale et thermique

Ces 2 indices utilisés par Daget (1977 a et b) dans la caractérisation du climat méditerranéen sont représentés par :

- **L'indice de continentalité pluviale** (*C*) qui mesure le rapport des précipitations des six mois les plus chauds aux six mois les plus froids. Ce rapport représente le degré moyen de continentalité pluviale.

L'indice de continentalité thermique (k') représenté par formule

$$k' = \frac{1,7A}{\sin(\varphi+10+9H)}$$ *A = amplitude thermique moyenne annuelle en °C ;*

φ = latitude géographique du lieu en degré d'arc ; *H = altitude en kilomètres*

Cet indice caractérise la concentration estivale de la température et mesure le degré de continentalité thermique. Il varie de 0 à 100. Un climat est dit continental ou semi-continental lorsque la valeur de K' dépasse 25 (k'> 25).

Les valeurs des différents indices climatiques calculés pour les 2 massifs sont résumées dans le tableau 2.6

Tableau 2.6 : Indices climatiques des 2 stations étudiées

Station	Latitude	Im	K'	C	S	Q_2
Foum El Gueiss	35° 30'	18,1	23,8	0.60	2,.23	48,9
Bouhmama	35°19'52''	16,2	26,5	0,73	2,01	38.6

2.4 VEGETATION

Le dernier aménagement effectué par le B.N.E.F (1984) fait état d'une superficie totale de 43.098,22 hectares occupée en grande partie par des peuplements de pin d'Alep dont 9251,96 hectares dans la forêt de Ouled Yakoub et 7867,92 hectares dans les Béni-Oudjana. Le reste de la forêt étant occupé par un maquis à dominance de chêne vert (15.254,24 ha) et des terrains agricoles avec 7386,69 hectares.

En partant des considérations d'ordres orographiques, climatiques et géologiques, nous distinguons 2 grands ensembles séparés par le synclinal de la vallée de Tamza. Les paysages propres à ces deux ensembles présentent un contraste au niveau de la physionomie de la végétation qui évolue en fonction du substrat géologique (grés et calcaire-dolomitique pour la cédraie ; calcaire et marne au niveau de la pinède).

Le premier ensemble situé au Nord - Est du massif de Ouled Yakoub est composé principalement par le cèdre de l'atlas avec une superficie de 3327,46 hectares occupant la zone la plus humide de la région. Le gradient altitudinal détermine un étagement végétal constitué successivement par des pelouses de hautes montagnes à plus de 2000 m d'altitude. A ce niveau, le froid et le vent limitent le développement du cèdre. Vient ensuite la cédraie claire entre 1800 et 2000 m d'altitude qui se caractérise tantôt par des peuplements bien venants par endroits conduisant à une densité assez importante des tiges, tantôt par des arbres âgés et dépérissants localisés surtout dans les escarpements du relief à forte pente où le taux de régénération est quasiment nul. Le substrat est variable allant du grés au dolomie gréseuse. Dans les bas fonds, des individus isolés de cèdre côtoient le pin d'alep.

Dans les stations plus fraîche, sur le flanc des oueds, on peut rencontrer quelques pieds d'If (*Taxus baccata)* en mélange avec l'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum)* et le sorbier (*Sorbus aria*). Par contre, Le frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha)* plus fréquent, se présente sous un aspect buissonnant en raison du broutage intensif qu'il subit constamment.

A moins de 1600 m d'altitude, on retrouve une cédraie claire à dominance chêne vert constituant un taillis dense en mélange avec d'autres espèces tel que le Diss *(Ampelodesma mauritanica),* le Genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus)* et l'Alfa (*Stipa tenacissima)* sur versant Sud.

Dans cet ensemble, l'individualisation des groupements végétaux n'a pas été défini, mais, selon Abdessemed, (1981) et M'hirit, (1982). l'association caractéristique pour une cédraie mixte de l'étage méditerranéen montagnard est celle du *Cedreto-Quercetum illicis*, l'ordre *Querco-Cedretalia atlanticae)* qui évolue dans un bioclimat humide frais et froid entre 1500 et 2200 m d'altitude

Sur les versants Sud-Est de ce massif à cèdres, s'étale la partie la plus méridionale qui prolonge une pinède assez dégradée, claire avec prédominance de l'alfa et qui constitue le dernier rempart avant l'apparition de la steppe dans la dépression d'Outa El Mouroudj.

Le second ensemble, est propre au pin d'Alep, et occupe une superficie totale de 17119,88 hectares répartis sur les 2 massifs de Ouled Yakoub et des Béni Oudjana. L'altitude varie de 1000 à 1600 m. Cet ensemble comporte une pinède d'âge moyen de 70 ans environ, bien venante et dense dans sa partie Nord avec une structure uniforme, écologiquement homogène représentant ainsi un véritable climax. Cette pinède évolue dans sa majorité sur substrat marneux et marno-calcaire.

En lisière, une strate arbustive s'individualise en un véritable manteau bien représenté par des espèces xérophiles et calcicoles. Le sylvo faciès conduit et contrôlé par des coupes rases a favorisé l'extension et la croissance du chêne vert qui a envahit toute la zone (Fig 2.6).

Fig 2.6 : chêne vert envahissant sur versant Nord-

Dans les stations fraîches, le chêne vert est très présent sous forme de taillis. On y rencontre aussi le Diss (*Ampelodesma mauritanica)*, la fillaire (*Phyllaria angustifolia*), le romarin (*Rosmarinus officinalis)* et la globulaire *(Globularia alypum)*

En longeant le massif vers le Sud-est, les peuplements de pin d'Alep en relation avec le degré de continentalité deviennent plus clairs par endroits. La strate arbustive est peu recouvrante et le chêne vert se raréfie (Fig 2.7)

Fig 2.7 : strate arbustive peu recouvrante

Les conditions climatiques plus sèches freinent la croissance du pin d'Alep et c'est plutôt le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus)* et l'alfa *(Stipa tenacissima)* qui prennent le relais. (fig 2.8)

Fig 2.8 : Peuplements dégradés de pin d'Alep sur versant sud

CONCLUSION

La zone d'étude est constituée principalement, à plus de 70 % par du pin d'Alep et du chêne vert. Le Cèdre de l'Atlas quant à lui occupe moins de 8 % de la superficie totale.

Le substrat est variable, de type marneux et marno-calcaire pour la pinède et grés et dolomies pour le cèdre de l'Atlas.

Le climat de la zone est assez contrasté. Il se caractérise par une saison estivale longue, sèche et chaude et des années moins arrosées de plus en plus nombreuses.
(S<5 ; C<1 et K'>25) Les précipitations sont en général faibles et irrégulières et le gradient de pluviosité diminue du Nord vers le Sud. Le printemps est la saison la plus pluvieuse.

Du point de vue bioclimatique, la majeure partie de la pinède présente une orientation Nord et Nord-Ouest se situe dans l'étage sub-humide à hiver froid. Les versants Sud quant à eux se caractérisent par un ensoleillement prolongé et un déficit hydrique accru. Il s'agit en fait d'un climat continental soumis à l'influence des facteurs géographiques tels l'altitude, le degré de continentalité et l'orographie conditionnant fortement le régime des précipitations. Le régime thermique paraît relativement homogène pour les 2 secteurs qui présentent un hiver froid et rigoureux et un été chaud et relativement sec.

CHAPITRE 3 : LA DETERMINATION DU VOLUME DES ARBRES ABATTUS

INTRODUCTION

L'une des caractéristiques importantes d'un peuplement forestier que le sylviculteur désire connaître avec précision est sa production de bois (Garbaye et al, 1970). Cette production, en terme sylvicole correspond au volume de l'arbre avec ou sans les branches. Le volume est évalué à partir des méthodes de cubage utilisant des caractéristiques simples telles que les diamètres (ou les circonférences) et les hauteurs mesurées sur des arbres bien choisis et répartis de la façon la plus représentative des milieux de croissance.

Un arbre peut être cubé sur pied ou après abattage et son volume est déterminé à partir de formules basées sur la mesure des caractéristiques prises à des découpes choisies à des hauteurs absolues fixées à priori sur la tige (Palm, 1981et1982).

Les méthodes utilisées à cet effet sont nombreuses et diffèrent les unes des autres par le nombre de mesures réalisées sur chaque découpe.

Ce chapitre est consacré à l'étude et à l'importance du choix de la méthode de cubage pour le pin d'Alep et à l'influence de la longueur de la découpe sur l a précision du volume.

3.1 METHODES DE CALCULS DES VOLUMES DES ARBRES ABATTUS

Selon sa forme, l'arbre peut être assimilé à un type dendrométrique donné: Cylindre, tronc de paraboloïde, tronc de cône ou tronc de néloide (HUSCH,1972; PARDE et BOUCHON,1988 ;RONDEUX,1993). La détermination de ces volumes nécessite la réalisation de mesures des hauteurs et des diamètres extrêmes à la base et au sommet de la tige.

Ces solides géométriques sont engendrés par la rotation d'une courbe plane ayant pour équation :

$$y^2 = pX^n$$

avec y = rayon, p = facteur de proportionalité,

X = distance du sommet à la base, n = paramètre de forme

En fonction de la valeur que peut prendre le paramètre de forme *n* (fig.3.1), on définit ainsi les équations qui correspondent à ces différents types dendrométriques :

n = 0 => cylindre $V = \frac{\pi}{4} d_o^2 H$ n = 1 => paraboloide $V = \frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{4} d_o^2 H\right)$

n = 2 => cône $V = \frac{1}{3}\left(\frac{\pi}{4} d_o^2 H \right)$ n = 3 => néloide $V = \frac{1}{4}\left(\frac{\pi}{4} d_o^2 H \right)$

Avec : v = volume de la tige (m^3), d_o = diamètre à la base (m), h = hauteur (m)

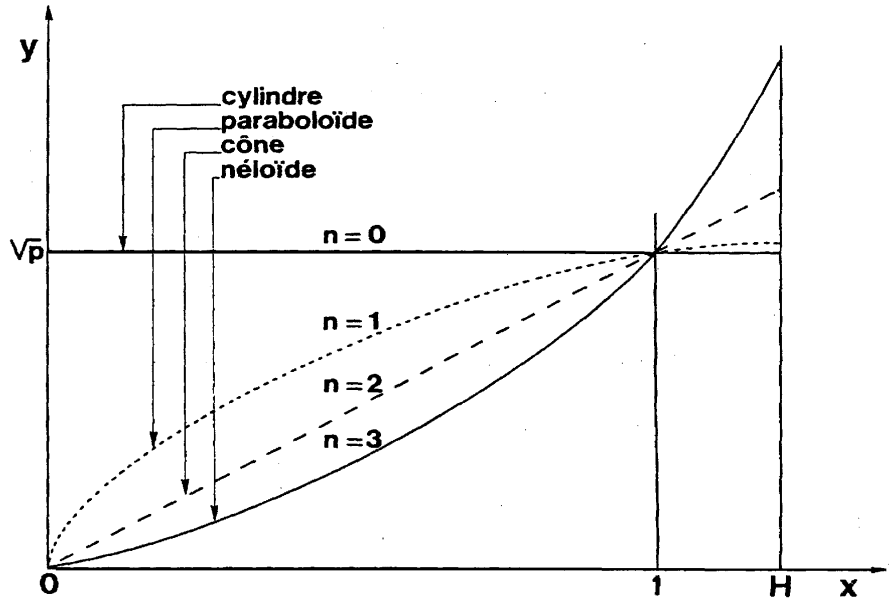


Fig 3.1 : Matérialisation des différents types dendrométriques utilisés pour le cubage des arbres (Rondeux,1993)

Dans le cas général, le cubage d'un arbre entier, par la formule du Huber : $V = \frac{\pi}{4} d_m^2 h$ pour la seule mesure du diamètre médian donne lieu à un volume exact pour le cylindre et le tronc de paraboloïde, alors qu'elle sous estime le tronc de cône et le tronc de néloide.

La formule de Smalian $V = \frac{\pi h}{8}\left(d_O^2 + d_S^2 \right)$ qui prend en compte les mesures des diamètres extrêmes de la tige est exacte dans les cas du cylindre et du tronc de paraboloïde, par contre, elle surestime le volume du cône et du néloide.

Si l'arbre est cubé par la formule du tronc de cône $V = \frac{\pi h}{12}\left(d_O^2 + d_S^2 + 4\, d_O\, d_S \right)$, celui ci est exact dans le cas du cylindre. Il est par contre surestimé dans le cas du tronc de néloide et sous estimé pour le tronc de paraboloïde.

Enfin, si l'arbre est cubé par la formule de Newton/Simpson $V = \frac{\pi h}{24}\left(d_o^2 + d_s^2 + 4\, d_m\right)$ sur la base de mesures des diamètres extrêmes et du diamètre médian de la tige, celle ci ne montre aucun biais pour les 4 solides géométriques cités. (tableau 3.1.)

Tableau 3.1 : Valeurs des estimations fournies par les différentes formules de cubage pour diverses formes géométriques (Rondeux, 1993)

Formules	HUBER	SMALIAN	TRONC DE CÔNE	NEWTON/ SIMPSON
Nombres de mesures	1	2	2	3
Variables (*)	dm	do, ds	do, ds	do, dm, ds
Cylindre	Exacte	Exacte	Exacte	Exacte
Tronc de paraboloïde	Exacte	Exacte	Sous estimée	Exacte
Tronc de cône	Sous estimée	Surestimée	Exacte	Exacte
Néloide	Sous estimée	surestimée	surestimée	Exacte

(*) do, ds et dm représentent respectivement les diamètres de la section à la base, au sommet et au milieu et h la longueur du billon.

Cependant, l'arbre entier ne peut être assimilé à un type dendrométrique donné en raison des importantes irrégularités de sa forme (Palm, 1981). Les formules citées plus haut ne donnent pas une précision acceptable pour le volume de l'arbre entier, c'est la raison pour laquelle, il est nécessaire de diviser la tige en un certain nombre de billons pour permettre de définir avec précision la forme de l'arbre.

En général, un grand nombre de mesures de circonférences ou diamètres permet de définir avec précision la forme de l'arbre (Bouchon, 1974 ; Cailliez, 1980 ; Courbet, 1991 ; Fonweban 1997 ; Palm, 1981; M'hirit et Postaire, 1981; Pardé, 1981; Rondeux, 1973 et 1985).

L'hypothèse des billons tronc de cône est la plus satisfaisante et pratique dans le calcul du volume. Cette hypothèse est d'ailleurs confirmée par Palm (1981) dans une étude sur le cubage de 150 frênes mesurés à partir de billons de longueur de 50 cm jusqu'à une hauteur de 10 mètres et de mètre en mètre au-delà.

L'arbre est ainsi décomposé en une succession de billons à différentes découpes de hauteurs absolues fixées à priori. Au niveau de chaque découpe, des mesures de diamètres ou de circonférences sont faites. Les billons sont ensuite cubés séparément par l'une des formules mentionnées ci dessus.

Cette précision dépend aussi de l'importance de la longueur du billon à cuber. En effet plus le nombre de billons est élevé, meilleure est la précision du volume et inversement.

La réduction du nombre de mesures tend à surestimer la partie supérieure de l'arbre, alors que la partie inférieure est sous-estimée dans le cas de la formule de Huber. Au contraire, la diminution du nombre de mesures dans le cas de la formule de Smalian ou du tronc de cône donnent lieu à des valeurs plus élevées à la base et au sommet.

3.2 MATERIEL ET METHODE

A la suite des exploitations effectuées dans les massifs de Ouled yagoub et des Béni-oudjana, 150 pins d'Alep sont abattus et cubés par billons successifs.

Pour chaque arbre abattu, les diamètres sont mesurés de 25 en 25 cm sur les deux premiers mètres et de 50 en 50 cm jusqu'à une découpe de 7 cm au fin bout.

A partir de ces données, Les billons ont été cubés par les 4 formules suivantes: Huber, Smalian, Cône tronqué et Newton/Simpson. Le volume du dernier billon est assimilé à un cône. Les écarts absolus et relatifs des volumes observés correspondent aux différentes découpes en hauteurs fixées. Ces écarts représentent des valeurs de référence qui permettent de comparer les méthodes entre elles par rapport au volume de référence moyen calculé à partir des 4 formules.

Ensuite, pour chaque méthode de cubage, nous avons recherché la précision des résultats obtenus à partir du nombre de mesures effectuées sur l'arbre. Les billons ont été cubés à différentes longueurs suivant 3 modalités. (Palm , 1981). (fig 3.2). Les écarts sont calculés par rapport à la modalité de référence de chacune des méthodes utilisées.

- Modalité de référence: Cubage des billons de 50 cm de longueur sur les 2 premiers mètres, puis des billons de 1 m au-delà.
- 1ère modalité : Cubage des billons de 1 m de longueur pour les 2 premiers mètres, puis des billons de 2 m au-delà.
- 2ème modalité : Cubage d'un billon de 2 m de longueur à la base puis des billons de 3 m au-delà.
- 3ème modalité : Cubage d'un billon de 2 m de longueur à la base, puis des billons de 4 m au-delà.

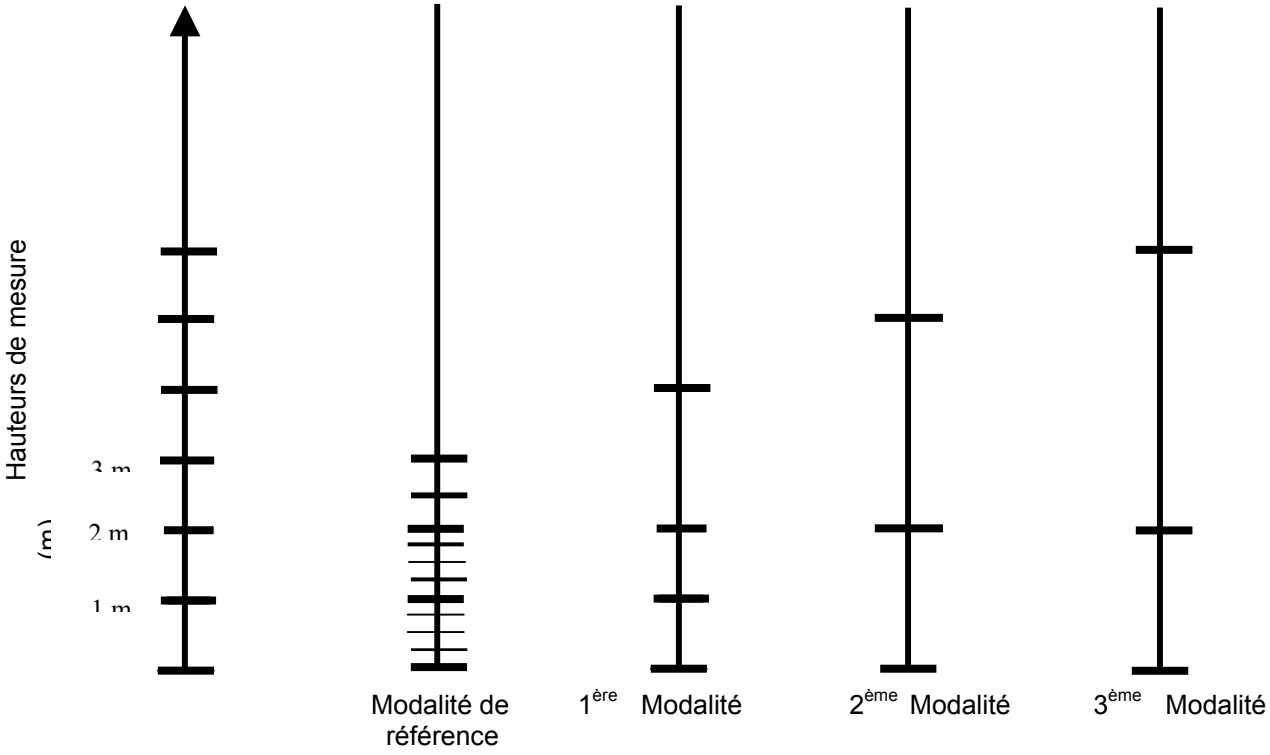


Fig 3.2 : Hauteurs de mesure pour les différentes modalités

La répartition des arbres échantillonnés en fonction du diamètre à 1,30 m ($d_{1,30}$ m) et de la hauteur du bois fort (H_{bf}) est indiquée dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2 : Répartition des arbres en fonction de leur diamètre à 1,30 m et de leur auteur du bois fort.

Diamètre à 1,30m (cm)	Hauteur (m)													Totaux
	7,0 à 7,9	8,0 à 8,9	9,0 à 9,9	10,0 à 10,9	11,0 à 11,9	12,0 à 12,9	13,0 à 13,9	14,0 à 14,9	15,0 à 15,9	16,0 à 16,9	17,0 à 17,9	18,0 à 18,9	19,0 à 19,9	
15 à 19,9	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
20 à 24,9	-	1	5	5	4	2	1	1	-	-	-	-	-	19
25 à 29,9	1	1	3	12	10	5	2	1	1	-	-	-	-	36
30 à 34,9	-	1	2	2	4	6	4	4	1	-	2	-	-	26
35 à 39,9	-	-	-	1	7	10	5	8	4	2	-	-	-	37
40 à 44,9	-	-	-	-	-	4	6	4	1	1	-	2	-	18
45 à 49,9	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	3	-	-	6
50 à 54,9	-	-	-	-	-	1	-	1	1	1	-	1	1	6
55 à 59,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Totaux	1	4	10	20	25	28	19	19	10	4	5	4	1	150

3.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.3.1 Comparaison des méthodes de cubage

Les résultats obtenus par les 4 méthodes de cubage ne montrent pas de grands écarts, surtout dans la partie de l'arbre située à moins de 12 m. A cet hauteur, L'écart relatif constaté pour les 4 méthode est de l'ordre de $\pm$ 1% (fig3.3).

Cette réduction montre en effet qu'il y a une décroissance faible dans la partie inférieure et médiane du pin d'Alep égale à 2.3 cm/m en moyenne .

La formule de *Huber* aboutit à un volume sensiblement inférieur à celui obtenu par les autres méthodes. Elle donne un volume total cumulé de 708,24 dm^3 (-0,41%) pour une découpe de 17 m de hauteur, alors que celle la formule de *Smalian* produit le volume le plus élevé à la même découpe, égal à 714,07 dm^3 correspondant à un écart de +0,41%. Par contre, le cubage des billons par les formules du *cône tronqué* et de *Newton/Simpson* indiquent des résultats plus proche de la moyenne de l'ordre de 712,2 dm^3 pour la première et 710,2 dm^3 pour la seconde. Les écarts sont respectivement de +0,14% et - 0,14% (Annexe 1, tableau 3.3).

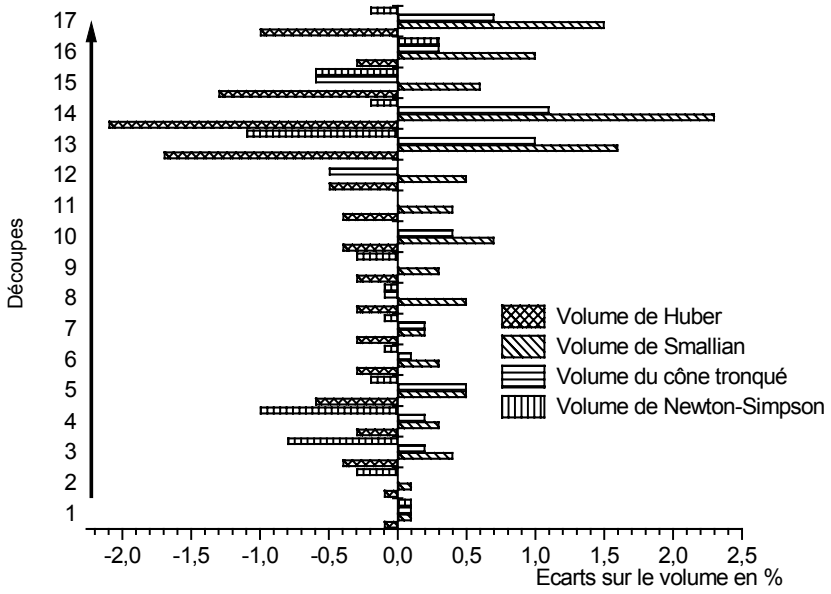


Fig 3.3: Comparaison des 4 volumes correspondnts aux différents billons

Les écarts sont beaucoup plus importants dans la partie supérieure de l'arbre qu'à la base. Mais, tout en restant non significatif, les formules de *Huber* et celle de *Newton/Simpson* sous-estiment le volume, alors que celles du *cône tronqué* et de *Smalian* le surestiment (Fig 3.4).

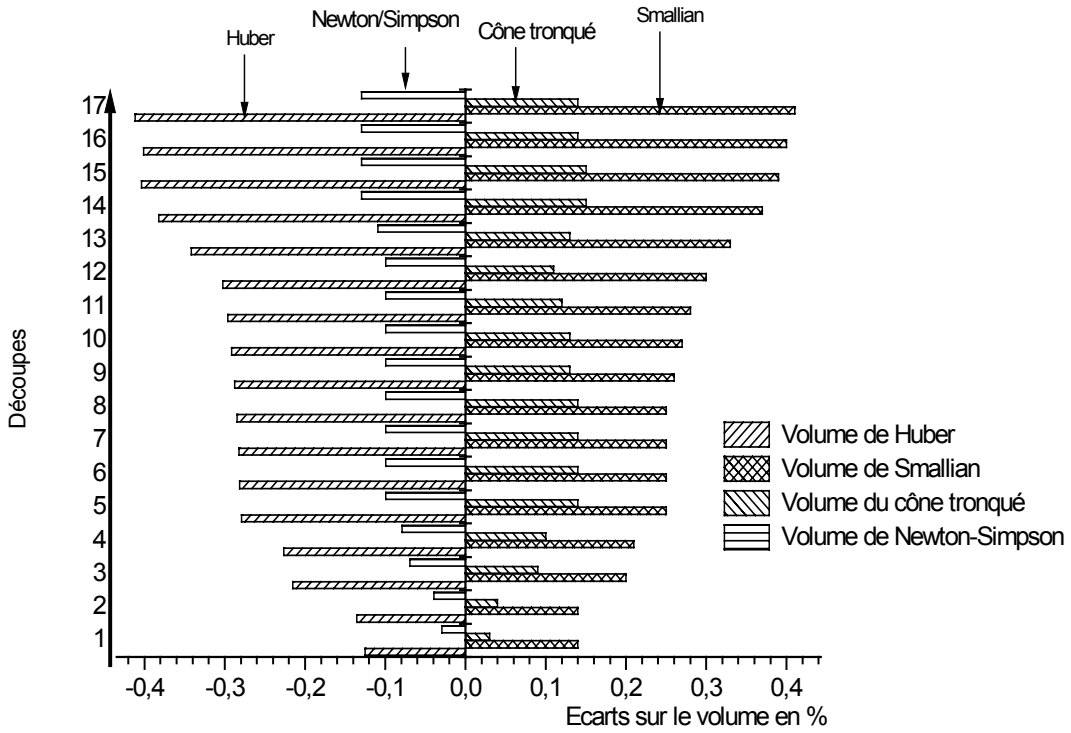


Fig 3.4: Comparaison des 4 volumes correspondnts aux différentes découpes

3.3.2 Influence de la longueur du billon

Dans le cas du cubage par la formule de *Huber*, l'augmentation de la longueur du billon donne lieu dans la partie supérieure de l'arbre à un volume légèrement en dessous de la moyenne (3^{me} modalité), alors que la partie inférieure est sous-estimée. Cette sous-estimation est beaucoup plus importante à la base de l'arbre lorsque le nombre de mesures diminue (Annexe 1, Tableau 3.4, Fig. 3.5)

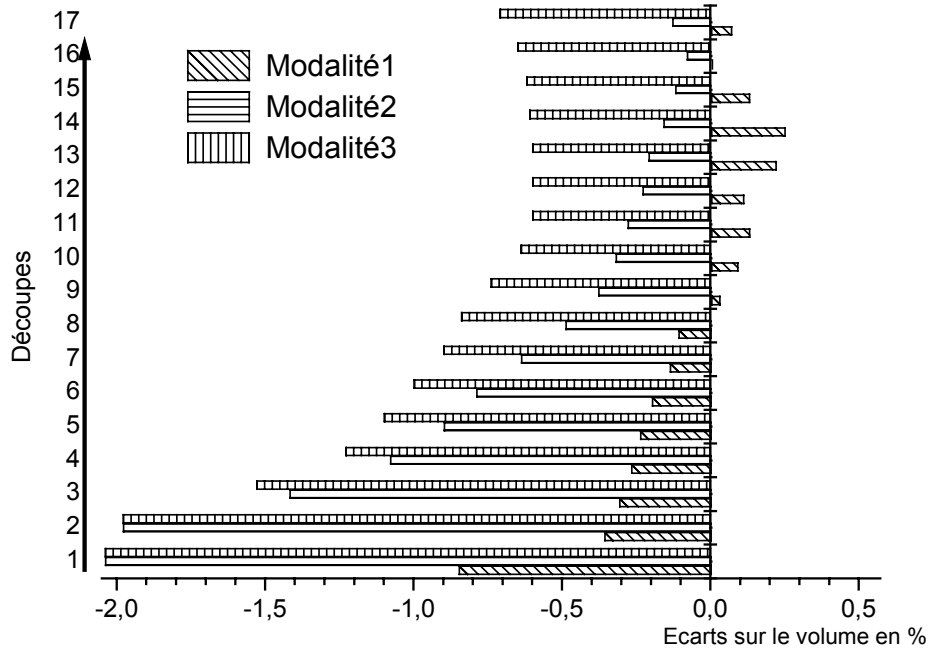


Fig 3.5 : Ecarts observés sur le volume des différentes découpes fixées en hauteur: Volume de Huber

Lorsque les billons sont cubés par la formule *cône tronqué* la diminution du nombre de mesures entache le volume d'une erreur plus importante à la base que dans la partie supérieure de l'arbre (Annexe 1, Tableau 3.5, Fig.3.6)

.

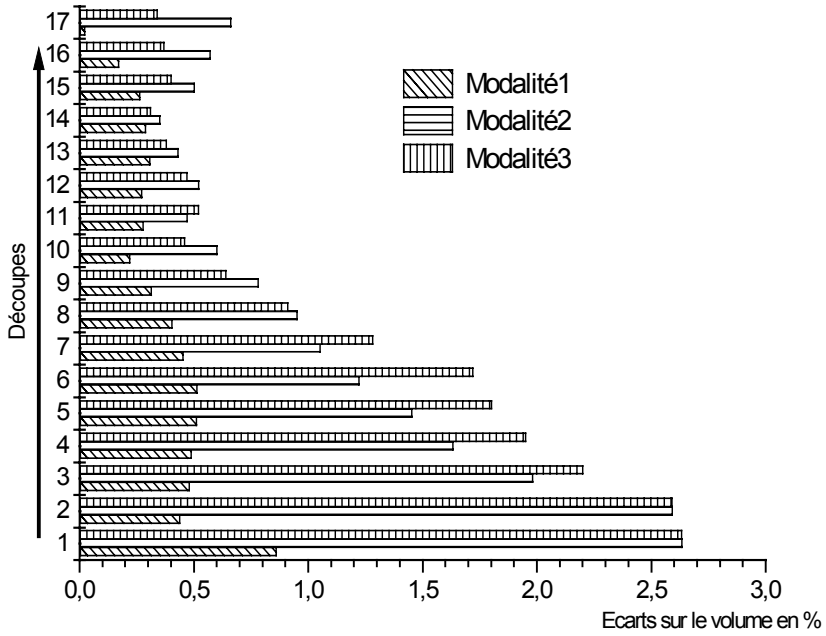


Fig 3.6: Ecarts observés sur le volume des différentes découpes fixées en hauteur:
Volume du cône tronqué

Ces erreurs sont beaucoup plus importantes dans le cas du cubage par la formule de *Smalian* qui surestiment le volume à la base et au sommet de l'arbre. L'erreur augmente avec la longueur du billon (Annexe1, Tableau 3.6, et fig.3.7).

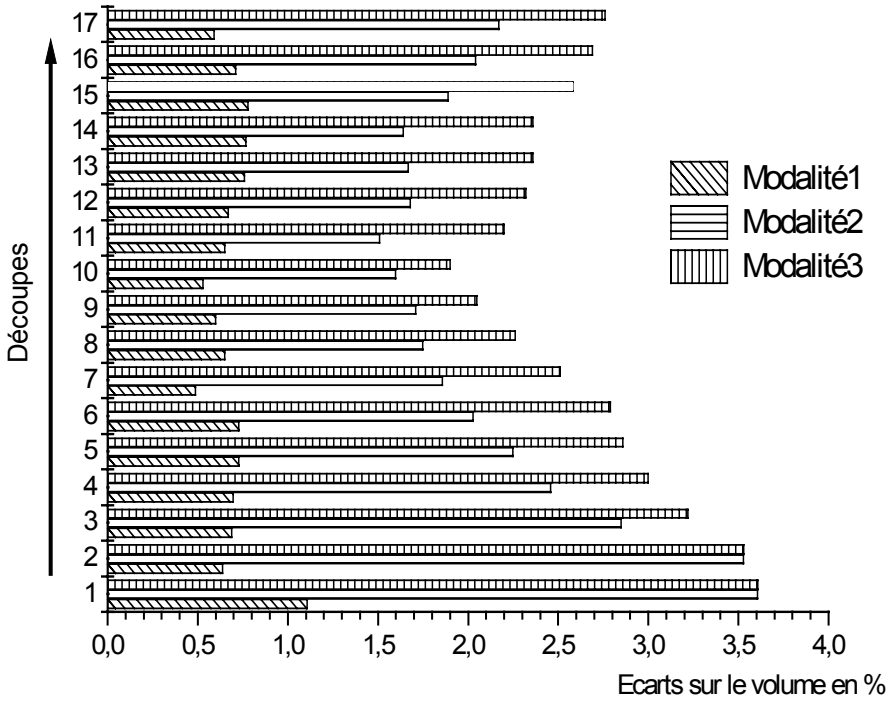


Fig 3.7: Ecarts observés sur le volume des différentes découpes fixées en haut
Volume du Smallian

Alors que le cubage par la formule de Newton/Simpson donne des valeurs plus proches du volume de référence. Les écarts sont moins importants sur les différents niveaux de l'arbre et sont inférieurs à 1 % pour les trois modalités (Annexe1, Tableau 3.7 et fig 3.8).

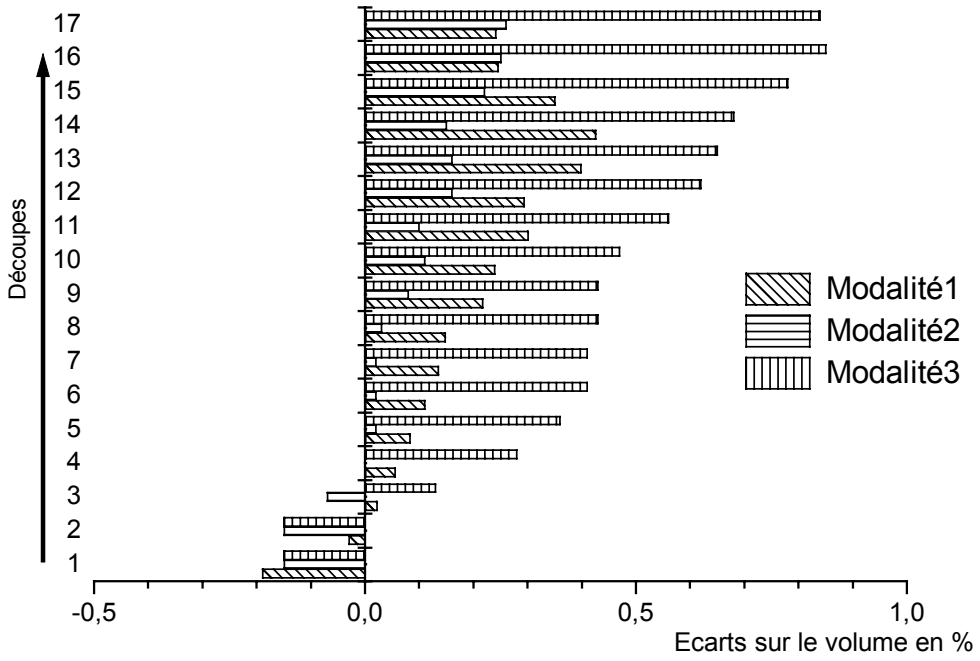


Fig 3.8 : Ecarts observés sur le volume des différentes découpes fixé
Volume de Simpson-Newton

CONCLUSION

L'étude montre d'une manière générale que la méthode de cubage et la longueur du billon influencent la précision du volume.

- Pour ce qui est de la méthode de cubage, il apparaît nettement que les différences constatées sur le volume total restent insignifiantes pour le pin d'Alep (± 0,41%).
- En ce qui concerne, la longueur du billon, Les écarts constatés sur les différentes parties du fût, augmentent avec l'intervalle entre 2 mesures successives pour l'ensemble des méthodes. La formule de *Newton/Simpson* semble relativement moins influencée par l'augmentation de la longueur du billon. Elle conduit à un volume relativement plus précis. Toutefois la formule de Huber simple d'utilisation conviendrait mieux au cubage du pin d'Alep pour des billons de 1 mètre sur les 2 premiers mètres et pour des billons de 2 mètres au delà. L'expérimentation a montré en effet que l'écart le long de l'arbre est inférieur à -1 % .

CHAPITRE 4: LES TARIFS DE CUBAGE

INTRODUCTION

Le souci majeur d'un forestier ou d'un sylviculteur est d'arriver à une évaluation précise de la production d'un peuplement forestier. L'estimation directe du volume par la mesure de tous les arbres est une opération difficile et longue. En pratique, cette opération porte sur un échantillon d'arbres représentatifs du peuplement ou de la forêt sur lesquels sont établies des relations du volume de ses arbres avec leur diamètre et leur hauteur appelé, tarif de cubage**.**

Pour éviter des erreurs d'interprétations, le choix des équations de cubage et la confiance qu'on peut leur accorder méritent une attention plus particulière (PALM, 1976). En ce sens que les tarifs retenus dans le calcul des volumes doivent êtres explicités par le mode d'échantillonnage des arbres et par les critères de précision qui doivent l'accompagner.

Par ailleurs, pour une gestion forestière à grande échelle, une appréciation approchée et rapide du volume à l'hectare est indispensable. Celle ci exige en outre la connaissance des variables de peuplements nécessaires à son évaluation.

Ce chapitre vise d'une part à proposer des tarifs de cubage d'arbres choisis sur la base d'un ensemble de critères de précision basés essentiellement sur des méthodes statistiques et d'autre part, à pouvoir estimer rapidement le volume total à l'hectare des peuplements de pin d'Alep à partir des caractéristiques propres au peuplement (hauteur dominante, surface terrière. etc.)

4.1 BIBLIOGRAPHIQUE

4.1.1 Présentation des tarifs de cubage

Par définition, un tarif de cubage est un tableau chiffré, un graphique ou une formule qui donne une estimation du volume d'un arbre ou d'un ensemble d'arbres en fonction de diverses variables représentant les entrées du tarif (CAILLIEZ,1980).

Ces entrées facilement mesurables sont des caractéristiques soit de l'arbre (circonférence, hauteur totale ou hauteur du bois fort) soit du peuplement (surface terrière par hectare, hauteur moyenne ou dominante).

Au niveau de la gestion forestière, les tarifs de cubage servent surtout pour la détermination de la possibilité annuelle dans l'estimation des coupes sur pied (M'HIRIT,1981) ou bien dans la recherche forestière pour l'élaboration des modèles de sylviculture ou encore pour la construction des tables de production.

Plusieurs types de tarifs sont rapportés dans la littérature forestière (PARDE et BOUCHON, 1988; RONDEUX, 1993).

- Les tarifs à une entrée [*v = f(d)]* qui donnent le volume moyen *(v)* d'un arbre qui nécessitent la mesure d'un seul paramètre, la circonférence *(c)* ou le diamètre à 1.30m *(d)*. Ces types de tarifs peu précis sont d'une utilisation plus restreinte et localisée, car ils supposent que pour une essence donnée, le rapport hauteur – diamètre est constant. Ils sont utilisés généralement comme tarif d'aménagement pour le cubage des peuplements homogènes et le calcul de la possibilité.

– Les tarifs de cubage à 2 entrées [*v= f(d, h*)] qui nécessitent en plus du diamètre, la mesure d'une autre caractéristique de l'arbre comme la hauteur totale *(h)* ou la hauteur correspondant à une découpe donnée*(h_d)*. Ces tarifs augmentent la précision au niveau du calcul du volume d'un peuplement et sont d'usage courant.
Du fait de l'utilisation de la hauteur, ces tarifs estiment aussi le volume d'un arbre à une découpe donnée

– Les tarifs de peuplements qui donnent le volume des peuplements en fonction de leurs caractéristiques (la hauteur dominante, la surface terrière ou le nombre de tiges à l'hectare). Ces types de tarifs ont l'avantage d'éviter les calculs longs pour la détermination individuel des volumes des arbres à partir de tarifs spécifiques (RONDEUX, 1977).

– En plus des tarifs de cubage, il existe d'autres méthodes basées sur la construction du profil et de la forme de l'arbre. Cette dernière est définie analytiquement par une fonction qui décrit la relation entre le diamètre *(d)* de l'arbre et le niveau *(h)* le long de la tige. Cette fonction de défilement exprime les différentes variations de l'arbre de la base jusqu'au sommet (M'HIRIT, 1981). La connaissance d'une telle fonction permet d'une part de prédire le diamètre à une hauteur donnée et inversement et d'autre part d'estimer le volume de n'importe quelle partie de la tige.

A cela, s'ajoutent les équations de rapport de volume de forme (FONWEBAN et HOULLIER,1997). $r_d = V_d / V = f(d ,D)$ ou $r_h = V_h / V = f(h ,H)$

Avec

rd = *rapport du volume à un diamètre d sur le volume total ;* V_d *= volume jusqu'au diamètre d* (m^3)
V *= volume total* (m^3) *;* ***d*** *= diamètre de la tige à un niveau donné (cm) ;****D*** *= diamètre à 1,30m (cm) ;*
rh = *rapport du volume à une hauteur h sur le volume total ;****V****h = volume jusqu'à une hauteur h* (m^3) *;*
h *= hauteur le long de la tige (m),* $0 \leq h \leq H$ *;* ***H*** *= hauteur totale de l'arbre (m)*

Ces équations sont utilisées surtout pour estimer le volume de billons à différentes découpes exigées pour certains produits (poteaux).

4.1.2 Méthode de construction des tarifs de cubage

En général, les tarifs de cubage se différencient les uns des autres par la taille et la structure de l'échantillon. Celles ci relèvent de l'importance de la surface occupée par l'essence et de la précision souhaitée pour lesquels elles sont destinées (RONDEUX, 1993 ; Bouchon, 1974 ; Palm et RONDEUX, 1976 ; Palm, 1982 et 1983 ; M'HIRIT et POSTAIRE, 1984).

BOUCHON (1974) indique que pour une essence donnée, la taille de l'échantillon est en fonction de la zone de validité du tarif et de sa superficie approximative. Il propose de ce fait un nombre d'arbres allant de 30 à 100 pour un peuplement jusqu'à 400 arbres pour une forêt. PALM (1981) conclut que la mesure de 500 arbres est suffisante pour la construction d'un tarif de cubage.

On distingue en général trois méthodes de construction des tarifs **:**

- La méthode dite directe qui utilise le volume moyen estimé par des formules de cubages telles que mentionnée dans le chapitre 4. Ce volume moyen est déterminé par classes de grosseur (circonférence ou diamètre) pour le tarif de cubage à une entrée ou par classes de grosseurs et de hauteurs dans le cas du tarif à 2 entrées et de tracer la courbe correspondante.

- La méthode graphique ne nécessitent aucun calcul permet de tracer une courbe moyenne dans le nuage de points défini par le volume en fonction du diamètre ou de la circonférence à 1,30 m .Elle reste cependant subjective et n'est pas précise dans le calcul d'un ensemble d'arbres.

- La construction des tarifs de cubage par voie mathématique est la plus utilisée actuellement. Elle s'est développée grâce à l'utilisation de l'outil informatique. A partir des mesures effectuées sur les arbres échantillonnés, on établit des relations mathématiques ayant une bonne corrélation entre le volume de ces arbres et certains paramètres mesurables tels le diamètre ou la circonférence pour un tarif de cubage à une entrée et la mesure de la hauteur pour un tarif de cubage à 2 entrées. Les paramètres de l'équation sont estimés ainsi par la méthode des moindres carrés utilisant la régression multiple pas à pas (PALM,1981). Cette méthode reste applicable dans le cas où le nuage des résidus sont distribués normalement avec une variance constante et les volumes ne présentent pas un biais important qu'il soient positifs ou négatifs.

Cependant dans certains cas, la variance tend à augmenter avec la grosseur des arbres c'est à dire qu'elle est plus importante pour les gros arbres que pour les petits.
Pour diminuer l'hétérogénéité de cette variance, l'utilisation de la régression pondérée est fortement conseillée (CHEVROU,1988 ;COURBET, 1991). Celle ci consiste à minimiser la quantité :

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

où

S = somme des carrées des écarts pondérées

y_i *est la valeur du volume mesuré,* $\hat{y}_i$ *= la valeur du volume estimée par le tarif et* $w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$

correspond au poids des résidus (coefficient de pondération)

σ^2 *= la variance résiduelle de la régression,*

Il s'agit de calculer une variance (σ^2) pour chaque classe de diamètre *(d)* ou de diamètre *(d)* et de hauteur *(h)* (BOUCHON,1974) et de déterminer la relation $\sigma^2 = f\ (d,h)$

4.1.3 Critères de sélection des équations

Le choix de l'équation et l'estimation de ses paramètres reposent sur la précision avec laquelle le tarif est calculé. RONDEUX, (1993) fait remarquer que les modèles simples avec 2 ou 3 coefficients donnent en général de bons résultats. En se basant sur la représentation graphique, il propose des modèles du type :

V = f(d) ou f(d²) pour un tarif à une entrée ,

V= *f(d² h)* pour un tarif à 2 entrées

V = Volume de l'arbre (m³). d et h sont respectivement le diamètre(cm) à 1,30m et la hauteur de l'arbre (m).

Les critères permettant de porter un jugement sur le choix et la précision d'une équation du tarif sont en général, le coefficient de détermination *(R^2)* qui traduit la part de variation du volume *(v)* expliquée par l'équation retenue. Il représente le carré du coefficient de corrélation (*r*),

$$(1)\quad r=\frac{SPE}{\sqrt{SCEv.SCEx}}$$

Avec

SPE = somme des produits des écarts entre la variable expliquée *(v)* et les variables explicatives *(d ou d^2 h)*

SCEv = somme de carrés des écarts du volume

SCEχ =somme des carrées des écarts expliquée par l'équation

χ = variables explicatives (d ou d^2 h)

l'écart type résiduel :

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

Avec :

$\sigma_{v..x}$ = écart type résiduel

vi = volume observé

$\hat{v}i$ = volume estimé

n = nombre total des arbres et p = nombre de variables explicatives

et *χ = variables explicatives*

ou mieux encore le coefficient de variation résiduel *(CVR)* qui chiffre les fluctuations entre le volume observé *vi* et le volume calculé $\hat{v}i$ à partir de la régression. Il est de la forme (PALM et RONDEUX,1976 et Palm,1983).

$$(2')\quad CV_{v..x}=\frac{[100\sigma_{v..x}]}{\bar{v}}$$

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

$\bar{v}$ = volume moyen et χ = *variables explicatives*

Pour chiffrer la fluctuation entre les volumes observés et les volumes estimés, PALM (1981) recommande aussi l'utilisation de la moyenne quadratique des résidus absolus (sa) :

$$(3)\quad sa=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(vi-\hat{v}i\right)^2}$$

et des résidus relatifs (sr) *:* *(4)* $sr = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{vi-\hat{v}i}{\hat{v}i}\right)^2}$

Il faut cependant souligner que ces critères ne suffisent pas à eux seuls à porter un jugement fiable sur la précision de l'estimation du volume d'un arbre ou d'un peuplement et donc sur la qualité de la régression par la méthode des moindres carrés. Celle ci exige en effet que les résidus $e_i = (v_i - \hat{v})$ doivent avoir une moyenne nulle, une variance constante, être indépendants entre eux et distribués normalement (ALDER,1980 ; DAGNELIE, 1999).

Dans la plupart des cas, l'homogénéité des variances n'est pas toujours vérifiée, ce qui demande l'observation ainsi que l'analyse de la représentation graphique des résidus en fonction du volume estimé ou d'une autre variable explicative comme le diamètre (*d*) dans le cas du tarif à une entrée ou du diamètre et de la hauteur *h* dans le cas d'une équation à 2 entrées, en utilisant par exemple le terme (d^2h).

D'autres expressions rapportées et utilisées par M'HIRIT (1981) et qui sont de forme : *(5)* $T_1 = \sum_{i=1}^{n} \hat{y}_i \; e_i$

T_1 représente la covariance entre les valeurs estimées de $\hat{y}$ et les résidus e_i ,

$\hat{y}_i$ = *valeur estimée de la variable expliquée y*

et *(6)* $T_2 = \sum_{i=1}^{n} \hat{y}_i \, e_i^2 - n\,\bar{y}\,\sigma^2$

Avec

$\bar{y}$ = *la moyenne de y ;* σ^2 = *la variance résiduelle de la régression ;* *n = effectif.*

Ces deux expressions exigent des valeurs nulles sinon la variance des résidus n'est pas constante (hétéroscédacité), c'est à dire que le tarif obtenu montre que la variance des volumes augmente avec la taille des arbres et les erreurs liées aux grosses dimensions sont donc importantes.

4.2 MATERIEL ET METHODES

Suivant la nature des données récoltées, deux types de tarifs de cubage sont ajustés par voie mathématique. Le premier se limite à l'estimation du volume spécifique des

arbres en fonction de la hauteur totale et/ou du diamètre et le second beaucoup plus général utilise les caractéristiques du peuplement. La méthode directe quant à elle est basée sur les volumes estimés par la méthode de Newton – Simpson retenue au chapitre 4.

4.2.1 Les tarifs de cubage individuels

L'échantillon qui a servi au calcul des tarifs de cubage provient des chantiers d'exploitation situés dans la pinède du massif de Ouled Yakoub et des Béni Oudjana.

Au total, 350 arbres choisis parmi les arbres abattus ont fait l'objet de mesures de la hauteur totale, de la hauteur du bois fort arrêtée à 7 centimètres, et des diamètres à la souche, à 1,30 mètres et au milieu (Annexe 2.a). Pour tous ces arbres, le volume du bois fort a été calculé par la méthode des billons successifs à partir des diamètres mesurés de 25 en 25 cm sur les 2 premiers mètres et de 50 en 50 cm jusqu'à une découpe de 7 cm au fin bout. Les billons ont été cubés par la formule de Newton / Simpson sélectionnée (§ *4)* et le volume total de l'arbre est obtenu par la sommation du volume de tous les billons qui le constituent. La répartition des arbres échantillonnés est mentionnée dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1: Répartition des arbres mesurés par classe de diamètre et de hauteur totale

Classes de diamètres	Classes de hauteur							Total
	4 - 6,9	7-9,9	10-12,9	13-15,9	16-17,9	19-21,9	22-24,9	
05 à 9,9	14	1						15
10 à 14,9	32	12						44
15 à 19,9	2	32	13					47
20 à 24,9		19	25	1				45
25 à 29,9		1	32	1				34
30 à 34,9			25	9	2			36
35 à 39,9			14	28	2			44
40 à 44,9			4	22	4			30
45 à 49,9				13	11			24
50 à 54,9				8	5			13
55 à 59,9				2	5			7
60 à 64,9				1	3			4
65 à 69,9					3			3
70 à 74,9					1	2		3
75 à 79,9							2	2
Total	46	65	114	85	36	2	2	350

4.2.2 Le tarif peuplement

Ce type de tarif nécessite au préalable la connaissance de la surface terrière 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 205 placettes temporaires (annexe 4) destinées initialement à la construction du modèle de croissance pour le pin d'Alep dans les massifs de Ouled Yakoub et des Béni-Oudjana.

Les peuplements échantillonnées proviennent de tous les niveaux de productivités et représentent les classes de croissance pour des hauteurs dominantes de 10 ,13, 16 et 19 mètres à l'âge de référence de 70 ans.

Ces placettes de surface variable de 6 à 10 ares 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 terrièrre moyenne,
- La hauteur dominante correspondant aux 100 plus gros arbres de la placette,
- le volume total par hectare (sommation des volumes individuels des arbres de la placette),
- La surface terrière par hectare de la placette

4.2.3 Les modèles d'équations utilisées

En ce qui concerne les tarifs individuels, les données observées sur les volumes totaux, les diamètres et les hauteurs des 350 arbres abattus, ont fait l'objet d'ajustements à partir de 5 modèles simples d'équations les plus utilisés (RONDEUX, 1973 ; PALM et RONDEUX, 1976 ; CAILLIEZ, 1980 ; PALM, 1981; M'HIRIT, 1982 ; FONWEBAN et HOULLIER, 1997 ;.PAUWELS et RONDEUX,2002)

Les équations utilisées sont de type :

Tarif à une entrée

(1) $V = a_0 + a_1 d^2$

(2) $V = a_0 + a_1 d^k$

Tarif à 2 entrées

(3) $V = a_0 + a_1 d^2 htot$

(4) $V = a_0 + a_1 d^2 + a_2 htot$

(5) $V = a_0 + a_1 d^2 + a_2 htot + a_3 d^2 htot$

avec*:*

V = volume total de l'arbre (m^3) ; d = diamètre à 1,30 m (m) ; htot = hauteur totale de l'arbre (m) ; $a_1, a_2 \ldots a_k$, ;k = coefficients de régression

4.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.3.1 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.(Tableau 4.2). 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 (fig 4.1)

Tableau 4.2 : Répartition des volumes observés (dm^3) par classe de diamètre à 1,30 m

Classe de diamètre (cm)	Effectif	Moyenne (dm^3)	Minimum (dm^3)	Maximum (dm^3)	Ecart- type (dm^3)	*CVR* (%)
05 à 9,9	15	25,6	14,8	34,0	5,8	22,8
10 à 14,9	44	47,4	28,3	83,7	11,5	24,3
15 à 19,9	46	101,5	59,3	160,0	24,9	24,5
20 à 24,9	45	183,4	104	285, 0	41,3	22,5
25 à 29,9	34	289,4	223	407,0	41,0	14,2
30 à 34,9	36	442,5	315,4	626,0	84,8	19,2
35 à 39,9	44	600,2	409,3	895,0	119,4	19,9
40 à 44,9	30	815,9	480,2	1113,0	162,0	19,9
45 à 49,9	24	1122,1	812,5	1336,0	148,3	13,2
50 à 54,9	13	1344,4	1047,3	1615,0	218,9	16,3
55 à 59,9	7	1732,7	1450,9	2296,0	333,5	19,3
60 à 64,9	4	1794,7	1513,4	1961,0	194,4	10,8
65 à 69,9	3	2060,5	1858,1	2218,0	184,1	8,9
70 à 74,9	3	2683,7	2471,3	2828,4	187,9	7,0
75 à 79,9	2	3247,4	3052,6	3442,1	275,5	8,5

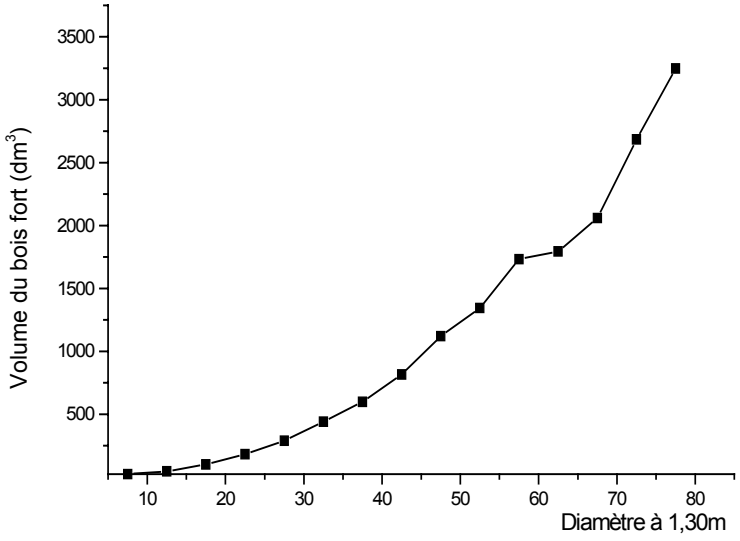


Fig 4.1: Volume du bois fort en fonction du diamètre: Méthode directe

4.3.2 REPRESENTATION GRAPHIQUE

Le graphique issue de cette méthode consiste à représenter individuellement le volume observé de Newton /Simpson en fonction du diamètre à 1,30 de chaque arbre échantillon**.** Les données qui ont servi à construire ce type de tarif sont consignés dans l'annexe 2. On obtient ainsi un nuage de points auquel on ajuste une courbe de tendance moyenne passant par le maximum de points du graphique. Cette représentation graphique impose une évolution régulière du volume en fonction des grosseurs.(RONDEUX,1993). Cependant elle ne permet pas le calcul du volume d'un ensemble d'arbres. Cette méthode reste intéressante surtout pour la construction des tarifs de cubages à une entrée et la figure 4.2 illustre parfaitement l'existence d'une relation unique entre le volume et le diamètre pour ce type de tarif.

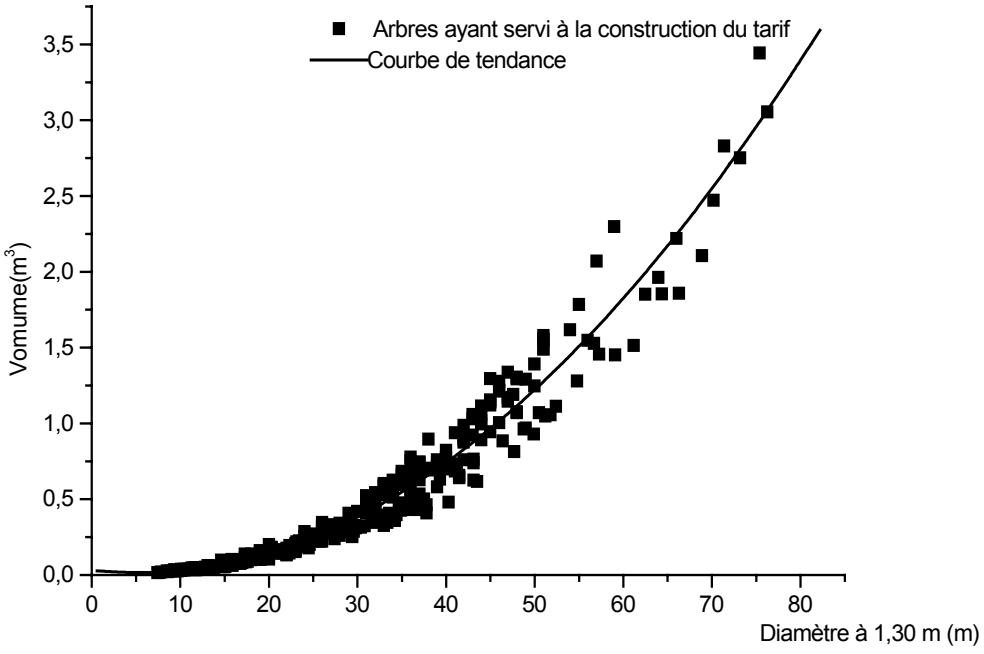


Fig 4.2: Représentation graphique du volume de Newton et Simpson en fonction du diamètre à 1,30 m

4.3.3 Tarif arbre obtenu par la méthode mathématique

4.3.3.1 Ajustement des équations sans pondération

Le tableau 4.3 reprend les équations de cubage ajustées aux données observées des arbres de l'échantillon (annexe 2.a) et les critères de précision pris en compte.

(le coefficient de détermination *(R^2)* , le coefficient de variation résiduel *Cvr)* et la distribution des résidus absolus *(sa)* et relatifs *(sr).* On peut constater déjà que chacun des paramètres de comparaison conduit à un résultat légèrement différent pour les 5 relations testées d'une façon générale. Le modèle *(5)* présente à priori une prédilection sauf que

celui ci donne des volumes négatifs pour les petits bois (diamètre inférieur à 10 cm). La préférence va donc aux équations *(2)* pour le tarif à une entrée et *(3)* pour le tarif à 2 entrées. Les valeurs de *(R^2)* et du *(Cvr)* et l'examen graphique de résidus indiquent des résultats acceptables.

Tableau 4.3 : Critères de précision des équations ajustées sans pondération

N°	Type d'équation	R^2	CVR%	Sa	Sr	T1	T2
1	$V= - 0,070 + 5,18\ d^2$	0,95	23,2	0,12	3,81	0,00	-
2	**$V= - 0,025 + 5,58\ d^{2,174950}$**	**0,96**	**22,8**	**0,12**	**1,72**	**0,00**	**-**
3	**$V= 0,053 + 0,282\ d^2\ htot$**	**0,98**	**20,0**	**0,10**	**0,25**	**0,00**	**2,3**
4	$V= - 0,184 + 4,80\ d^2 + 0,012 htot$	0,96	22,7	0,11	9,69	0,00	3,1
5	$V = - 0,138 + 1,04 d^2 + 0,0176\ htot + 0,20\ d^2\ htot$	0,97	17,7	0,09	1,8	0,00	1,6

4.3.3.2 Ajustement des équations avec pondération

La représentation graphique des résidus établie à partir des équations retenues (fig 4.3 a et 4.3 c) montre que la variance des volumes augmente avec le diamètre des arbres, ce qui nécessite logiquement l'utilisation d'une pondération permettant ainsi de distribuer normalement les volumes et d'avoir une variance constante le long du nuage, Ainsi, nous avons ajusté aux données de l'échantillon les équations choisies auxquelles nous avons rajouté l'équation *(5)* .

Les coefficients de pondération utilisés sont du type :

$$w_i = \frac{1}{d^4}$$ pour le tarif à une entrée

et $$w_i = \frac{1}{(d^2 h)^2}$$ pour les tarifs à plus de deux entrées,

L'ajustement des données des arbres de l'échantillon a aboutit aux équations reportées dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4 : Critères de précision des équations ajustées avec pondération

N°	Type d'équation	Pondération	R^2	CVR%
2	$V = 0,0041 + 5,13\ d^{2,174950}$	$1/(d^2)^2$	0,96	25,1
3	$V = 0,011+ 0,32\ d^2\ htot$	$1/(d^2h)^2$	0,98	22,8
5	$V = - 0,008+ 0,034\ d^2 + 0,032\ htot + 0,3\ d^2\ htot$	$1/(d^2h)^2$	0,98	21,0

Il ressort du tableau 4.4 que les pondérations utilisées n'ont pas permis ni de diminuer le coefficient de variation résiduel (22,8%) ni d'améliorer la distribution des résidus (fig 4.3 b et 4.3 d).

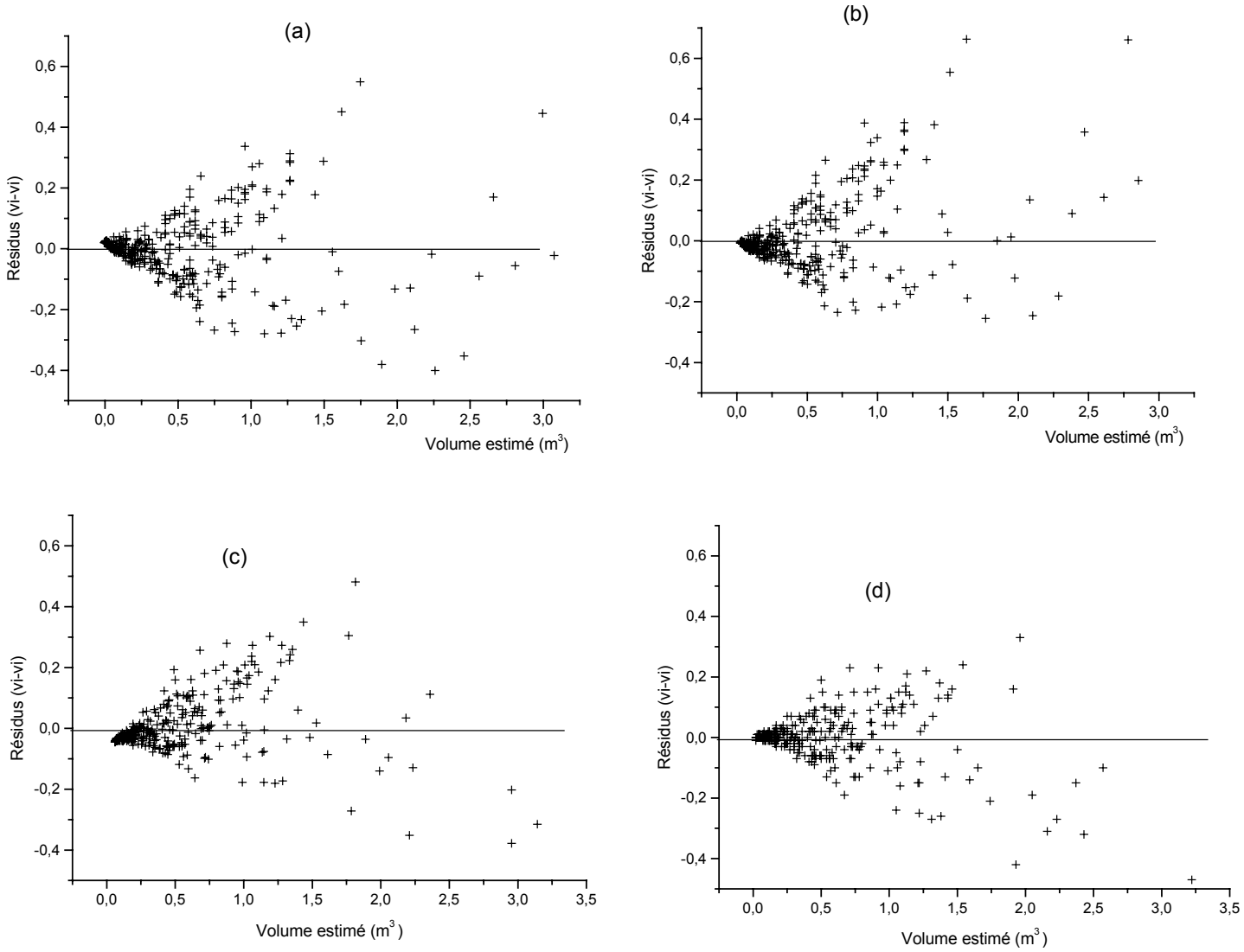


Fig 4.3 : Distribution des résidus

(a) Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 1 entrée)
(b) Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 1 entrée pondéré)
(c) Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 2 entrées)
(d) Distribution des résidus en fonction du volume estimé (Tarif à 2 entrées pondéré)

Cette situation résulte en grande partie de la faible amplitude des diamètres des arbres échantillonnés pour la construction des tarifs de cubage qui présente un écart type très faible de 0,15 m soit un coefficient de variation de 0,5% (tableau 4.5).

Tableau 4.5 : Caractéristiques dendrométriques des arbres ayant servi à construire le tarif de cubage

Variable	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart- type
Hauteur (m)	11,7	4,9	23,5	3,5
Diamètre à 1,30 m(cm)	29	7,4	76	*0,15*
Volume (m^3)	0,50	0,014	3,44	0,55

L'échantillon se caractérise donc par une absence de biais importants et par des résidus faibles, Cela explique pourquoi la pondération n'est pas nécessaire dans ce cas, et que un bon ajustement est suffisant pour estimer les volumes.

4.3.3.3 Validité de l'équation retenue

Il est évident que les équations du tarif retenues pour estimer le volume sont valables uniquement pour l'essence à partir de laquelle l'échantillon a été tiré.

Le tarif de cubage estimé doit permettre de cuber tous les arbres de la population (Chevrou, 1988). Alors, pour tester la validité de l'équation retenue *(3)* du tableau 4.3 qui a précédé, pour l'ensemble des peuplements de la forêt, nous l'avons appliqué sur un lot de 67 arbres n'ayant pas servi à la construction des tarifs (BOUCHON, 1974; PALM,1981; MHIRIT, 1981 ; PAUWELS et RONDEUX, 1999). Ces arbres ont fait l'objet de mesures de volumes par billons successifs en utilisant la méthode de Newton Simpson. (annexe 2.b).

Pour déterminer le biais du tarif et le degré de confiance qu'on peut lui accorder, la démarche adoptée consiste à comparer les moyennes des volumes calculés et ceux estimés par les tarifs de cubage par le test de l'écart réduit de la loi normale appliqué aux échantillons à effectif supérieur à 30 (DAGNELIE,1999 ; VASSEREAU,1998). La valeur obtenue étant de 0,1624 (annexe 2.c). Cette valeur largement inférieure à celle affichée par la table (1,96) pour un seuil de 5% montre que la différence entre les valeurs observées et le valeurs théoriques n'est pas significative et que le tarif choisi donne globalement une estimation non biaisée des volumes totaux (fig 4.4).

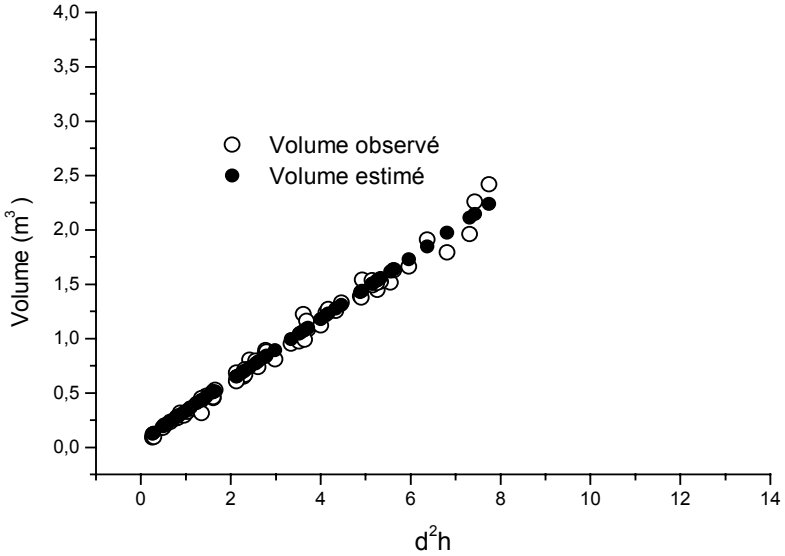


Fig 4.4 : Représentation graphque des volumes observés et estimés en fonction de d^2h

La fig 4.5 montre d'ailleurs la bonne similitude et l'homogénéité entre les deux échantillons

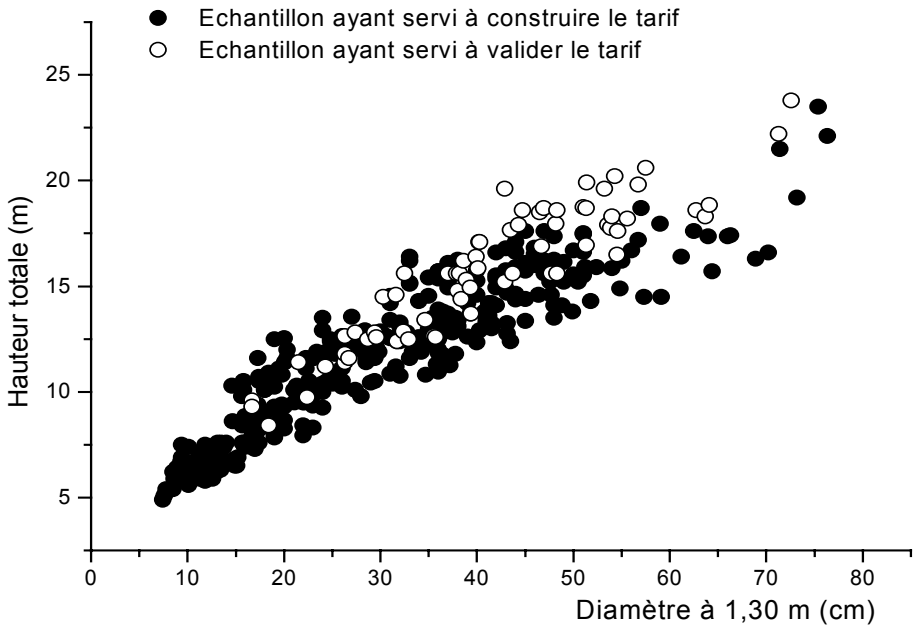


Fig 4.5 : Caractéristiques des arbres ayant servi à construire le tarif et de l'échantillon d'arbres utilisé pour la validation.

Tableau 4.6: Tarif de cubage à deux entrées pour le pin d'Alep de Ouled Yakoub et des Béni Oudjana

$V\ (m^3) = 0{,}05248 + 0{,}282 \times d^2\ htot$

$d_{1,30}$ (cm)	htot (m)																	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
5	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06												
10	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09									
15	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13									
20	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22						
25				0,05	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,30	0,32						
30				0,13	0,26	0,28	0,31	0,33	0,36	0,38	0,41	0,43	0,46	0,48	0,51			
35								0,43	0,47	0,50	0,54	0,57	0,61	0,64	0,67			
40								0,55	0,59	0,64	0,68	0,73	0,77	0,82	0,86			
45								0,68	0,74	0,79	0,85	0,91	0,97	1,02	1,08			
50								0,83	0,90	0,97	1,04	1,11	1,18	1,25	1,32			
55										1,16	1,25	1,33	1,42	1,50	1,59			
60													1,68	1,78	1,88			
65													1,96	2,08	2,20	2,32	2,44	2,55
70													2,26	2,40	2,54	2,68	2,82	2,95
75																3,07	3,22	3,38

4.3.4 Elaboration des modèles de cubage peuplements

Sur la base des données récoltées dans les placettes d'échantillonnage, deux modèles de fonctions sont ajustées:

- Le premier modèle résulte d'un ajustement mathématique des volumes à l'hectare en fonction de la hauteur dominante et de la surface terrière, il est de la forme :

$$\mathbf{V(m^3/ha) = - 47,472 + 2,6076 \times hdom + 6.0677 \times G} \quad \textit{(1)}$$

avec $R^2 = 0,986$ *et* $C\,v\,r = 5,8\%$

Où *V/ha = volume par hectare (m^3/ha) ; hdom = hauteur dominante (m)*

G = surface terrière à l'hectare (m^2/ha) ; R^2 *= coefficient de détermination*

Cvr : coefficient de variation résiduel

- Le second modèle exprime le rapport du volume sur la surface terrière *(V/G*) en fonction de la hauteur dominante [(*V/G = f(ho*)] (RONDEUX, 1977), ou du diamètre quadratique moyen [(*V/G = f(dg*)] (RONDEUX et al, 1985).

Ce même rapport sur la hauteur dominante défini le coefficient de forme du peuplement,

$$\boldsymbol{V/G = - 0,953456 + 0,751997\ hdom - 0,020012\ hdom^2} \quad \textbf{(2)}$$

avec $R^2 = 0,70$ *et CVR = 8,05 %*

$$\boldsymbol{V/G = 3,2166 + 6,879\ dg} \quad \textbf{(3)}$$ *avec* $R^2 = 0,83$ *et CVR = 6,02%*

Sachant que dg = diamètre quadratique moyen et V/G exprime la hauteur réduite (F h) avec F et h respectivement paramètre de forme et hauteur moyenne du peuplement.

Sur le plan pratique, cette méthode est relativement simple et rapide car elle permet de tracer des graphiques qui simplifient le calcul des volumes en question.

Pour la présente étude, le domaine de variation de la surface terrière en fonction de la hauteur dominante de notre échantillon (tableau 4.7) nous ramène à considérer valable l'équation *(1*) qui est retenue pour l'estimation du volume des peuplements (tableau 4.9)

Tableau 4.7 : limites des valeurs de la surface terrière en fonction de la hauteur dominante

Hauteur dominante (m)	Surface terrière à l'hectare (m^2/ha)	
	Minimum	Maximum
8	10,95	18,13
9	10,98	20,88
10	11,73	22,37
11	11,98	24,21
12	12,63	27,7
13	13,75	31,2
14	14.00	37,23
15	17,55	38,77
16	19,27	39,48
17	21,02	41,26
18	28,95	46,42
19	32,44	52,7

Pour ces mêmes hauteurs dominantes, les résultats obtenus pour le facteur de conversion (V/G) à partir de l'équation *(2)* donnent pour le bois fort un coefficient de forme global moyen ***(F)*** de 0,4 avec un coefficient de variation de 14,2% (tableau 4.8).
Il en résulte ainsi que le volume global d'un peuplement de pin d'Alep peut être connu rapidement à partir de la formule ***V = G x hdom x F*** (RONDEUX, 1977).

Tableau 4.8 : Valeurs des rapports V/G et F en fonction de la hauteur dominante

h.dom (m)	8	10	12	14	16	18	20
V / G (m)	3,78	4,57	5,19	5,65	5,96	6,10	6,08
F	0,473	0,457	0,432	0,404	0,370	0,339	0,304

Tableau 4.9 : Volume total par hectare établi à partir de la relation :

$V(m^3/ha) = - 47,472 + 2,6076 \times h6.0677 \times G$

G(m2/ha)	Hdom (m)												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	34,1	36,7											
12	46,2	48,8	51,4	54,0	56,6								
14	58,3	60,9	63,6	66,2	68,8	71,4	74,0						
16	70,5	73,1	75,7	78,3	80,9	83,5	86,1	61,7					
18	82,6	85,2	87,8	90,4	93,0	95,6	98,3	100,9	73,9	73,9			
20		97,4	100,0	102,6	105,2	107,8	110,4	113,0	115,6	118,2			
22		109,5	112,1	114,7	117,3	119,9	122,5	125,1	127,7	130,3			
24				126,8	129,4	132,1	134,7	137,3	139,9	142,5			
26					141,6	144,2	146,8	149,4	152,0	154,6	134,6		
28					153,7	156,3	158,9	161,5	164,1	166,8	134,6	146,7	
30						168,5	171,1	173,7	176,3	178,9	181,5	146,7	146,7
32						180,6	183,2	185,8	188,4	191,0	193,6	196,2	198,8
34							195,3	197,9	200,6	203,2	205,8	208,4	211,0
36							207,5	210,1	212,7	215,3	217,9	220,5	223,1
38							219,6	222,2	224,8	227,4	230,0	232,6	235,3
40								234,4	237,0	239,6	242,2	244,8	247,4
42									249,1	251,7	254,3	256,9	259,5
44											266,4	269,1	271,7
46											278,6	281,2	283,8
48											290,7	293,3	295,9
50												305,5	308,1
52												317,6	320,2
54												329,7	332,3

4.4 CONCLUSION

IL ressort de cette étude que Les critères de précision dans le choix de l'équation du tarif sont surtout 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. Ces dernières n'ont pas suffisamment amélioré la précision du volume et de ce fait n'ont pas conduit à de meilleurs résultats, pour la simple raison que

l'échantillon choisi 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.

Cela dit, l'utilisation d'une équation unique n'est pas non plus toujours adaptée à la diversité des peuplements, car celle-ci ne tient pas compte de toutes les formes de tiges qui peuvent engendrer des imprécisions au niveau du volume.

Une analyse approfondie de la forme et de la distribution des arbres par une bonne représentativité des échantillons servant aux calculs des équations de volume est donc recommandée (M'HIRIT,1982).

Pour le cubage des peuplements, les équations proposées basée sur la surface terrière, la hauteur dominante et une estimation du coefficient de forme tiré à partir des tables de production ou estimé par le *Relascope pour des arbres moyens permettent le calcul rapide des volumes des peuplements.

Ces critères simples à évaluer doivent cependant résulter d'un échantillonnage important couvrant toutes les gammes de variabilité aussi bien sur le plan de la productivité que celui de la sylviculture pratiquée (RONDEUX et al, 1985).

* Relascope de Bitterlicht : Appareil servant à mesurer les caractéristiques dendrométriques des arbres ou des peuplements.

CHAPITRE 5 : CROISSANCE EN HAUTEUR DOMINANTE ET CLASSES DE FERTLITE DU PIN D'ALEP

INTRODUCTION

La croissance en hauteur des arbres dominants est l'un des critères le plus utilisé dans la caractérisation des milieux de croissance.

Pour une espèce donnée, cet indice qui évolue différemment selon les conditions des stations est un bon indicateur de la fertilité. La hauteur dominante à l'âge de référence permet de classer les peuplements dans une échelle de fertilité et possède aussi une excellente liaison avec la production totale.

La méthode utilisée dans ce chapitre a pour but essentiel la construction d'un modèle de croissance du pin d'Alep de la région de Ouled Yagoub et des Béni Oudjana

Cette modélisation est réalisée à partir de données issues d'analyse de tiges. Il s'agit d'ajuster un faisceau de courbes de croissance de différents niveaux de productivité par l'intermédiaire d'un modèle de croissance connu.

5.1 BIBLIOGRAPHIE

5.1.1 Concept général de la productivité

La production en un point dépend en premier lieu des conditions de la station dont les plus importantes restent les facteurs climatiques qui déterminent en grande partie ses potentialités (GARBAYE , 1970).

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

Il faut distinguer la productivité potentielle ou naturelle qui concerne une production optimale conditionnée par les propriétés intrinsèques de la station et valable pour des peuplements homogènes, de densité normale et peu perturbés, de la productivité actuelle ou artificielle qui a trait à la production réelle constatée d'une station dans ses composantes actuelles (sol, peuplements, traitement, etc.) RONDEUX (1977et 1993).

Dans le domaine de la productivité, les études sont nombreuses (PARDE, 1957,1967; DECOURT,1966,1969 et 1973 ; LEMOINE, 1969 et 1982 ; GARBAYE et al, 1970; SOULERES, 1975 ; YI, 1976; OTTORONI, 1981; M'HIRIT, 1982 ; TOTH et al, 1983; COUHERT et DUPLAT, 1993).

Selon DECOURT (1973) un matériel végétal donné suit en moyenne une même loi de croissance en volume. En d'autres termes, déterminer la productivité d'une station revient simplement à calculer la production totale de matière ligneuse des peuplements qu'elle porte à un moment donné.

Dans la pratique la notion de productivité est étroitement liée à celle de station définie, par ses caractéristiques écologiques plus ou moins homogènes permettant d'obtenir une même production avec une même sylviculture pratiquée (BECKER, 1985).

Pour apprécier la productivité d'une station ou d'un peuplement, il faut tout d'abord identifier les paramètres qui la caractérisent. En effet, la productivité résulte de l'interaction de certains facteurs notamment dendrométriques, phytosociologiques et écologiques (M'HIRIT,1982) qui peuvent agir soit individuellement soit simultanément
(BARBERO ET LOISEL, 1985).

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 (BRETHES, 1991).

L'approche quantitative est celle la plus utilisée. Elle consiste à chiffrer la croissance ou la production des peuplements (volume, accroissement, etc.) en relation avec les divers éléments de l'environnement. Son avantage réside dans le fait qu' elle est exprimée à partir des critères dendrométriques et utilise des variables simples, faciles à mesurer et bien corrélées à la production.

Parmi les critères pris en considération par cette méthode, on peut évoquer :

Le volume total produit à un âge de référence ou l'accroissement moyen total au même âge, généralement de 50 ou 100 ans. C'est une mesure directe du volume du peuplement sur pieds *(v)* et celui enlevé en éclaircie *(Σ v e)* ou en délits ou bien par mortalité effectuée à des intervalles plus ou moins réguliers.

Notons néanmoins que l'utilisation de ce critère est souvent délicate, car il demande une comptabilité sans erreurs et sans oublis des volumes déjà partis, ce qui rend difficile le suivi et l'évaluation de la production totale. En plus, ce critère ne convient qu'aux cas particuliers des peuplements réguliers ayant une bonne gradation d'âge, pour autant qu'on dispose des placettes permanentes ou semi-permanentes (DECOURT,1973b; RONDEUX, 1977).

Pour contourner cette difficulté, les forestiers ont défini un autre indice dendrométrique exprimé par la hauteur dominante à un âge de référence donné (CTGREF,1979). Cet indice appelé *site index* chez les Anglo-Saxon ou *indice de station* est définie par la hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare (PARDE, 1956). Il

permet non seulement de classer les peuplements selon leurs potentialités et en fonction de leurs fertilités, mais caractérise aussi la production totale (méthode indirecte) par la fixation des niveaux de productivité. Chaque niveau est ainsi représenté par la croissance de la hauteur dominante en fonction de l'âge des peuplements étudiés.

5.1.2 La hauteur dominante comme indice de fertilité

L'intérêt porté à la hauteur dominante comme critère d'évaluation de la productivité et de la caractérisation des classes de croissance des peuplements forestiers est bien établi dans de nombreuses études (PARDE,1956 ; DAGNELIE,1956 et 1957 ; RONDEUX,1977 ; ALDER,1980 ;ABBAS,1986 ; LEGOFF,1982 ; DUPLAT,1986 ; CIESZEWSKI et al,1989 ; BOISSEAU, 1996 et THIBAULT, 2002).

Le choix de cet indice repose essentiellement sur deux constatations :

D'abord la croissance en hauteur dominante est peu influencée par les traitements sylvicoles, mais dépend en outre de la qualité de la station (DECOURT, 1964 ; DUPLAT, 1986). Cette hypothèse admise par tous les chercheurs forestiers suppose que la relation âge-hauteur traduit l'effet de tous les facteurs de la station sur la croissance de cette hauteur pour en déterminer sa fertilité. C'est une relation qui permet de classer les peuplements dans l'échelle de fertilité (YI, 1976).

ALDER, (1980) défini la relation hauteur/âge/indice de fertilité comme un élément fondamental de la prévision de l'accroissement des peuplements homogènes. Elle s'exprime habituellement sous la forme d'un faisceau de courbes de fertilité pour une essence croissant dans une région donnée. Le cas du pin d'Alep est illustré par la fig.5.1.

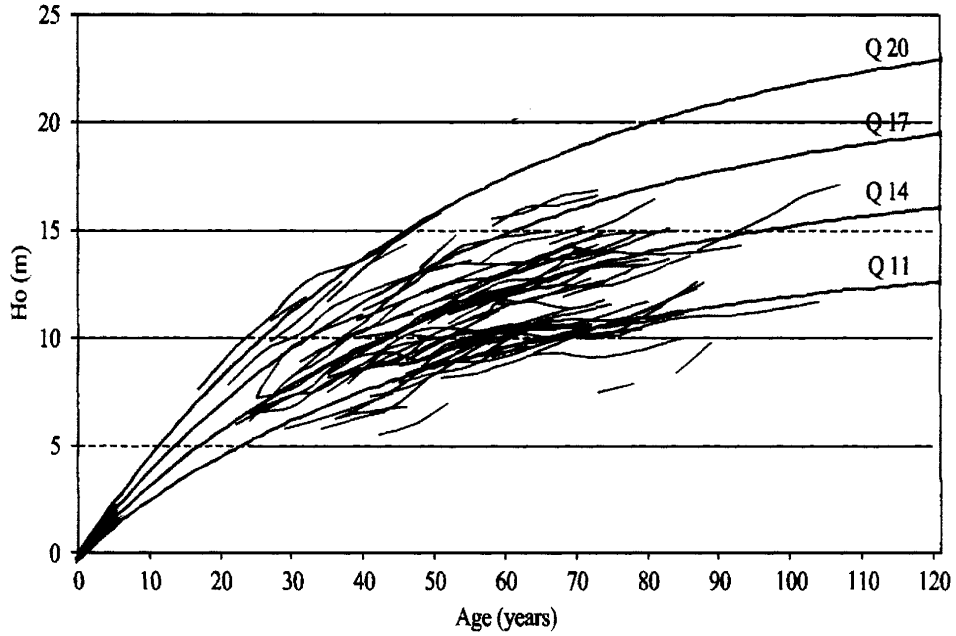


Fig 5.1 : Site index pour *Pinus halepensis* (Montéro 2000)

Ensuite, selon la loi d'Eichhorn définie par ASMMAN (DECOURT, 1973b , la production totale en volume possède une excellente relation avec la hauteur dominante (fig.5.2). Cette liaison fondamentale montre que dans une région climatiquement homogène, la production totale en volume d'une essence donnée est essentiellement en fonction de sa seule hauteur moyenne, ou mieux encore la hauteur dominante (PARDE, 1957 et 1988; DAGNELIE, 1957). Cette relation de la production totale avec la hauteur est indépendante de l'âge, de la station et de la densité du peuplement (DECOURT,1964; DECOURT,1973 b; RONDEUX, 1977).

Dans une région de même croissance où les conditions climatiques sont relativement homogènes, la production totale est une fonction croissante de la hauteur dominante (RONDEUX, 1977). Cette relation largement utilisée dans la construction des tables de production garde toute sa valeur dans la mesure où l'ensemble des stations où se développe l'essence considérée suivent la même loi de croissance. En effet, ETHER, 1949 (in DAGNELIE, 1956) montre que pour les peuplements de hêtre, la production totale est connue avec une erreur de ± 9 % pour des hauteurs dominantes dépassant le seuil de 15 mètres (fig.5.2). Par ailleurs, cette relation reste peu tributaire du type et de l'intensité des éclaircies.

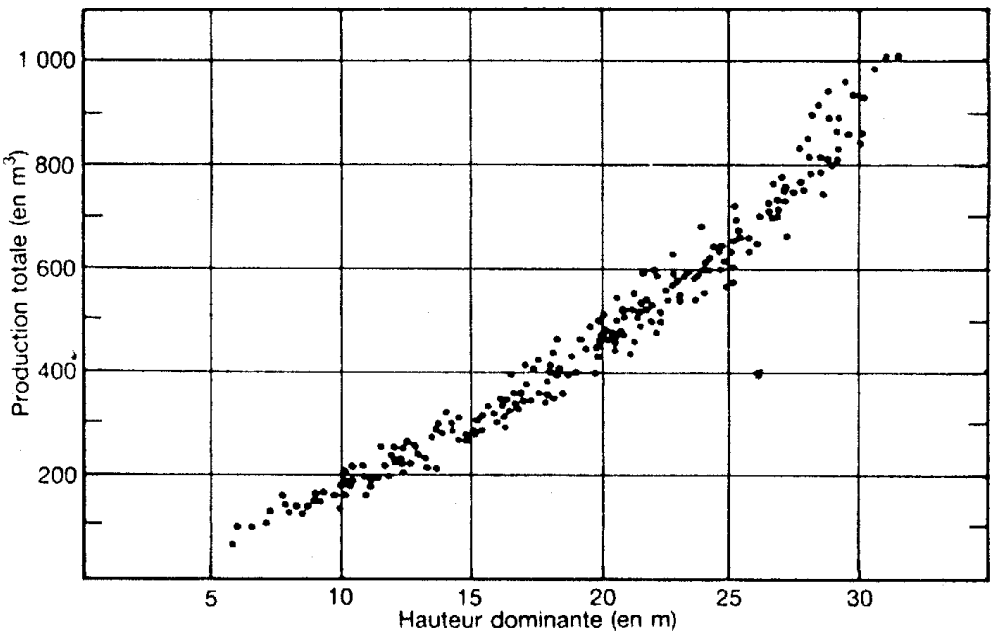


Fig 5.2 : Corrélation Production totale hauteur dominante : Cas du hêtre en Suisse . (Ether, 1949 (in Dagnelie, 1956)

En France, PARDE (1957) a pu ajuster graphiquement pour le pin d'Alep de Provence. une droite entre l'accroissement moyen annuel en bois fort depuis l'origine en fonction de la hauteur moyenne atteinte à l'âge de 75 ans.

Selon DECOURT (1964), cette liaison peut varier pour une même essence lorsqu'on change de station. On peut alors obtenir des productions différentes pour une même hauteur dominante. Cette différence provient en grande partie du rythme de croissance en hauteur qui varie d'une région à l'autre, ce qui rend donc discutable la relation unique entre la production totale et la hauteur dominante.

Par ailleurs, ASSMANN,1966 (IN DECOURT, 1973) a montré que pour un âge et une hauteur dominante identiques, la production observée dans une même station n'est pas la même et qu'a chaque niveau de production peut correspondre un type de station donnée. d'où la notion de niveaux de productivité.

Travaillant sur l'Epicéa commun dans différents milieux, PARDE et BOUCHON (1988), conclu que la liaison de la production totale et de la hauteur dominante est une réalité, mais celle ci n'est pas la même pour une espèce donnée. Elle est liée en grande partie aux caractéristiques écologiques de la station et plus particulièrement aux variables climatiques déterminant la croissance et la fertilité de la station (fig 5.3).

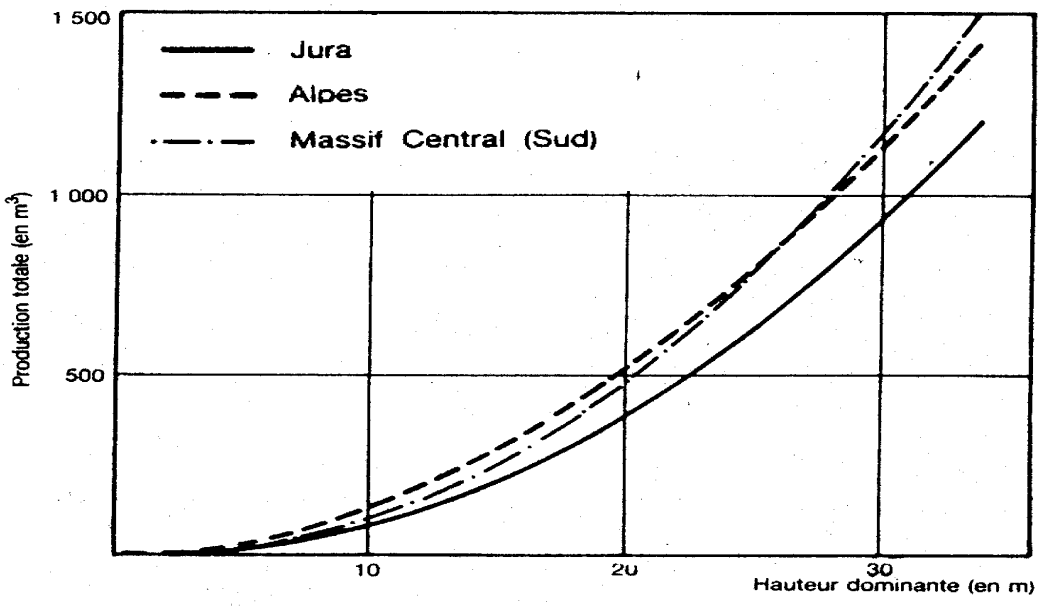


Fig 5.3 : Production totale en volume en fonction de la hauteur dominante Epicéa commun en France (Pardé et Bouchon,1988)

La notion de niveau de production semble donc avoir sa raison d'être d'autant plus qu'elle est applicable directement dans la construction des tables de production et que chaque peuplement possède sa propre liaison entre la hauteur dominante et son niveau de production.

Certains auteurs (FROTTINGHAM, 1918 et VINCENT, 1961 (in YI, 1976)) estiment que la hauteur utilisée avec précaution peut être un moyen très pratique et constitue probablement le meilleur indicateur de la fertilité des stations, tant pour les peuplements équiennes que ceux naturels.

Cet avis est partagé par ALDER (1980) qui considère que la hauteur atteinte par un peuplement homogène à un âge de référence comme un bon indicateur de la productivité.

D'une manière générale, il est admis que la hauteur dominante constitue le meilleur indice de productivité dont on dispose actuellement. Cette loi garde un intérêt pratique, étant donné que l'écart de production observé est de l'ordre de 10% à15 %.(DECOURT, 1973 ; RONDEUX, 1977).

5.1.3 Courbes de croissance de la hauteur dominante

Dans les études sur l'autécologie des espèces, il est nécessaire dans un premier temps de disposer de courbes de croissance en hauteur. Ces dernières peuvent être obtenues par diverses manières :

Par des mesures successives à intervalles réguliers dans les placettes permanentes localisées dans des peuplements d'âges gradués et représentants toute la gamme de variabilité des conditions de fertilité (DECOURT 1973b ; THIBAULT, 2002). Ces mesures effectuées à partir des inventaires successifs matérialisent l'évolution de la hauteur dominante par des segments échelonnés et pour des âges variés.

La reconstitution du régime de la croissance en hauteur est effectuée aussi par les mesures des hauteurs de verticilles. Cette méthode est censée donner les mêmes résultats que celle des analyses de tiges, mais elle est difficilement applicable dans le cas d'une essence polycyclique (GILBERT 1994 ; THIBAULT, 2002).

Elles peuvent être aussi réalisées de façon plus fiable à partir des analyses de tiges sur un certain nombre de placettes représentatives des différentes fertilités rencontrées (LEGOFF, 1982 ; DUPLAT, 1986). Ces données sont complétées en général par des mesures de hauteurs dominantes réalisées en une seule fois à partir de placettes temporaires (OTTORINI, 1981 ;THIBAULT, 2002).

5.1.4 Modélisation de la croissance en hauteur

Dans le domaine de la productivité forestière, la croissance des arbres et des peuplements a fait l'objet de modélisation depuis longtemps (M'HIRIT, 1982 ;LAPPY et al,1988). Cette approche née vers 1902 utilise souvent le modèle logistique dont la représentation graphique donne une courbe en S (ROUSSEL, 1983).

Le modèle de croissance est défini comme un ensemble de connaissances que l'on possède d'un phénomène et que l'on essaie de présenter sous forme de relations

mathématiques plus ou moins complexes, soit dans un but de décision ou de précision (M'HIRIT, 1982).

Pour ALDER (1980) le modèle de croissance est un jeu d'équations ou de courbes exprimant les relations qui existent entre les variables qu'on y introduit.

Il constitue un outil de prévision qui permet de prévoir par simulation, avec une précision correcte, la croissance d'un peuplement donné, soumis à des interventions sylvicoles choisies par l'utilisateur (DREYFUS,1993).

La modélisation basée essentiellement sur les mathématiques et l'utilisation large de l'outil informatique, constitue actuellement une approche moderne pour l'étude de certains problèmes de la production forestière. Cette pratique facilite l'utilisation souvent complexe des calculs longs et délicats pour montrer la façon dont les arbres développent leur hauteur ou leur volume en fonction du temps.

Le modèle de croissance de la hauteur dominante peut être élaboré par 2 approches :

- Anamorphique : 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, 1993 ; M'HIRIT, 1992 ; BELGHAZI, 2000).
- 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 remesurages des placettes permanentes à ou d'analyses de tiges. (CARMEAN, 1972 ; DUPLAT, 1986).

5.2 MATERIEL ET METHODE

5.2.1 Démarche adoptée et récolte des données

Pour mieux retracer la croissance de la hauteur dominante des peuplements de pin d'Alep, des massifs de Ouled Yagoub et des Béni Oudjana, nous avons adopté une méthode mixte, utilisant à la fois les analyses de tiges et des relevés de couples âge/hauteur dominante dans les placettes échantillonnées.

Un échantillon de 25 arbres dominants représentants les différentes conditions de fertilités est abattu et analysé *(Annexe 3.a)*.

Les arbres choisis ont fait l'objet de mesures de la hauteur totale et du diamètre à 1,30 m. Ils sont ensuite abattus à la hauteur de souche de 0,30m puis débités en billons de

1 mètre. Des rondelles sont ensuite prélevées au fin bout de chaque découpe et leur nombre de cernes est compté.

Pour obtenir l'âge actuel de l'arbre, il est nécessaire d'ajouter un nombre d'années égal à 5 ans au nombre de cernes trouvé à 0,30m. Ce chiffre correspond en moyenne au nombre d'années nécessaire à l'arbre pour atteindre une hauteur de 0,30 m. L'âge à un niveau donné est obtenu par la différence entre l'âge actuel de l'arbre et le nombre de cernes de la découpe (LEGOFF, 1982 et DUPLAT, 1986).

Ces données sont complétées par des mesures de la hauteur dominante, issues de 205 placettes temporaires caractérisées par une densité normale, sans trouées et relativement équiennes. Les placettes sont choisies de manière à couvrir toute la gamme de variabilité des peuplements sur le plan de la structure, de l'âge et des milieux écologiques rencontrés. Leur hauteur varie de 8 à 24 m pour des âges allant de 26 à 124 ans.

5.2.2 Choix du modèle de croissance en hauteur dominante

La modélisation de la croissance du pin est réalisée sur la base des mesures ayant servi à la construction des tables de production. Il s'agit d'ajuster aux données expérimentales les mesures obtenues à partir des analyses de tiges, et des couples âges/hauteurs de 205 placettes temporaires. Cet ajustement est réalisé par un faisceau de courbes de croissances correspondant à différentes classes de fertilités à partir de la hauteur dominante à l'âge de référence choisi. Dans notre cas, cet indice est défini comme la hauteur dominante à 70 ans.

Pour la modélisation du pin d'Alep, nous avons utilisé l'équation de régression non linéaire de Chapman- Richards sous la forme :

$$H_{dom} = k_1 \left[1 - exp\left(-k_2 \; x \; âge\right)\right]^{k_3}$$

avec

k_1 = paramètre libre qui dépend de l'arbre. Il représente la hauteur de l'arbre atteinte à un âge avancé

e : fonction exponentielle

k_2 et k_3 = coefficients d'ajustement des courbes.

Ce modèle de forme variable, caractérise bien le rythme de croissance des arbres d'un individu à l'autre DEBOUCHE, 1979 (IN M'HIRIT , 1982). Il est largement utilisé dans les études d'évaluation de la production forestière. Il a également servi pour la modélisation de la croissance du pin d'Alep en France (BROCHIERO, 1999 ; MONTERO, 2000) et aussi sur le pin gris au Canada (WILLARD, 1988).

A la différence de la méthode de DUPLAT (1986), qui consiste à prendre la moyenne des hauteurs du premier, du troisième et du cinquième arbre de la placette, nous avons ici basé la construction du modèle sur l'arbre qui représente l'unité élémentaire du modèle.

Comme l'a souligné BROCHIERO et al (1999) dans son étude sur l'autécologie du pin d'Alep en France, le modèle crée est valable au niveau de l'arbre. Pour la placette, le modèle calcule l'indice de fertilité en se basant sur la moyenne des hauteurs des 100 plus gros arbres à l'hectare et de son âge dominant.

5.2.3 Fixation de l'âge de référence

L'âge de référence est choisi dans la plupart des cas d'une façon arbitraire Il peut varier de 50 ans pour les peuplements à courte révolution et à croissance rapide, jusqu'à 100 ans pour les essences suffisamment longévives (CTGREF,1979). Il est fixé en réalité en fonction de la structure des peuplements auxquels il est destiné. M'HIRIT (1982) le défini à partir de l'accroissement courant maximum atteint pour des peuplements encore en pleine croissance. Il peut correspondre aussi au maximum de l'accroissement moyen et à la rentabilité maximale pour les peuplements proche de l'âge d'exploitabilité (PARDE 1957; et SOULERES, 1975)

La revue bibliographique effectuée montre que pour le pin d'Alep cet âge est très variable. Il est de 70 à 75 ans en Provence française (BROCHIERO, 1999 et ABBAS, 1986), de 80 ans pour (MONTERO, 2000) en Espagne et de 80 à 100 ans dans les Béni-imloul (FRANTZ et FORSTER, 1979 ; KHERCHOUCHE, 2003). Au Maroc, BELGHAZI et al (2000), dans une étude sur la même espèce estime que l'évaluation de l'indice de station est incertaine si l'âge de référence est différent de l'âge actuel des peuplements ; il a proposé de ce fait un âge de référence de 60 ans. SGHAIER et al (2001) ont utilisé un âge de référence de 45 ans afin de déterminer les classes de fertilité pour le pin d'Alep en Tunisie.

COUHERT ET DUPLAT (1993) en étudiant la croissance en hauteur du pin d'Alep en France ont utilisé un âge de référence de 50 ans. Certains auteurs préfèrent utiliser un âge de référence proche de l'âge d'exploitabilité du peuplement car, il exprime mieux la relation entre l'indice de station est la production totale en volume depuis l'origine. Cette relation semble très convenable pour la construction des tables de production.
(LEGOFF 1982).

Dans le même ordre d'idées, HEGER, 1973 (in LEGOFF, 1982) en élaborant des courbes de croissance en hauteur pour Picea glauca au Canada par l'utilisation de 2 âges de références (50 et 100 ans) a montré que le choix de l'âge de référence influe directement sur l'allure de la courbe dés lors qu'on s'intéresse aux classements des stations.

5.3 RESULTATS OBTENUS ET INTERPRETATION

5.3.1 Reconstitution du faisceau expérimental

A partir des analyses de tiges effectuées, nous avons reconstitué graphiquement le faisceau de courbes expérimental sur la base des couples âge/hauteur dominante obtenus par interpolation à des âges multiples de 5 ans, auquel nous avons ajouté par projection dans le graphique les 205 couples âge/hauteur dominante relevés dans les placettes temporaires**.**

Le nuage de points représenté par l'ensemble des valeurs des hauteurs dominantes à des âges donnés et par l'allure des courbes des 25 analyses (Fig 5.4) défini l'intervalle à partir duquel il est possible de tracer des courbes guides à des amplitudes égales. Ces tracés reflètent les niveaux correspondants aux différentes productivités relatives aux sites des plus pauvres aux plus riches.

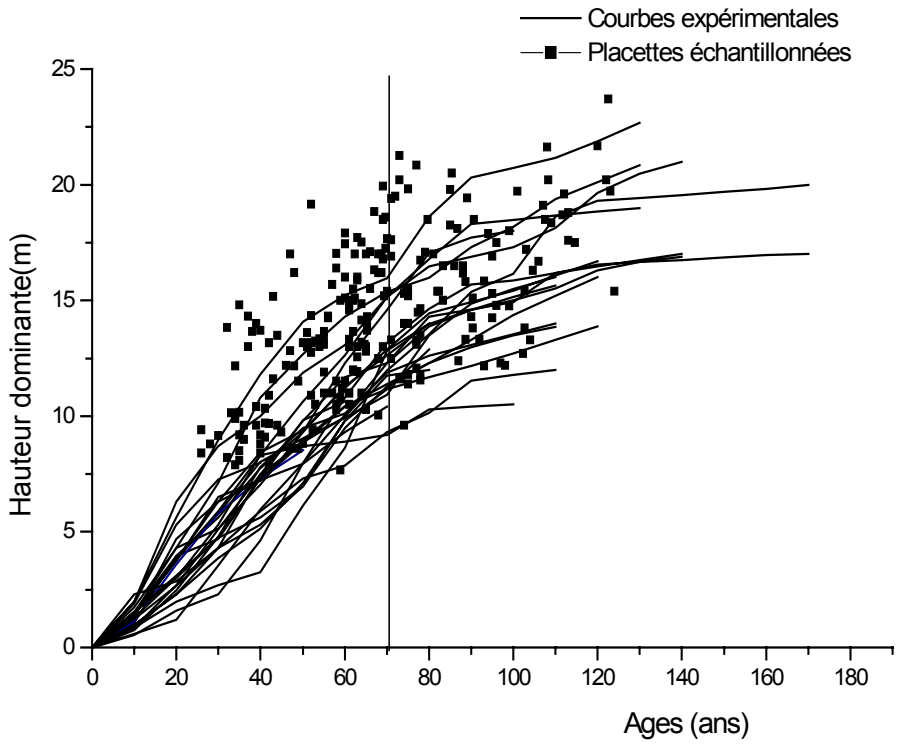


Fig 5.4: Courbes expérimentales et nuage de points des peuplements de pin d'Alep échantillonnés

Les courbes ainsi obtenues diffèrent les unes des autres par le niveau de croissance auquel elles appartiennent. Ce niveau est défini par une valeur appelé indice de fertilité de la station qui caractérise la hauteur dominante à un âge de référence choisi.

5.3.2 Ajustement du modèle de Chapman – Richards

L'ajustement du modèle de Chapman - Richards aux données issues es analyses de tiges a donné l'équation suivante :

$$H_{dom} = k_1 \left[1 - exp^{\left(-0{,}0201 \; x \; \hat{a}ge \right)} \right]^{1{,}5345}$$

La qualité de l'ajustement du modèle par rapport au faisceau expérimental est fournie par la variance expliquée (R^2 = 98,5%) et par l'écart résiduel entre les valeurs observées et celles calculées.

La valeur de cet écart résiduel réduit δ = **0,118** indique qu'il y a une bonne adéquation du modèle choisi avec les données expérimentales.

5.3.3 Etablissement des courbes de productivité

A partir du modèle choisi, 4 courbes de croissance sont tracées pour des âges gradués de 10, 20, 30 ans. etc… Elles correspondent aux sites index de 10 m,13 m,16 m et 19 m pour un âge de référence de 70 ans (tableau 5.1).

Tableau 5.1 : Valeurs du paramètre k1 de l'équation de Chapman- Richards

Classe de fertilité	H70 (m)	K1
1	19 m	29,233
2	16 m	24,617
3	13 m	20,002
4	10 m	15,386

Les classes de croissances sont matérialisées par un faisceau de courbes qui reflète les différents niveaux de productivité (tableau 5.2 et Fig 5.5).

Tableau 5.2 : Valeurs de la hauteur dominante en fonction de l'âge pour les 4 indices de fertilité

Age(ans)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
hdom1	5,4	8,7	11,8	14,5	16,9	19	20,7	22,2	23,4	24,5	25,3
hdom 2	4,5	7,3	9,9	12,2	14,3	16	17,5	18,7	19,7	20,6	21,3
hdom 3	3,7	5,9	8	9,9	11,6	13	14,2	15,2	16	16,7	17,3
hdom 4	2,8	4,6	6,2	7,6	8,9	10	10,9	11,7	12,3	12,9	13,3

hdom1… hdom4 correspond à la hauteur dominante (m) de la classe 1…classe 4

5.4 CARACTERISATION DES CLASSES DE CROISSANCE

A partir de l'indice de station pris à 70 ans, 4 classes de croissance de valeurs moyennes ont étés définies (tableau 5.3). A première vue, il ressort de ce tableau que les peuplements de meilleures qualités possèdent une hauteur dominante la plus grande mais aussi un âge plus faible. La qualité de la station possède donc une relation positive avec l'accroissement annuel.

Tableau 5.3 : Caractéristiques dendrométriques moyennes des classes de croissance

Variables	classes de croissance							
	19m		16m		13m		10m	
	Moy	E.T	Moy	E.T	Moy	E.T	Moy	E.T
Age (ans)	51	18,98	68	21,3	72	18,57	81	16,6
Hdom (m)	16,46	9,84	14,98	3,13	13	2,47	11,38	1,74
H70 (m)*	20	2,09	16	0,87	13	0,86	10	0,80
Hg (m)	13,63	3,64	12,81	3,07	11,14	2,45	9,83	1,82
Dg (cm)	30,2	0,11	34,2	0,11	32,3	0,09	30,4	0,08
N/ha	407	206	361	217,5	352	216,8	322	166,7
G/ha(m^2/ha)	25,3	11,66	27,41	10,41	24,9	9,9	21,3	8,08
V/ha (m^3/ha)	141	77,84	156,2	70,73	140	65,76	118,2	52,9
AMV (m^3/ha/an)	2,50	0,91	2,3	0,86	1,91	0,68	1,40	0,42
ACV (m^3/ha/an)	3,10	0,95	2,73	1,02	2,59	1,06	2,3	0,82
Nombre de placettes	47		72		59		27	

**Significatif au seuil de 5%*

Avec

E.T *= Ecart-type ,* ***Hdom*** *= hauteur dominante (m),* ***H70*** *= hauteur dominante à l'âge de référence de 70 ans (Site index),* ***Hg*** *= hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne,* ***Dg*** *= diamètre quadratique de l'arbre de surface terrière moyenne,* ***N/ha*** *= nombre d'arbres par hectare,* ***G/ha*** *= surface terrière par hectare(m^2/ha),* ***V/ha*** *= volume par hectare (m^3/ha),* ***Amv*** *= accroissement moyen en volume (m^3/ha/an),* ***Acv*** *= accroissement courant en volume (m^3/ha/an)*

Pour donner une signification à ce découpage effectué essentiellement à partir de l'indice de station (hauteur dominante à 70 ans), nous avons utilisé le test de l'analyse de la variance pour la comparaison des variables dendrométriques prises en compte dans les classes *(annexe 3.b)*. Pour l'indice de station, le test est très hautement significatif pour un niveau de 1%. Les classes définies présentent les caractéristiques suivantes :

Une classe 1 de bonne fertilité dont l'indice de station moyen dépasse les 19 mètres. Cette classe est constituée principalement des peuplements jeunes encore en pleine croissance dont la densité dépasse les 400 arbres / ha. L'accroissement en diamètre est plus fort.

Classes 2 et 3. Elles sont intermédiaires et constituées principalement par les peuplements adultes âgés 70 ans. Ces 2 classes couvrent 70% des peuplements et les hauteurs dominantes dépassent rarement les 17 mètres.

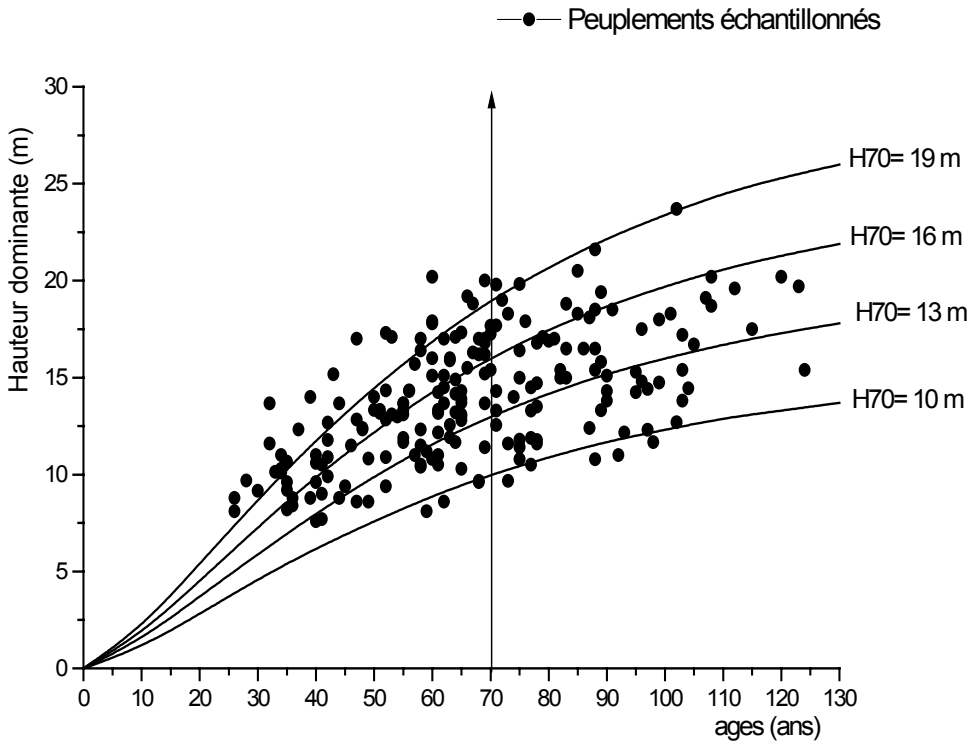


fig 5.5 :Courbes de croissance en hauteur dominante pour le pin d'Alep de Ouled Yakoub et des Béni Oudjana

Classe 4 de fertilité médiocre et d'âge assez élevé. L'indice de station moyen à 70 ans est de 10 mètres. Le volume sur pieds est assez faible. Cette classe peu présente (6%) comporte des peuplements peu productifs et ayant dépassé l'âge d'exploitabilité.

5.5 COMPARAISON DES COURBES OBTENUES A CELLES ETABLIES DANS D'AUTRES SITES.

Les études sur la croissance en hauteur dominante du pin d'Alep sont quelques peu nombreuse dans les pays du pourtour méditerranéen et il ne saurait question de toutes les comparer. Nous effectuerons quelques comparaisons avec celles que nous avons établies dans les Ouled Yagoub et les Béni Oudjana .

Ainsi, les courbes de croissance en hauteur dominante de pin d'Alep obtenues sont parfaitement concordantes avec celles de FRANTZ ET FORSTER (1979) réalisées pour le pin d'Alep des Béni-imloul dans les Aurès et celles tracées par KHERCHOUCHE (2002),

Dans les détails, dans le cas du modèle de FRANTZ ET FORSTER, pour une hauteur dominante prise à l'âge de 100 ans, les classes de fertilité se distinguent très nettement de celles établies dans cette étude par un écart moyen de 0,30 m (fig 5.6 **).**

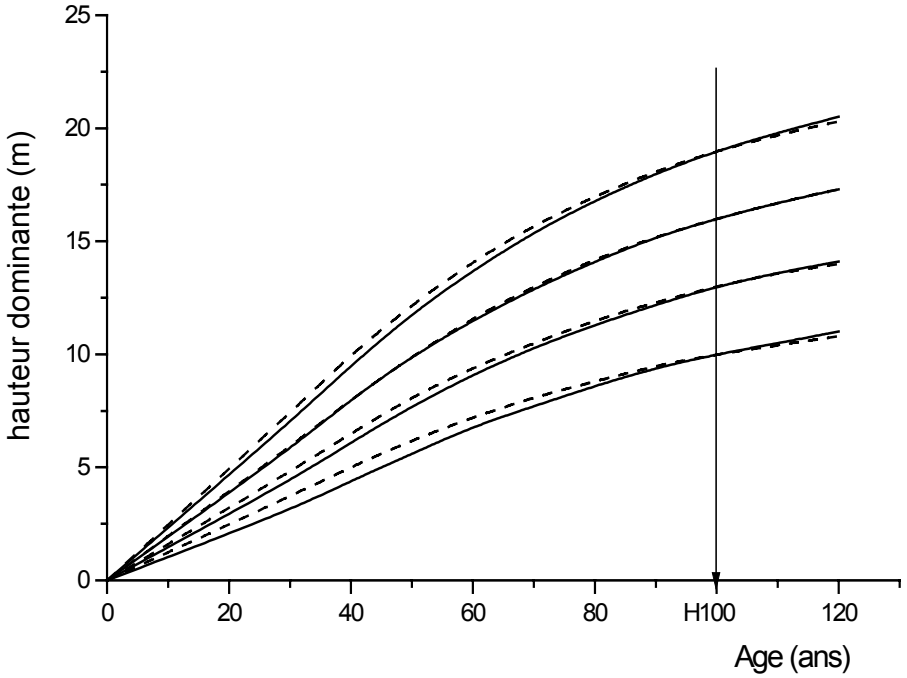


Fig 5.6: Allure des courbes de croissance de la hauteur dominante du pin d'Alep dans 2 sites

—— Ouled Yakoub et Béni Oudjana(Aurès) ; - - - Béni-Imloul (Aurès)

H100 = âge de référence

De même, les courbes élaborées par BROCHIERO (1999) utilisant le même modèle que le nôtre et établies pour une hauteur à 70 ans , l' écart résiduel reste très faible, de 0,20m (Fig 5.7).

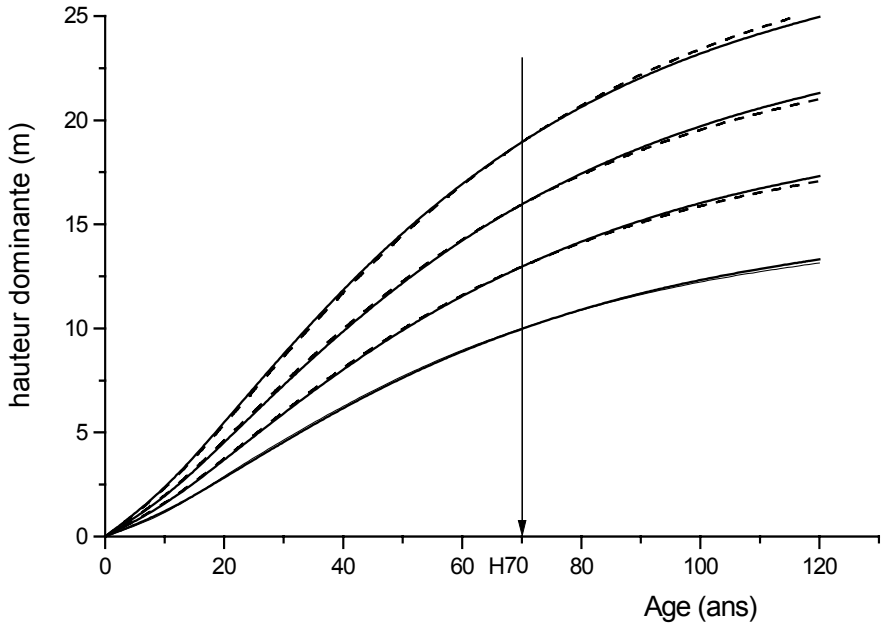


Fig 5.7: Allure des courbes de croissance de la hauteur dominante du pin d'Alep dans 2 sites

—— Ouled yakoub et Béni Oudjana - - - Provence (France)

H70 = âge de référence

Pour les classes de fertilité définies par MONTERO (2000) en Espagne, le modèle de croissance ajusté indique une croissance moins importante au jeune âge. Cet écart diminue progressivement pour s'annuler vers 80 ans. D'une manière générale l'allure de la croissance est la même malgré un écart relativement important, de l'ordre de 2,14 m pour une hauteur dominante à ce même âge. (Fig 5.8).

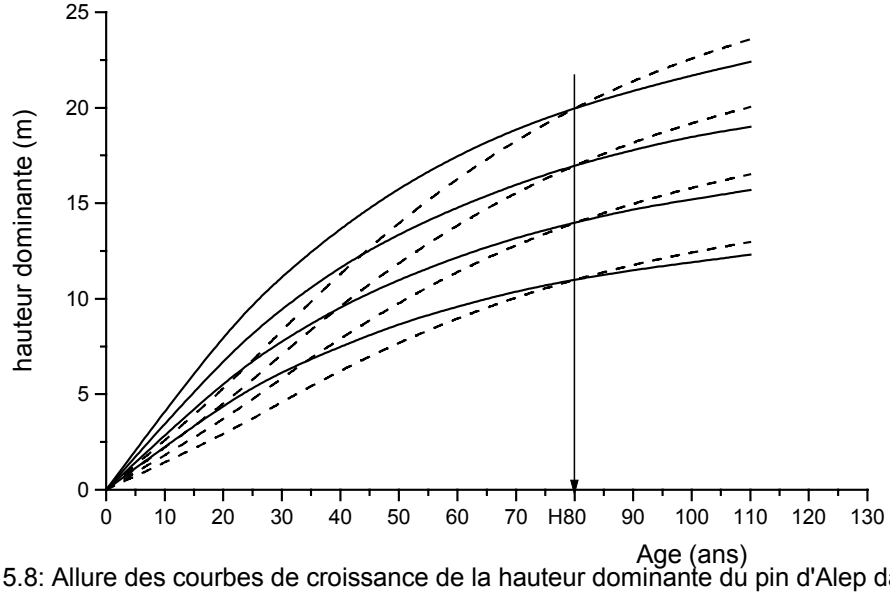


Fig 5.8: Allure des courbes de croissance de la hauteur dominante du pin d'Alep dans 2 sites

—— Ouled Yakoub et Béni Oudjana (Algérie) - - - Espagne

H80 = âge de référence

Par contre, les courbes ajustées par BAKHIYI et al (2000) au Maroc provenant des couples hauteurs dominantes-ages (Fig 5.9) montrent nettement une discordance avec celles du site étudié. En effet, le pin d'alep du Maroc présente une croissance beaucoup plus importante au jeune âge que celui de Ouled Yagoub et Béni Oudjana. Cependant, cette croissance s'estompe et ralentit rapidement à partir de l'âge de 80 ans. Cette divergence entre les 2 peuplements s'explique probablement par l'utilisation de modèle de croissance différent de celui adopté à Ouled Yagoub et Béni Oudjana , susceptible d influencer l'allure de la croissance en hauteur.

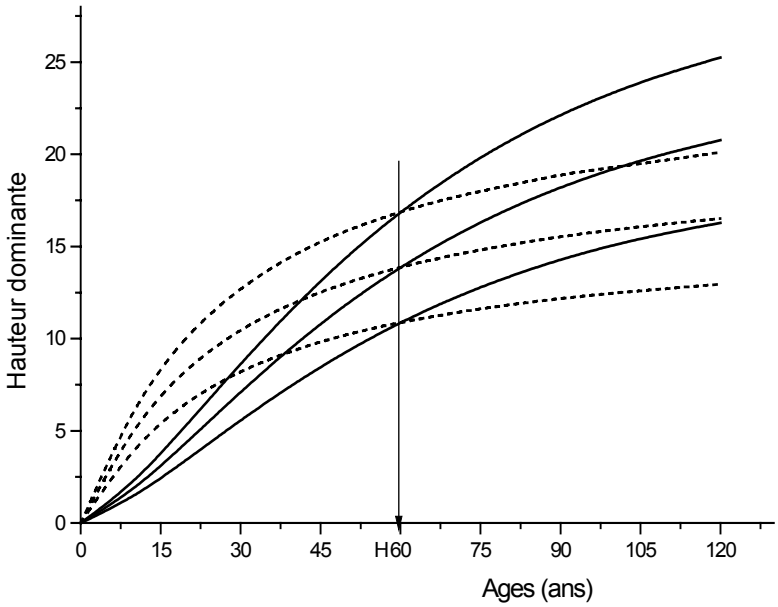


Fig 5.9: Allure des courbes de croissance de la hauteur dominante du pin d'Alep dans 2 sites

Ouled Yakoub et Béni Oudjana (Algérie) ----- Tamza (Maroc)

H60 = âge de référence

En comparaison avec les peuplements de Ouled Yagoub et des Béni Oudjana, ceux de la Tunisie présentent un ralentissement de la croissance assez conséquent à partir de 50 ans (SGHAEIR 2001). Cette constatation va dans le même sens que les observations de SOULERES (1969) qui rapporte que la croissance en hauteur du pin d'Alep en Tunisie se ralentit entre 50 et 70 ans suivant les forêts et qu'à 75 ans , cette croissance est terminée dans toutes les forêts (Fig 5.10).

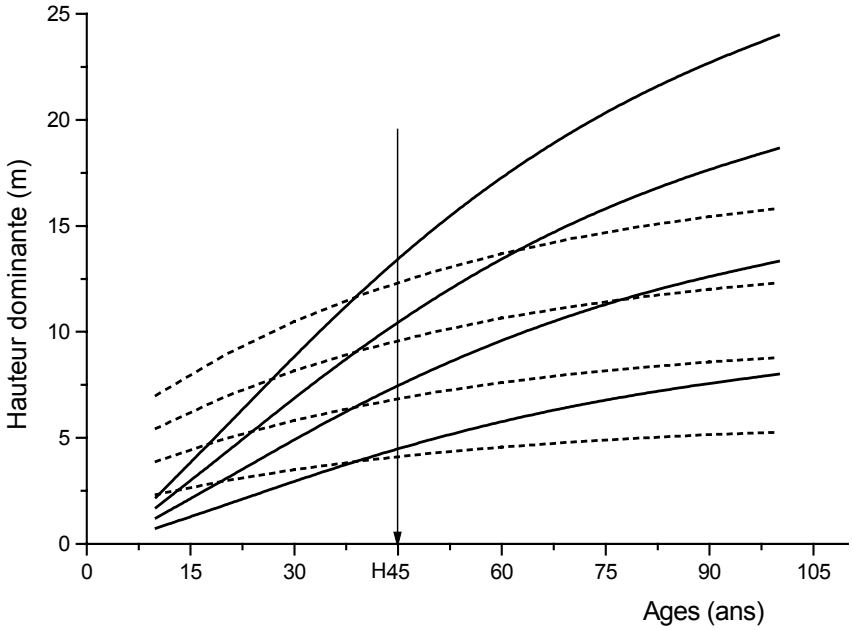


Fig: 5.10: Allure des courbes de croissance en hauteur dominate du pin d'alep dans 2 sites

Ouled yakoub et Béni Oudjana (Algérie) ----- Tunisie

H45= âge de référence

5.8 CONCLUSION

L'étude entreprise sur pin d'Alep dans le massif de Ouled Yagoub et des Béni Oudjana a permis de dégager un certain nombre d'éléments de réponses sur le régime de croissance de cette espèce.

- Les analyses de tiges révèlent d'une façon générale, que les différences d'accroissement en hauteur du pin d'Alep sont dues à la variation de la fertilité de la station. La croissance en hauteur pour toute classe confondue ralentie d'une façon significative au-delà de 80 ans.

- Les études menées dans cette optique dans des contextes géographiques différents montrent une concordance quant à l'évolution de la croissance en hauteur du pin d'Alep pourtant ajustée avec des modèles mathématiques différents.

- L'allure et la croissance en hauteur dépendent beaucoup plus des conditions de la station et de l'âge de référence choisi que du modèle adopté dans sa caractérisation.

- Les résultats obtenus par la méthode des analyses de tiges et complétés par les mesures de couples hauteurs dominantes /âges dans placettes temporaires semblent donner une meilleure précision du régime de la croissance en hauteur.

CHAPITRE 6 : CONSTRUCTION D'UNE TABLE DE PRODUCTION

INTRODUCTION

En matière de gestion sylvicole, les tables de productions constituent un outil efficace de suivi et de prévision permettant de connaître l'évolution probable suffisamment approchée des peuplements forestiers réguliers. Leur construction est basée essentiellement sur les données issues des placettes permanentes mesurées régulièrement sur une longue période ou bien à partir des mesures instantanées effectuées dans les placettes temporaires. Ces dernières sont complétées par des analyses de tiges réalisées sur les arbres dominants.

La méthode adoptée pour l'élaboration d'une table de production pour le pin d'Alep de la région étudiée s'appuie d'une part sur les données issues des placettes temporaires et sur les analyses de tiges et d'autre part, sur le régime de la sylviculture moyenne proposé.

6.1 Rappels bibliographiques

6.1.1. Intérêt des tables de production

D'un intérêt très pratique en sylviculture, les tables de production sont maintenant couramment utilisées dans la gestion et l'évolution des peuplements forestiers. Cette technique née en Allemagne au XIX siècle est d'un usage courant actuellement. (DECOURT, 1964).

Par définition, les tables de production expriment l'évolution des peuplements forestiers équiennes, réguliers et de densités normales. Ces peuplements évoluent normalement dans une zone climatiquement homogène et ne doivent comporter ni vides, ni excédents de matériel et sont soumis à une sylviculture donnée.

Pour une espèce donnée, les tables de production traduisent le développement observé et probable de la croissance des peuplements au cours du temps.

L'intérêt porté pour les tables de production réside dans le fait qu'elles constituent un outil de gestion facile pour le forestier. Elles permettent en effet de décrire le peuplement forestier et son évolution en fonction de la sylviculture pratiquée.

Elles peuvent prévoir et contrôler la production des peuplements, comparer la croissance d'une même essence dans des régions différentes et peuvent constituer de ce fait un excellent critère pour le choix des espèces à reboiser en lien avec un catalogue de station. Cependant, les tables de production telles quelles sont construites ne concernent que les peuplement réguliers monospécifiques et les valeurs qu'elles contiennent représentent des tendances moyennes de l'essence étudiée. Elles doivent donc êtres utilisées avec prudence.

Elles ne constituent en réalité qu'un élément guide valable pour une espèce donnée évoluant dans un contexte géographiquement assez important et ne peuvent rendre compte des variations locales de croissance.

Les valeurs des différentes caractéristiques dendrométriques sont rapportées à l'hectare, à des âges espacés et par niveau de productivité. Ces valeurs sont présentées sous forme de tableaux chiffrés de présentation classique et comporte en général 3 types de peuplements :

- Peuplement principal : Constitué par des arbres sur pieds restant après éclaircie
- Peuplement accessoire : Ce sont les peuplements qui ont subit une éclaircie
- Peuplement total : La sommation des valeurs des 2 précédents.

6.1.2 Principe de construction

La construction des tables de production repose sur l'hypothèse fondamentale selon laquelle dans une région donnée, l'espèce étudiée obéit à une même loi de croissance moyenne (DECOURT,1973). Ainsi, les données nécessaires pour leur construction proviennent en général des placettes permanentes identifiées et matérialisées sur le terrain. Ces placettes constituées par des peuplements monospécifiques, équiennes et d'âges gradués doivent obligatoirement couvrir toutes les gammes de variabilité des conditions du milieu et de croissance de l'espèce étudiée. Pour évaluer la dynamique de la croissance des espèces, il est nécessaire que les placettes définies soient régulièrement suivies, parfois même sur une longue période.

Toutefois, BARTET ET BOLLIET, (1976) constatent que les relations dendrométriques établies pour les peuplements inéquiennes donnent pratiquement les mêmes résultats que celles des peuplements équiennes et ils concluent que les résultats des tables sont aussi applicables pour les peuplements naturels, du moment que ceux – ci présentent un aspect régulier.

Les tables de production peuvent être aussi élaborées à partir de données issues des placettes temporaires qui sont complétées en général par des d'analyses de tiges et par d'autres observations issues de placettes semi-temporaires dont la période est limitée dans le temps. Ces placettes temporaires quoique ne donnent aucune information ni sur le passé sylvicole, ni sur les éclaircies pratiquées même récemment dans les peuplements sont par contre d'une grande utilité car elles nous renseignent instantanément sur le matériel présent et permettent un gain de temps et d'argent.

Les placettes choisies doivent êtres représentatives des peuplements de point de vue dimension, structure et répartition des arbres.

Les données brutes recueillies dans les placettes d'expérimentation sont soumises à un ensemble de transformations qui permettent d'une part de déterminer et de différencier les niveaux de productivité et d'autre part de reconstituer l'état successif des peuplements par l'utilisation de relations mathématiques et statistiques entre les variables recueillies.

Suivant la nature des données récoltées, 2 méthodes sont envisagées l'une graphique et l'autre mathématique :

- La méthode graphique : Utilise notamment les données issues des placettes permanentes et semi-permanentes. Les mesures effectuées périodiquement sur le volume total sur une période assez longue permettent à des intervalles de temps réguliers de 5 ou 10 ans de représenter graphiquement la production totale en fonction de l'âge. Les classes de croissance sont définies à partir du volume total à l'hectare à un âge donné.

Les diverses caractéristiques dendrométriques sont ensuite réparties par niveau de fertilité pour les divers types de peuplements constituant la table de production.

- La méthode mathématique : Cette méthode, largement utilisée considère la hauteur dominante comme critère déterminant dans la caractérisation des classes de productivité et des courbes de niveaux. Elle est basée fondamentalement sur la relation étroite qui existe entre la production totale en volume ou en surface terrière est la hauteur dominante (DUPLAT, 1986).

6.2 MATERIEL ET METHODE

6.2.1 Peuplements étudiés et paramètres mesurés

En l'absence des placettes permanentes dans les peuplements du pin d'Alep dans les massifs de Ouled Yagoub et des Béni Oudjana, nous avons utilisé des données issues de placettes temporaires. Ce genre de placettes qui constituent le seul matériel disponible nous renseigne uniquement sur le volume sur pied et ne donnent aucune indication sur le volume total produit depuis l'origine. Ainsi, Le volume parti en éclaircie ou en mortalité reste non connu. Par contre, elles nous permettent d'avoir accès indirectement à la production totale par l'utilisation de la hauteur dominante à un âge de référence fixé ici à 70 ans comme indicateur de productivité.

L 'étude porte sur un total de 205 placettes échantillonnées, représentant toute la gamme de variabilité des peuplements du point de vue âge et milieux écologiques

Nous avons tenu à ce que les placettes choisies représentent l'éventail des fertilités rencontrées. Les placettes retenues sont situées dans des peuplements purs normalement denses et sans trouée. La surface unitaire varie de 5 à 10 ares selon la densité et la structure des peuplements. *(Annexe 4).*

Au niveau de chaque placette sont récoltées les variables caractéristiques des peuplements comme:

- ✓ la circonférence de tous les arbres
- ✓ la hauteur dominante définie par la hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare
- ✓ l'âge défini à la tarrière de Pressler à 0,30 m du sol
- ✓ l'accroissement radial mesuré sur les 10 derniers cernes est déterminé par classes de diamètre à partir d'un échantillon représentatif des effectifs .

Ces mesures ont permis de calculer pour chaque placette:

- La circonférence moyenne (*cg)* ou le diamètre moyen (*dg)* correspondant à l'arbre de surface terrière moyenne :

$$dg = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{p} d_i^2}{n}}$$

avec

di = diamètre de l'arbre i de la placette ; *n = le nombre d'arbres de la placette*

- La hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne *(hg)*
- Le nombre d'arbres à l'hectare (*N/ha)*
- La surface terrière à l'hectare *(G/ha)*
- Le volume à l'hectare *(V/ha)de la placette* déterminé à partir de la somme des volumes individuels *(vi)* des arbres calculés à partir d'un tarif cubage individuel à 2 entrées : *V/ha = Σ vi/s* *s : surface de la placette en hectares*
- L'accroissement moyen en volume (m^3/ha/an) : $Amv = \frac{V/ha}{Age}$
- L'accroissement courant en volume (m^3/ha/an) déterminé à partir de la dérivée du tarif à une entrée établi au *chapitre 4*, de la forme: **V = - 0,025+5 ,58 $d^{2,174950}$**

D'où *ACV= [(5.58 x 2.17459 x dg $^{(2.17495-1)}$) x id] N/ha*

Avec

Acv = accroissement courant en volume (m^3/ha/an)

id = accroissement moyen en diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne en cm/an

N/ha = nombre d'arbres par hectare de la placette

dg = arbre de surface terrière moyenne

- Sur certaines placettes, nous avons pratiqué des analyses de tiges sur l'arbre dominant en vue de reconstituer l'évolution de la hauteur dominante dans le temps.

6.2.2 Modèle de sylviculture proposé

En réalité, il n'existe pas de régime d'éclaircie idéal qui peut être appliqué pour l'ensemble des peuplements d'un massif car chaque peuplement possède une situation bien singulière en relation avec les caractéristiques de la station. C'est la raison pour laquelle le choix du régime d'éclaircie ne constitue pas un modèle fixe et rigide, il tient compte en réalité d'une part des conditions écologiques et de croissance de l'espèce étudiée et d'autre part de l'objectif économique fixé par le sylviculteur. Il est décidé sur la base des critères exprimant la sylviculture pratiquée et le type de traitement adopté.

Les caractéristiques qui permettent de reconstituer l'état successif des peuplements sont établies à partir des mesures effectuées sur les placettes temporaires et sont valables pour une sylviculture moyenne.

La démarche suivie repose essentiellement sur 3 types de relations complémentaires (DECOURT, 1972 a; DECOURT, 1972 b; BARTET et BOLLIET, 1976 ; DUPLAT, 1978 ; RONDEUX, 1993) :

1. Une relation de productivité du type ***Hdom=f (A,I)*** liant la hauteur dominante à l'âge ***(A)*** et à l'indice de station (***I)*** . Cette relation permet de matérialiser les niveaux de productivité de la pinède par l'utilisation du modèle de Chapman-Richards sous la forme générale **:** $\mathbf{hdom = k_1[1 - exp(- k_2 \times age)]^{k_3}}$

2. Un ensemble d'équations indépendantes de l'âge et de la productivité de la station définissant l'état des peuplements et de leur évolution probable avant et après éclairci.

Les variables explicatives dans ce système sont la hauteur dominante (h_{dom}) et le nombre de tiges (N) (DECOURT, 1965 et 1969; MONTERO, 2000).

$$Hg = f(h_{dom}, N) \qquad dg = f(h_{dom}, N)$$

$$G = \left(\frac{\pi d^2}{4\pi} \right) N \qquad V = f(G, h_{dom}, N)$$

3. Des relations exprimant la sylviculture proposée et le choix du régime d'éclaircie. Ces relations sont définies par les rotations, l'intensité et la nature des interventions :

- La rotation de l'éclaircie est déterminée à partir de l'accroissement de la hauteur moyenne ou de la hauteur dominante. Autrement dit, l'éclaircie est fixée chaque fois que la hauteur dominante aura atteint une quantité donnée. La rotation est exprimée à partir des relations :

R = f (hdom, Io) ; R = f (hdom) ou R = f (A ,Io) ; R = f(A).

Avec :

R = rotation, hdom = hauteur dominante, Io = Indice de station, A = âge

- L'intensité des éclaircies est matérialisée par la diminution du nombre de tiges à chaque éclaircie et pour une classe de productivité donnée *N = f (A, hdom ,Io).* En d'autres termes, elle définit le nombre de tiges restantes après éclaircie. L'intensité est déterminée par le facteur d'espacement de Hart-Becking (BOUDRU, 1989) qui présente un grand intérêt pour caractériser la densité d'un peuplement. Cet indice exprimé à l'origine en fonction de l'espacement moyen (a) entre les arbres sur la hauteur dominante du peuplement en mètres) $S\,\% = \frac{a\ x\ 100}{hdom}$ peut aussi se mettre sous la forme $S\,\% = \frac{10746}{hdom\ \sqrt{N}}$, où N représente le nombre de tiges à l'hectare. Le facteur d'espacement est d'autant plus petit que l'éclaircie est faible.

- Le type (ou la nature) de l'éclaircie en liaison directe avec l'intensité est déterminé par le rapport. Ce rapport caractérise la nature de l'éclaircie et indique si celle ci porte par le haut ou par le bas. Ce facteur *(k)* est d'autant plus grand que l'éclaircie est par le haut..

$$k = \frac{ve}{vm} = \frac{Ve}{Ne}\ x\ \frac{N}{V}$$

Avec :

ve = volume de l'arbre moyen enlevé en éclaircie ; vm = volume de l'arbre moyen avant éclaircie

Ve et Ne : Volume et nombre d'arbres enlevés par l'éclaircie ;

N et V : Volume et nombre d'arbres avant l'éclaircie

6.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

6.3.1 Caractéristiques dendrométriques des placettes

Les données recueillies dans les placettes échantillonnées ont servit à la construction de la table de production (Annexe 4). La fig 6.1 illustre la répartition des arbres par classe de diamètre des peuplements retenus. Elle définit un aspect plus ou moins normal avec une dissymétrie à gauche (courbe présentant une extension vers la droite) caractéristique des peuplements pas trop âgés.

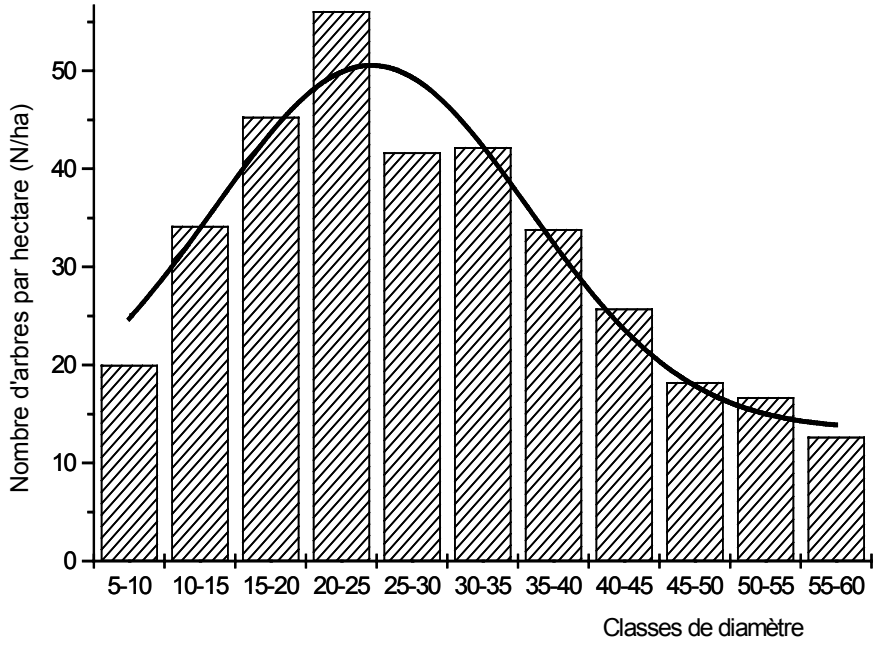


Fig 6.1:Répartition du nombre d'arbres par classes de diamètre

Le tableau 6.1 donne par classes d'âge, les valeurs moyennes minimales et maximales ainsi que l'écart- type des principales variables dendrométriques: (la hauteur dominante *(hdom)*, le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne *(dg)*, la surface terrière *(G)* le nombre de tiges à l'hectare *(N)* et le volume du bois fort à l'hectare *(V).*

Le découpage en classes d'âge adopté montre que la structure de la forêt s'apparente à une futaie adulte irrégulière dont plus de 70 % des peuplements ont moins de 80 ans . En matière d'aménagement, cette structure s'approche de l'état d'équilibre.

Tableau 6.1 : Valeurs moyennes des principales variables dendrométriques des classes d'âges.

Classe d'age		20-40	41-60	61-80	80-101	101-120
Nombre de placettes		23	55	76	34	17
hdom(m)	Moyenne	10,0	12,8	14,5	15,7	17,8
	Minimum	7,6	8	8,6	10,8	12,7
	Maximum	14	20,2	20,8	21,6	23,7
	Ecart-type	1,67	2,80	2,84	2,68	2,83
dg (m)	Moyenne	0,17	0,27	0,34	0,38	0,49
	Minimum	0,12	0,12	0,17	0,26	0,37
	Maximum	0,27	0,44	0,47	0,48	0,64
	Ecart-type	0,04	0,08	0,06	0,06	0,05
N/ha	Moyenne	661	445	297	263	202
	Minimum	300	180	160	170	160
	Maximum	1080	1360	780	516,7	280
	Ecart-type	236,2	229,6	115,1	92,05	31,00
G(m^2/ha)	Moyenne	13,8	22,5	26,4	29,0	37,7
	Minimum	6,9	8,0	9,38	12,6	24,4
	Maximum	29,5	45,7	52,3	53,6	57,7
	Ecart-type	5,01	9,3	9,41	8,05	9,52
V(m^3/ha)	Moyenne	57,2	119,4	153,2	171,5	234,8
	Minimum	18,2	40	39,8	67,9	142,3
	Maximum	142,7	264,8	318,6	311,7	376,9
	Ecart-type	27,21	59,05	58,58	49,89	63,44

Avec

Hdom = hauteur dominante (m) ; Dg = diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne (m) ; N/ha = nombre de tiges à l'hectare ; G/ha = surface terrière à l'hectare (m^2/ha) ; V/ha = volume par hectare (m^3/ha)

6.3.2 Elaboration de la table de production

6.3.2.1 Fixation des niveaux de productivité

La caractérisation des niveaux de productivité est établie par la croissance en hauteur dominante ajustée à partir du modèle de croissance de Chapman–Richards aux données des analyses de tiges.

$$H_{dom} = k_1 \left[1 - exp^{\left(-0{,}0201 \; x \; âge \right)} \right]^{1{,}5345}$$

Le modèle adopté exprime la variabilité du potentiel productif du pin d'Alep en 4 niveaux de productivité d'amplitudes égales (10 m, 13 m, 16 m et 19 m) qui correspondent à des hauteurs dominantes à 70 ans

6.3.2.2 Relations de description des peuplements

Après ajustement aux données des placettes échantillonnées, nous avons retenu les équations suivantes qui expliquent le volume sur pieds à partir de la hauteur dominante et de la surface terrière (***G***) et le diamètre moyen (***dg***) à partir de la hauteur dominante et du nombre d'arbres à l'hectare (***N***)

1. ***V = - 47,472 + 2,6076 x hdom+ 6,0677 x G*** $R^2 = 0,98$ *Cvr = 5,8%*
2. ***dg = (- 0,038 + 0,018 x hdom+31.25 / N) x 100*** $R^2 = 0,81$ *Cvr =23,8%*

6.3.2.3 Caractéristiques de la sylviculture choisie

Dans le massif de Ouled Yagoub et des Béni Oudjana, comme d'ailleurs pour l'ensemble de la forêt algérienne, l'absence des traditions sylvicoles dans la gestion des peuplements forestiers rend difficile le choix d'un régime sylvicole. On se demande alors quelle est la sylviculture la mieux adaptée dans le contexte actuel.

1. Rotation

L'idéal pour le pin d'Alep est de fixer des rotations assez espacées pour éviter la nature brusque de l'éclaircie (BENZYANE,1992). Cet espacement évite une concurrence vitale entre les arbres et permet ainsi de contrôler au fur et à mesure la croissance en diamètre.

Dans les massifs de Ouled Yagoub et des Béni Oudjana, on rencontre des stations où le pin d'Alep présente une croissance juvénile très importante. Cette observation est confirmée par les analyses de tiges effectuées sur des arbres appartenant aux différentes classes de fertilité qui montrent que le gain en hauteur est de 2,0 mètres en moyenne tous les 10 ans jusqu'à 40 ans. Cet accroissement approche les 15 cm /an entre 40 et 80 ans. Au-delà de cet âge, la croissance diminue progressivement (moins de 10 cm/an à 90ans) pour atteindre 5 cm/an après 100 ans.

Cette dynamique observée sur la stratégie de la croissance en hauteur du pin d'Alep de la région, nous a conduit à opter pour une rotation uniforme de 10 ans. MONTERO (2000) a appliqué la même rotation pour la construction des tables de production du pin d'Alep en Espagne. FRANTZ ET FORSTER (1979) ont adopté pour les Béni-Imloul une rotation de 5 ans. Pour la même espèce, COUHERT et DUPLAT (1993) ont choisi plutôt une rotation variable suivant les classes de fertilité adoptées.

2. Intensité de l'éclaircie :

Devant l'absence de données disponibles pour caractériser l'intensité de l'éclaircie, nous avons basé notre choix d'une part sur les états de densités relevés dans les placettes temporaires. (fig 6.2) et d'autres part sur l'évolution du nombre d'arbres en fonction de la hauteur dominante (fig 6.3).

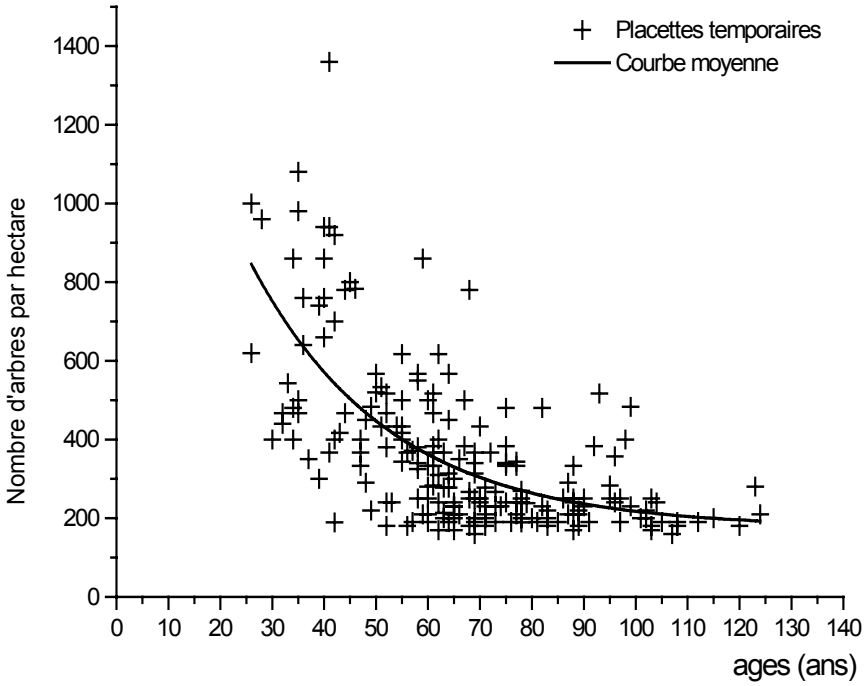


Fig 6.2: Evolution du nombre d'arbres en fonction de l'age

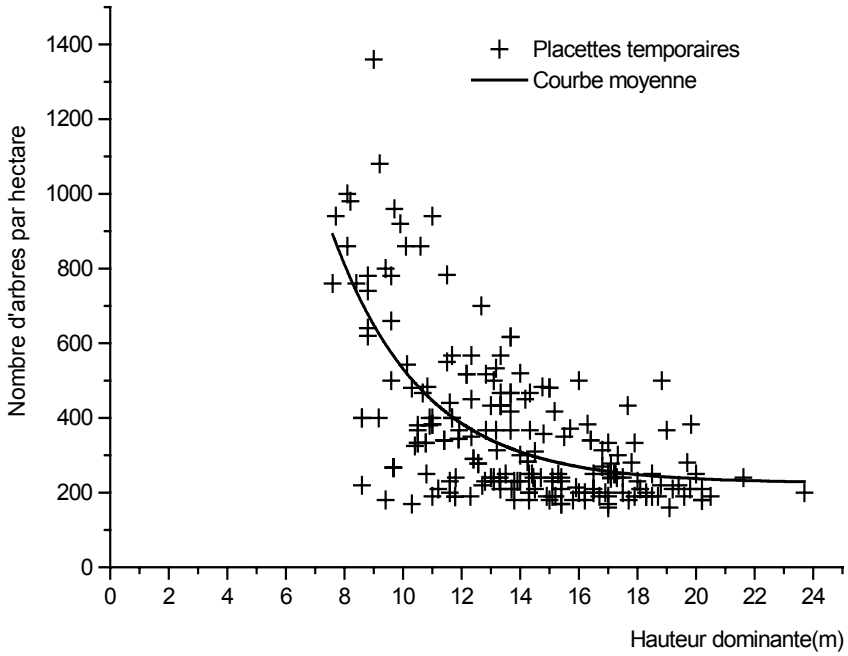


Fig 6.3: Evolution du nombre d'arbres en fonction de la hauteur dominante

Le tableau 6.2 donne un aperçu des limites supérieure et inférieure du nombre d'arbres relevés dans les placettes échantillonnées. Il montre que la densité est très variable pour les petites hauteurs dominantes, l'écart du nombre d'arbres pour la même hauteur dominante se réduit au fur et à mesure que les peuplements évoluent avec l'âge. Cet état reflète principalement l'existence de milieux écologiques de productivités variées de la pinède.

Tableau 6.2 : limites du nombre d'arbres en fonction de la hauteur dominante

Hauteur dominante (m)	Nombre d'arbres par hectare	
	Minimum	Maximum
8	250	1500
10	250	1400
12	250	1100
14	250	800
16	200	550
18	200	400
20	200	300

Cette méthode pratique pour une sylviculture moyenne est basée sur l'évolution du nombre de tiges en relation avec l'âge *(A*), la hauteur dominante *(hdom)* et pour une classe de productivité donnée, son indice de station (*Io*).

3. Nature de l'éclaircie

Le pin d'Alep est une essence de lumière. Il ne permet pas une densité des peuplements très importante dans la majorité des cas et se caractérise relativement par une croissance assez lente.

Le facteur k qui caractérise la nature de l'éclaircie est fixé soit par des observations directes dans les placettes permanentes soit dans les placettes temporaires où une éclaircie vient d'être pratiquée ou bien encore tiré des tables de production construite pour une sylviculture voisine. Il peut être aussi déduit tout simplement à partir de la courbe de répartition du nombre de tiges à l'hectare en fonction de la hauteur dominante (DECOURT, 1972 a).

Dans la pinède de Ouled Yagoub et des Béni Oudjana, en l'absence de placettes permanentes permettant d'évaluer le rapport d'éclaircie, celui ci est fixé à 0.65. Ce choix est motivé d'une part par la structure des peuplements et des densités observées et d'autre part sur l'appui des pratiques sylvicoles appliquées dans la région. En effet, les peuplements

de ces 2 massifs sont encore assez jeunes dans leur majorité. Nous estimons donc qu'une éclaircie plutôt sélective est mieux préconisée. Elle enlèvera les arbres gênants et sans avenir et travaille au profit de l'élite

Ces éclaircies proposées seront avant tout des éclaircies par le bas qui interviennent dès l'âge de 20 ans, modérées et de faibles intensités. Elles ne doivent être ni brutales, ni trop fréquentes. Après un dépressage réalisé sur la densité initiale de la régénération, le nombre de tiges doit se stabiliser entre 700 et 900 tiges à l'hectare pour un âge compris entre 20 et 30 ans selon les stations. Le volume des interventions est de l'ordre de 33% à la première éclaircie à l'âge de 20 ans pour la 1ère classe de fertilités 1, de 25% pour les classes 2 et 3 à 30 ans alors qu'il est seulement de 19% pour la classe de fertilité 4 à l'âge de 40 ans. Les volumes extraits correspondent respectivement à un nombre d'arbres à prélever de 51% 38 %et 29% aux âges indiqués (fig 6.4 et fig 6.5) .

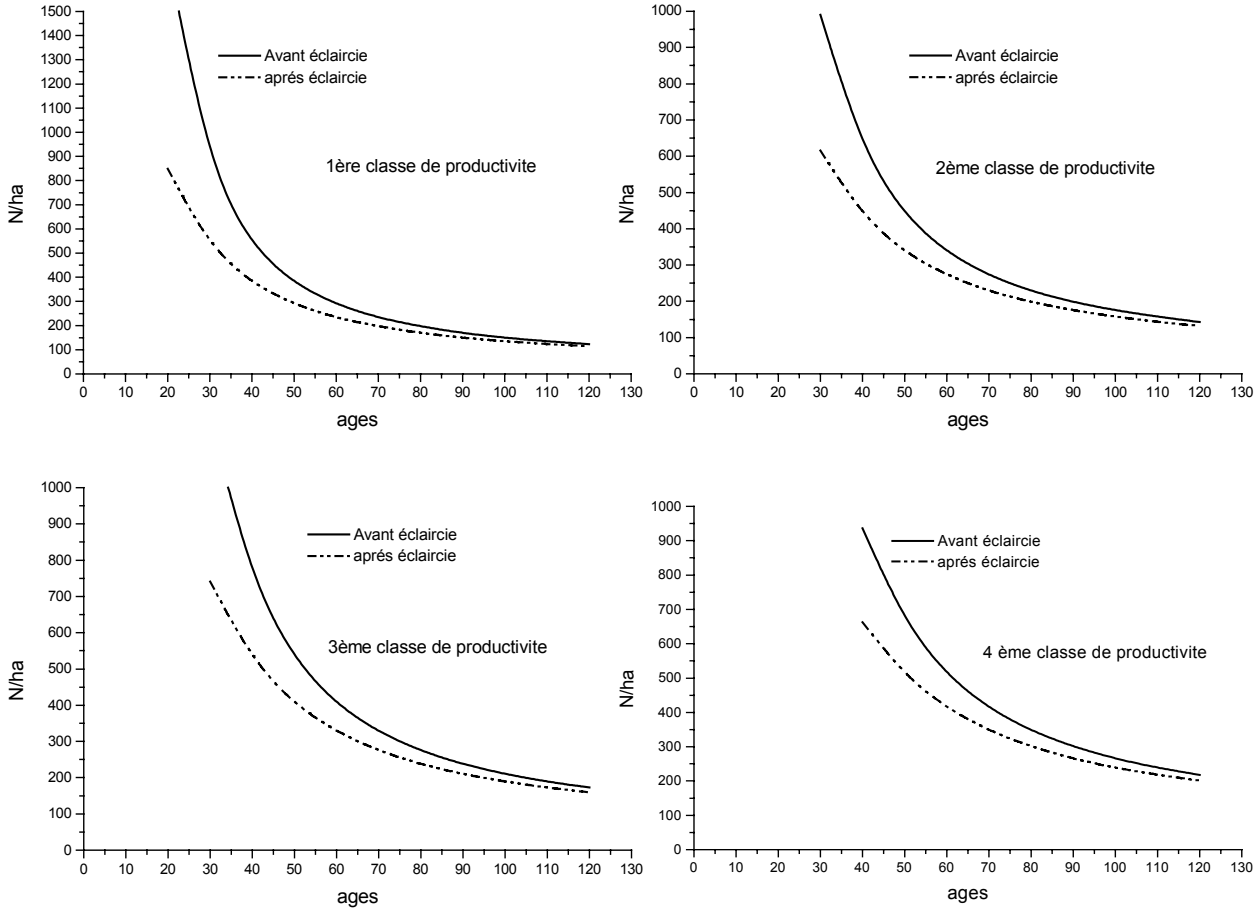


Fig 6.4 :Nombres d'arbres par hectare avant et après éclaircie pour les 4 classes de productivité du pin d'Alep

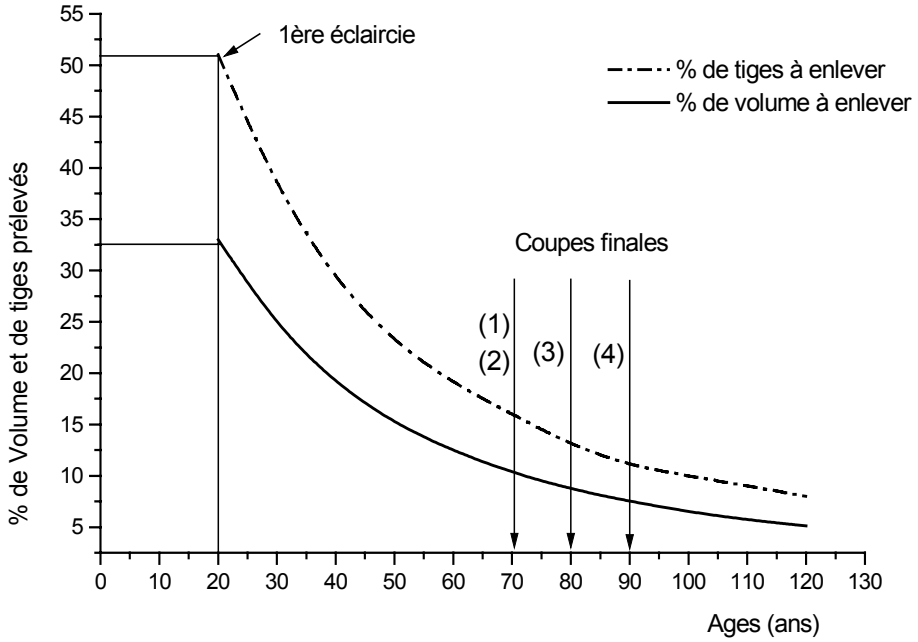


Fig 6.5 : Pourcentage de volume et de tiges prélevés de la 1ère éclaircie jusqu'à la coupe finale

(1) 1ère classe de productivité (2) 2ème classe de productivité

(3) 3ème classe de productivité (4) 4ème classe de productivité

Notons par ailleurs que (THIVOLLE-CAZAT,1986) cité par BENZYANE et al (1992) estime qu'une éclaircie sélective sur les résineux enlèvera un pourcentage de tiges à compris entre 33 et 50% correspondrait à un volume à prélever de 15 à 25 %.

En pratiquant ce mode de traitement, le maximum d'accroissement moyen annuel en volume varie de 4,4m^3/ha/an pour la première classe de fertilité à 3,3 m^3 /ha /an pour la deuxième classe à un âge 70 ans. Ces 2 classes correspondent respectivement à des diamètres d'exploitabilité de 45 cm et 38 cm. Ce maximum est 2,3 m^3/ha/an pour un diamètres d'exploitabilité de 34 cm pour la classe 3 à un âge de 80 et arrive à 1,4 m^3 / ha / an pour la classe 4 à 90 ans d'âge et à un diamètre de 28 cm (tableau 6.3; fig 6.6 et fig 6.7). En fin de cycle, le nombre d'arbres à exploiter pour les peuplements principaux arrivera respectivement à 196, 228, 237 et 265.

Pour la même espèce, COUHERT et DUPLAT (1993) ont préconisé une intensité forte des éclaircies et un choix du rapport d'éclaircie de 0,85 qui enlèverait à 60 ans 43 % du nombre d'arbres pour la première classe de fertilité jusqu'à 60 % pour la dernière.

Dans le massif des Béni-imloul, FRANTZ ET FORSTER (1979) ont pratiqué aussi une éclaircie fortement par le haut et beaucoup plus systématique. Ce choix est justifié principalement par l'âge avancé de la majeure partie de la pinède et l'état sanitaire des arbres fortement attaqués par le polypore.

Tableau 6.3 : Table de production pour le pin d'Alep de Ouled Yagoub et des Béni-Oudjana

1ème classe h 70 =19 m productivité =4,4m^3/ha/an

Peuplement principal						Eclaircie			Production et accroissements			
Age	hdom	N	dg	G	V	Ne	Ge	Ve	PT	AMV	ACV	GTOT
20	5.4	849	8.9	5.3	10.0	885	2.6	4.9	14.9	0.7		8.0
30	8.7	528	17.1	12.1	54.4	321	3.9	17.7	77.1	2.6	6.2	18.6
40	11.8	374	24.9	18.2	97.0	154	4.3	22.7	142.4	3.6	6.5	29.1
50	14.5	287	32.3	23.5	134.4	87	4.2	24.0	203.8	4.1	6.1	38.5
60	16.9	232	39.1	27.9	166.2	55	3.9	23.5	259.1	4.3	5.5	46.8
70	19.0	196	45.3	31.5	192.7	37	3.6	22.1	307.7	4.4	4.9	54.0
80	20.7	169	50.9	34.4	214.6	26	3.3	20.5	350.1	4.4	4.2	60.2
90	22.2	150	55.9	36.7	232.5	19	3.0	18.8	386.7	4.3	3.7	65.6
100	23.4	135	60.4	38.6	247.1	15	2.7	17.1	418.5	4.2	3.2	70.1
110	24.5	123	64.5	40.1	259.0	12	2.4	15.6	446.0	4.1	2.7	74.1
120	25.3	114	68.1	41.4	268.6	10	2.2	14.3	469.9	3.9	2.4	77.5

2ème classe h 70 =16 m productivité =3,3 m^3/ha/an

Peuplement principal						Eclaircie			Production et accroissements			
Age	hdom	N	dg	G	V	Ne	Ge	Ve	PT	AMV	ACV	GTOT
30	7.3	616	13.8	9.2	34.1	374	3.0	11.1	45.2	1.5		14.5
40	9.9	436	20.4	14.3	69.2	180	3.3	16.2	96.6	2.4	5.1	23.0
50	12.2	334	26.7	18.7	100.4	102	3.3	17.9	145.6	2.9	4.9	30.8
60	14.3	271	32.5	22.4	127.0	64	3.2	17.9	190.2	3.2	4.5	37.6
70	16.0	228	37.7	25.5	149.3	43	2.9	17.1	229.6	3.3	3.9	43.6
80	17.5	197	42.5	27.9	167.8	31	2.7	16.0	264.1	3.3	3.4	48.7
90	18.7	175	46.7	30.0	183.0	23	2.4	14.8	294.0	3.3	3.0	53.2
100	19.7	157	50.6	31.6	195.4	17	2.2	13.6	320.0	3.2	2.6	57.0
110	20.6	143	54.0	32.9	205.5	14	2.0	12.4	342.5	3.1	2.3	60.3
120	21.3	132	57.2	34.0	213.7	11	1.8	11.3	362.1	3.0	2.0	63.2

3ème classe h 70 =13 m productivité =2,3 m^3/ha/an

Peuplement principal						Eclaircie			Production et accroissements			
Age	hdom	N	dg	G	V	Ne	Ge	Ve	PT	AMV	ACV	GTOT
30	5.9	741	10.5	6.4	14.5	450	2.1	4.7	19.2	0.6		9.5
40	8.0	525	15.9	10.5	42.1	216	2.5	9.9	56.7	1.4	3.7	16.1
50	9.9	402	21.1	14.0	67.0	122	2.5	11.9	93.5	1.9	3.7	22.1
60	11.6	326	25.8	17.1	88.4	77	2.4	12.5	127.4	2.1	3.4	27.6
70	13.0	274	30.1	19.6	106.5	52	2.2	12.2	157.7	2.2	3.0	32.3
80	14.2	237	34.0	21.6	121.5	37	2.1	11.6	184.3	**2.3**	2.7	36.4
90	15.2	210	37.5	23.3	133.9	27	1.9	10.8	207.5	2.3	2.3	39.9
100	16.0	189	40.7	24.6	144.1	21	1.7	10.0	227.7	2.3	2.0	43.0
110	16.7	173	43.6	25.7	152.4	17	1.6	9.2	245.2	2.2	1.8	45.7
120	17.3	159	46.1	26.6	159.3	13	1.4	8.5	260.5	2.2	1.5	48.0

4ème classe h 70=10m productivité =1,4 m^3/ha/an

Peuplement principal						Eclaircie			Production et accroissements			
Age	hdom	N	dg	G	V	Ne	Ge	Ve	PT	AMV	ACV	GTOT
40	6.2	663	11.4	6.8	15.8	273	1.59	3.7	19.6	0.5		10.0
50	7.6	508	15.4	9.5	34.4	154	1.70	6.1	44.2	0.9	2.5	14.4
60	8.9	412	19.1	11.8	50.6	97	1.67	7.1	67.5	1.1	2.3	18.4
70	10.0	346	22.5	13.8	64.3	65	1.58	7.4	88.7	1.3	2.1	21.9
80	10.9	300	25.5	15.4	75.9	46	1.47	7.2	107.5	1.3	1.9	25.0
90	11.7	265	28.3	16.7	85.5	34	1.35	6.9	124.0	1.4	1.7	27.7
100	12.3	239	30.8	17.8	93.4	26	1.23	6.5	138.4	1.4	1.4	30.0
110	12.9	218	33.0	18.6	100.0	21	1.12	6.0	151.0	1.4	1.3	32.0
120	13.3	201	35.0	19.4	105.4	17	1.03	5.6	162.0	1.3	1.1	33.7

6.4 RELATION PRODUCTION TOTALE – HAUTEUR DOMINANTE

Il est admis aussi que la production totale *(PT)* en volume d'un peuplement d'une essence donnée est fonction de sa seule hauteur (DECOURT, 1970). Celle ci résulte de la connaissance au préalable du volume des arbres ou des peuplements sur pied *(Vp)* ajouté à celui parti en éclaircie *(Ve) :* ***PT = Vp+Ve.***

Dans le cas ou un peuplement n'a pas été éclaircie ou du moins a subit une intensité d'éclaircies faibles, le volume sur pied avoisine le maximum de la production totale constatée sur la station.

Dans notre cas, l'évaluation directe de la production totale établie sur les données des placettes permanentes ne peut être effectuée. Nous avons alors basé le calcul en s'appuyant sur les relations fondamentales reliant le diamètre moyen *(dg)* à la hauteur dominante *(hdom)* et au nombre de tiges sur pieds (N) recueillies dans les placettes temporaires. Ces relations permettent de calculer ainsi la surface terrière optimale et le volume optimal sur pied correspondant à la production totale maximale pour une hauteur dominante donnée. On en déduit ensuite la relation existant entre cette production totale et la hauteur dominante.

A partir de la sylviculture proposée, nous avons recherché donc la relation qui confirme au mieux la liaison entre la production totale à la hauteur dominante.

L'ajustement du modèle $\mathbf{PT = a \times hdom^{b}}$ aux données issues de la table de production (Tableau 6.3) a aboutit à l'équation :

$$\mathbf{PT = 1{,}92 \times hdom^{1.71}} \quad R^2 = 0{,}993 \text{ et } Cvr = 4{,}2\ \%.$$

PT *= Production totale (m^3 / ha),* ***Vp*** *= Volume sur pied (m^3),* ***Ve*** *= Volume des éclaircies (m^3),* ***Hdom*** *hauteur dominante (m),* ***a et b*** *: coefficients de régression,* ***Cvr*** *= coeffiient de variation résiduel*

6.5 COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS AVEC CEUX REALISES SUR D'AUTRES SITES

En vue de juger l'importance de la production totale du pin d'Alep du massif de Ouled Yagoub et celui des Béni-Oudjana, il est utile de la comparer à celles établies dans des différents sites, par l'intermédiaire des accroissements annuels moyens maxima.

Les données bibliographiques sont soit déduites des tables de productions (FRANTZ et FORSTER, 1979 ; MONTERO, 2000; COUHERT et DUPLAT, 1993) soit prises textuellement dans les différentes publications (HIKMAT,1986 ; BELGHAZI et al ,2000 et PARDE, 1957) (tableau 6.4).

En considérant les données recueillies dans le tableau 6.4, l'accroissement moyen maxima en volume toutes classes confondues culmine à 2,8 m^3/ha/an pour les massifs de Ouled-Yagoub et des Béni-Oudjana à un âge de 80 ans, alors qu'il atteint la même valeur à un âge plus précoce n'excédant pas les 60 ans pour les peuplements d'Espagne et de 2,6 m^3 / ha / an pour un âge de référence de 50 ans pour les peuplements de Provence France.

Pour le pin d'Alep des Béni-Imloul, les valeurs obtenues à partir de la table de production montrent que cette zone présente une productivité très faible, le maximum de l'accroissement moyen en volume pour la première classe de fertilité (hauteur dominante de 19 m à 100 ans) n'excède pas 2,80 m^3/ha/an, En moyenne, cet accroissement culmine pour toute classe de productivité confondue vers 2 m^3/ha /an pour un âge moyen de 120 ans, Cet état de faible productivité est due non seulement à l'âge avancé de la majorité des peuplements de la pinède dont la croissance est presque arrêtée mais surtout à la continentalité du climat et aux conditions écologiques très défavorables de la zone (pauvreté des sols, proximité du désert. etc.)

Notons qu'au Maroc, la productivité des peuplements de Tamga pour les 3 classes de fertilité atteint une valeur moyenne de 2,53 m^3/ha /an pour un âge avoisinant les 75 ans. (BELGHAZI et al, 2000) .

Si on considère la figure 6.8, il ressort que l'évolution de la production totale en fonction de la hauteur dominante des peuplements étudiés présente une bonne similitude avec celles des Béni - Imloul et de l'Espagne jusqu'à une hauteur dominante de 18 m. Par contre, la courbe de du pin d'Alep de France se situe largement au-delà des autres. Il est très probable que cette légère supériorité en comparaison avec celle de Ouled Yagoub et Béni-Oudjana soit due principalement au caractère nordique de cette zone donc aux conditions climatiques plus favorables à la croissance et au développement du pin d'Alep.

Tableau 6.4: Accroissements moyens maxima établis pour le pin d'Alep dans différents sites

Auteurs	Classe de fertilité	Hdom (m) à 50 ans	AMM (m^3/ha/an)
Couhert et Duplat 1993) (Provence – France)	1 2 3	16 12 8	6,0 à 80ans 3,0 à 70ans 1,0 à 60ans
Auteurs	Classe de fertilité	Htot.moy (m)à 75 ans	AMM (m^3/ha/an)
Hikmat (1986) Provence - France	Classe exceptionnelle 1 2 3 4 5	H>23 20 18 16 13 10	5,5 à 6 5,0 4,0 3,0 1,3 < 1
Auteurs	Classe de fertilité	Htot.moy (m) à 75 ans	AMM (m^3/ha/an)
Pardé (1957) France	1 2 3	21 18 14	4,0 3,0 1,5
Auteurs	Classe de fertilité	Hdom (m) à 70 ans	AMM (m^3/ha/an)
Brocherio (1999) France	1 2 3 4 5 6	23,4 20,1 16,7 13,4 10 6,7	5 à 70ans 3 à 50 ans 2 à 30 ans 1 à 20 ans - -
Auteurs	Classe de fertilité	Hdom (m) à 60 ans	AMM (m^3/ha/an)
Montéro (2000) Espagne	1 2 3 4	20 17 14 11	4,0 à 50 ans 3,1 à 50 ans 2,4 à 60 ans 1,5 à 70 ans
Auteurs	Classe de fertilité	Hdom. (m) à 60 ans	AMM (m^3/ha/an)
Belghazi et al (2000) Maroc	1 2 3	16,9 13,9 12,3	3,9 1,9 1,8
Auteurs	Classe de fertilité	Hdom (m)à 100 ans	AMM (m^3/ha/an)
Frantz et Forster (1979) Béni-imloul-Algérie	1 2 3 4	19 16 13 10	2,8 à 110 ans 2,21 à 50 ans 1,6 à 120 ans 1,10 à 130 ans
Auteurs	Classe de fertilité	Hdom.(m) à 45 ans	AMM (m^3/ha/an)
AMMARI et al (2001)Tunisie	1 2 3 4	13,5 10,5 7,5 4,5	3,44 à 45 ans 1,59 à 45 ans 0,91 à 45 ans 0,34 à 45 ans
Auteurs	Classe de fertilité	Hdom (m) à 70 ans	AMM (m^3/ha/an)
Ouled Yagoub et Béni-Oudjana Algérie	1 2 3 4	19 16 13 10	4,40 à 70 ans 3,3 à 80 ans 2,3 à 80 ans 1,4 à 90 ans

***AMM** = Accroissement moyen maxima, Hdom = hauteur dominante, **Htot** = hauteur totale moyenne*

6.6 CONCLUSION

Le régime que nous avons préconisé s'appuie d'une part sur la sylviculture effectivement pratiquée dans les placettes de base et d'autres part sur des résultats expérimentaux plus nombreux obtenus sur la même espèce tant en Algérie qu'à l'extérieur.

Le modèle de sylviculture moyenne adopté conduit à une forme d'éclaircie sensiblement moins forte et moins brutale à caractère sélectif et adapté aux besoins écologiques et économiques de la zone.

Cette sylviculture est en effet orientée prioritairement vers la conservation et la régénération des peuplements pour en assurer la pérennité de la forêt et éventuellement vers la production de bois.

Les tables de productions construites ne sont valables que dans les limites géographiques précisées, Elles constituent en outre une approche du problème et peuvent êtres améliorées par des mesures répétées et des observations renouvelées pour pouvoir donner une image correcte et valable de l'espèce étudiée, Les raisons de cette observation résident dans le manque d'informations qui ne peuvent être apportées par les placettes temporaires en l'occurrence dans l'évaluation du rapport qui définit la nature de l'éclaircie.

Ces tables de production construites sur la base des données issues de placettes temporaires ne sont pas définitives. Elles constituent surtout une première génération d'un jeu de tables provisoires devant êtres améliorées.

CHAPITRE 7: SYLVICULTURE ET CONDUITE DES PEUPLEMENTS

INTRODUCTION

L'analyse de la dynamique d'un peuplement forestier et de son évolution doivent faire obligatoirement l'objet d'un suivi judicieux sur une longue période.

Cette caractérisation devrait être établie en fonction des objectifs fixés. Elle est basée à la fois sur l'état statique ou actuel des peuplements et sur leur projection probable dans le temps.

Afin de rendre la gestion forestière plus efficace, le choix d'un modèle de sylviculture et les traitements proposés doivent intégrer non seulement les résultats dendrométriques mais aussi les données écologiques actives (D'EPENOUX,1994). Ce genre de modèle est nécessaire au forestier pour une meilleure connaissance du comportement et des exigences écologiques des espèces (étude autécologique). Il permet d'une part d'évaluer les contraintes du milieu pour l'introduction des espèces et d'autre part de faire un choix de sylviculture pour les peuplements existants (BOISSEAU,1996)

En plus de l'équilibre de la forêt et de son maintien qu'elle est tenue d'assurer, la gestion forestière doit permettre une amélioration de l'accroissement et du potentiel productif des peuplements.

Partant de constat, ce chapitre traite successivement deux aspects: la description des peuplements étudiés et les propositions d'actions sylvicoles fondamentales au maintien d'une forêt permanente et productive.

7.1 STRUCTURE ET QUALITE DES PEUPLEMENTS

La forêt de pin d'Alep de la zone se présente sous une structure globale d'aspect jardiné et irrégulier où se différencient à l'intérieur des peuplements élémentaires composant des groupes ou des bouquets d'arbres à structure plus ou moins régulière sur de petites de surfaces variables. On peut rencontrer 3 types de peuplements

- Peuplements bien venants en mélange avec le chêne vert en forte proportion et occupant les stations fraîches.
- Peuplements clairs avec romarin et globulaire en sous-bois situés sur terrain marno-calcaire
- Dans la partie la plus méridionale de la pinède, on observe la présence de vieux peuplements de faibles densités, dégradés et mal venants occupant les versants sud du massif. L'Alfa est présente en forte proportion.

7.2 CONDUITE DES PEUPLEMENTS

Il faut dire qu'en Algérie, le pin d'Alep n'a pas réellement fait l'objet d'une sylviculture ambitieuse et ce malgré la superficie immense qu'il occupe. Essence pionnière, il a un rôle écologique très important à jouer dans le maintien de l'équilibre du milieu déjà assez fragile.

Le régime de la futaie régulière est le plus adopté dans les aménagements du pin d'Alep en Algérie 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.

Toutefois, 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. Il arrive aussi souvent que la régénération du pin d'Alep ne soit pas installée dans les stations les moins favorables.

Le traitement qu'il convient d'adopter est évidemment celui qui assure en priorité la pérennité de la forêt. L'aspect de production devient alors secondaire. Les opérations sylvicoles à entreprendre doivent donc viser non seulement la création de conditions écologiques favorables à la régénération naturelle et au maintien de l'équilibre, mais aussi à un accroissement progressif du potentiel de production sur pieds.

Sur la base de ces considérations et compte tenu du tempérament d'essence de lumière du pin d'Alep, de la composition et de la structure des peuplements étudiés, le maintien du régime de la futaie jardinée par bouquets avec un étage dominant constitué principalement par le pin d'Alep traité en futaie et un taillis de chêne vert qui assure la protection des jeunes semis et améliore la fertilité de la station est mieux recommandé. Ce type de traitement préconisé par NAHAL (1962) est applicable pour les forêts de pin d'Alep en France. Cette structure permet un couvert constant du sol et facilite l'installation de la régénération par l'ouverture de trouées de 20 à 50 mètres de diamètre selon la qualité du site (BEDEL,1986). Un tel type de traitement présente néanmoins l'inconvénient de limiter le parcours en forêt qui reste nécessaire

7.3 REGENERATION

Globalement, la régénération du pin d'Alep ne pose pas de problèmes particuliers. Elle peut s'installer sur des sols même très dégradés (BEDEL,1986). La survie des semis aussi occasionnelle et irrégulière quelle soit, suffit à régénérer progressivement le peuplement dont l'ensemencement naturel paraît suffisant pour en assurer la pérennité. Cette régénération peut d'ailleurs être facilitée par la pratique des trouées qui améliore la réception de la lumière favorisant le développement des semis de pin d'Alep.

Les facteurs tels que le pacage, le broutage ou les incendies répétées sont susceptibles d'entraver la survie des jeunes plantules et rendre la régénération naturelle

très faible ou même nulle. Cependant, ces contraintes peuvent être corrigées par des traitements sylvicoles adéquats.

Ainsi, pour obtenir une régénération naturelle suffisante, il est nécessaire de réaliser des coupes rases soit par parquets sur de petites surfaces de 0,5 à 2 hectares ou mieux encore par trouées en prenant le soin de laisser quelques portes graines vigoureux et pas trop âgés. Ces semenciers choisis parmi les arbres productifs seront répartis uniformément sur l'assiette de la coupe et seront préservés pendant une durée de 3 à 5 ans jusqu'à l'obtention d'une régénération totale (Fig7.1).

Une densité de 50 pins par hectare peut être considérée comme un seuil minimum (D'HANENS, 1998). Ces trouées conviendraient mieux dans les zones où la pente est assez douce. Les coupes doivent avoir des dimensions en relation avec les conditions de régénération des peuplements et de la fertilité de la station. Les trouées ne doivent pas être trop importantes, car elles facilitent l'envahissement du sous bois qui peut concurrencer les jeunes semis. Elles sont aussi susceptibles d'augmenter le risque d'érosion dans les zones sèches. Des trouées de 30 à 50 m de diamètre sont suffisantes. Celles ci pourront s'agrandir au fur et à mesure de la mise en place de. la régénération

En relief accidenté, Il est recommandé d'adopter des coupes par bandes larges de 1à 2 fois la hauteur du peuplement. Ces coupes seront pratiquées de bas en haut du relief.

Réputé comme essence de lumière, les semis de pin d'Alep ont besoin quand même d'un léger couvert qui ne soit pas trop gênant (DOUHERET,1992). Il sera conservé pour protéger le sol et en même temps assurer la survie des jeunes semis contre l'excès de l'ensoleillement (SUEIGUE,1985). Dans le cas où le sous bois devient envahissant, celui ci

doit subir un recepage. Des résultats semblables de stimulation de la régénération sont aussi probable après un dépressage léger du chêne vert (Fig 7.2)..

Fig 7.2 : Vue d'une coupe rase en lisière et dépressage du chêne vert

A partir de la 5ème année, il faut intervenir par des dépressages en éliminant les tiges mal conformées et sans avenir. Cette opération a pour but de mieux répartir les semis dans l'espace afin de diminuer l'effet de concurrence entre eux et de permettre naturellement un développement normal des sujets d'avenir. L'installation de la régénération peut être facilitée par le travail du sol (NEVEUX et al ,1986) (fig 7.3).

Fig 7.3 : Reboisement de 5 ans sur une parcelle labourée

En ce qui concerne les incendies, il est connu que le pin d'Alep est très sensible au feu causé dans la majeure partie par la végétation sèche qui l'accompagne et à ses cônes qui le propage. En revanche, sa régénération peut être favorisée par celui ci. Les cônes qui résistent au feu ne peuvent supporter longtemps le choc thermique. La chaleur dégagée par les flammes favorise l'ouverture des cônes et les graines commencent à tomber quelques heures après le feu. La dissémination des graines favorisée par le vent et les animaux permet ainsi d'ensemencer le sol. La germination des graines commencera après les premières pluies, vers la fin de l'été et s'étalera sur toute l'année (VENNETIER, 2003). Cette régénération naturelle issue après incendie produit les premières années un gaulis très dense. Cette densité excessive cause un ralentissement de l'accroissement par suite de la concurrence des jeunes plants entre eux et provoque un dépérissement du peuplement. Il faut dans ce cas intervenir le plutôt possible par des opérations de dépressage afin de diminuer le nombre de semis et régulariser la densité.

La mise en défens est obligatoire dans les parcelles jeunes. Les opérations d'amélioration doivent être graduelles et répétées à des intervalles courts.

Il faut enfin noter que la coexistence entre forêt et parcours est nécessaire dans les zones classées non productives. Celle ci sera accompagnée dans la mesure du possible par une amélioration pastorale pour diminuer la pression sur la forêt.

7.4 ACCROISSEMENT ET PRODUCTIVITE

En général, les forêts naturelles du pin d'Alep possèdent des capacités de production très faibles qui varient de 0,5 à 3 – 4 m^3/ha /an dans les bonnes stations (BOUDY, 1950 ; SOULERES , 1975 ; CHAKROUN, 1986).

Cependant, en Italie, ORAZIO (1986) rapporte des accroissements moyens annuels du produit total qui varie de 1,9 et 12,2 m^3/ha /an à 25 ans d'âge pour la première classe de fertilité et à 50 ans pour la dernière.

En France, PARDE (1956) cite une production de 4 m^3/ha /an sur des stations de fertilité exceptionnelle à un âge de 75 ans.

En général, les forestiers admettent pour les stations les plus favorables, une productivité moyenne du pin d'Alep de 2 m^3/ha /an (BEDEL, 1986).

Dans les massifs de Ouled Yagoub et des Béni-Oudjana, les données recueillies dans les peuplements échantillonnées montrent que l'accroissement moyen en volume de la pinède varie de 0,5 m^3 /ha / an à 4,8 m^3 /ha/ an *(annexe 1)*. Il est en moyenne de 2,04 m^3 /ha / an pour un volume de 147,3 m^3 / ha à un âge moyen de la pinède proche de 70 ans. Le maximum d'accroissement est atteint dans les peuplements des classes d'âge de 41 - 60 et

61- 80 ans qui correspondent aux classes de croissance 1et 2 (§ 5.6). Pour une production de bois d'œuvre de qualité, le diamètre d'exploitabilité est généralement compris entre 35 et 40 cm. Ce diamètre est obtenu selon les sites entre 70 et 90 ans (tableau 7.1). Il correspond à un volume sur pieds de 153 à 172 m^3/ha (Fig 7.4) .

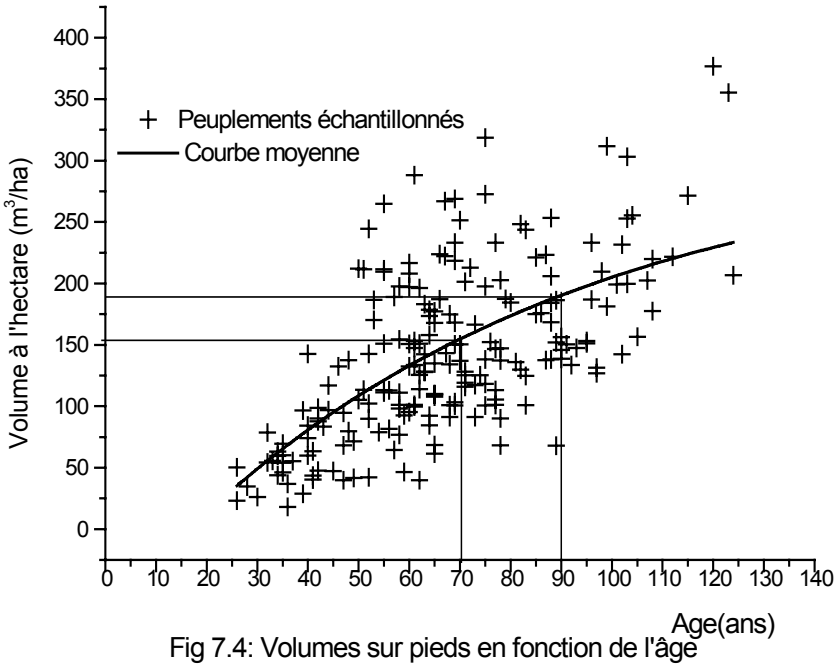


Fig 7.4: Volumes sur pieds en fonction de l'âge

Tableau 7.1 : Caractéristiques dendrométriques moyennes des classes d'âge

.

Classe d'âge	A	Hdom	Hg	Dg	N/ha	G/ha	V/ha	Amv	Acv	id
20-40	35	10,0	8,5	17	661	13,8	57,2	1,63	3,20	0,35
41-60	52	12,8	10,6	27	445	22,6	119,4	2,27	2,92	0,28
61-80	70	14,7	12,5	35	296	26,6	153,2	2,23	2,59	0,26
81-100	90	15,7	13,3	38	263	29,0	171,5	1,91	2,43	0,24
101-120	109	17,8	15,2	49	201	37,7	234,9	2,15	2,56	0,24

***A** = âge moyen des peuplements de la classe d'âge (ans), **Hdom** = hauteur dominante (m), Hg = hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne (m), **Dg** = diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne (m), **N/ha** = nombre de tiges à l'hectare, **G/ha** = surface terrière à l'hectare (m^2/ha), **V/ha** = volume par hectare (m^3/ha),*

***Amv** = accroissement moyen en volume (m^3/ha/an), **Acv** = accroissement courant en volume (m^3/ha/an), **Id**= Accroissement en diamètre (cm/an)*

7.5 CARACTERISTIQUES DES ECLAIRCIES

L'étude de la normalité de la pinède représentée par la distribution du nombre d'arbres par classe de diamètre montre une dissymétrie à gauche typique des peuplements soumis à des éclaircies faibles et moyennes (§ 6.4).

Le régime de sylviculture proposé (§ 6.5) indique que l'accroissement moyen maximum varie de 4,4 m^3 /ha / an à un âge de 70 ans dans les bonnes stations à 1,4 m^3/ha/an pour la dernière classe de fertilité à 90 ans. Ces accroissements correspondent respectivement à des productions totales depuis l'origine qui varient de 307,7 à 124 m^3 / ha (tableau 7.2).

Pour atteindre les dimensions d'exploitabilité évoquées, les coupes d'éclaircie se succéderont à une rotation de 10 voire même de 15 ans lorsque les conditions de station sont mauvaises.

Le modèle de gestion prévoit des niveaux de production établis selon la fertilité de la station:

- La 1ère classe de fertilité se caractérise par une productivité bonne qui permet de fixer un âge d'exploitabilité relativement peu élevé (70 ans) atteignant un diamètre moyen très proche de 45 cm et pour 196 arbres à l'hectare.
- 2 classes de fertilité moyenne correspondant à des âges d'exploitabilité de 70 et 80 ans pour des diamètres qui varient respectivement de 38 à 34 cm et un nombre d'arbres compris entre 228 à 237arbres par hectare.
- Des peuplements médiocres de la classe 4, dont le diamètre moyen d'exploitabilité de 28 cm est atteint tardivement à l'âge de 90 ans pour 265 tiges à l'hectare (tableau 7.2).

Tableau 7.2 : Résultats de la sylviculture proposée pour les 4 classes de productivité

Classe de productivité	H70	Amm	P.T	Dg	Age	N/ha
1ère classe	19	4,4	307,7	45	70	196
2ème classe	16	3,3	229.6	38	70	228
3ème classe	13	2,3	184,3	34	80	237
4ème classe	10	1,4	124,0	28	90	265

***H70**= hauteur dominante à 70 ans (Indice de station), **Amm** = Accroissement moyen maximum (m^3 /ha/ an), **P.T** = Production totale depuis l'origine ((m^3 / ha), **Dg** = diamètre moyen (cm),*

***Age** = âge d'exploitabilité, **N/ha** = nombre d'arbres par hectare*

Les principales caractéristiques des éclaircies pratiquées confirment le type de sylviculture proposé et les résultats s'accordent plus ou moins avec les données moyennes des peuplements rapportées dans le tableau 7.1 ci dessus.

Par ailleurs, selon la qualité de la station, à partir d'un certain âge, la fertilité du pin d'Alep diminue et le rythme de croissance en hauteur commence à ralentir. Ce ralentissement dépend en grande partie de la qualité du site. En Tunisie, il est précoce, à l'âge de 50-70 ans(SOULERES, 1969). Dans les pays méditerranéens européens, la fertilité du pin d'Alep diminue à partir de 80 ans (BEDEL, 1986).

La croissance en hauteur présente une phase d'élongation plus importante au jeune âge (NICAULT et al, 2002). La figure 7.5 donne en effet les accroissements en hauteur obtenus à partir des analyses des tiges et ceux estimés par le modèle de croissance. Les résultats révèlent une diminution notable de la croissance en hauteur au-delà de 80 ans (moins de 10 cm par an) pour toutes classes de fertilité confondues.

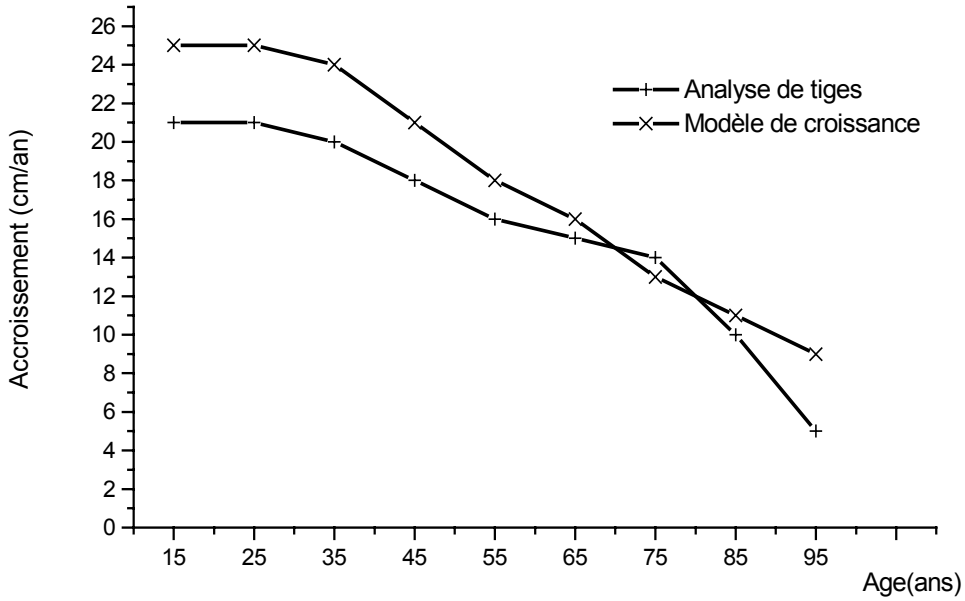


Fig 7.5 : Accroissements en hauteur obtenus par analyse de tiges et estimés par le modèle de croissance

A cet âge, l'accroissement moyen en volume des peuplements commence aussi à diminuer et les stations fertiles arrivent à leur maximum de production. La hauteur moyenne approche les 15 mètres (Fig 7.6)

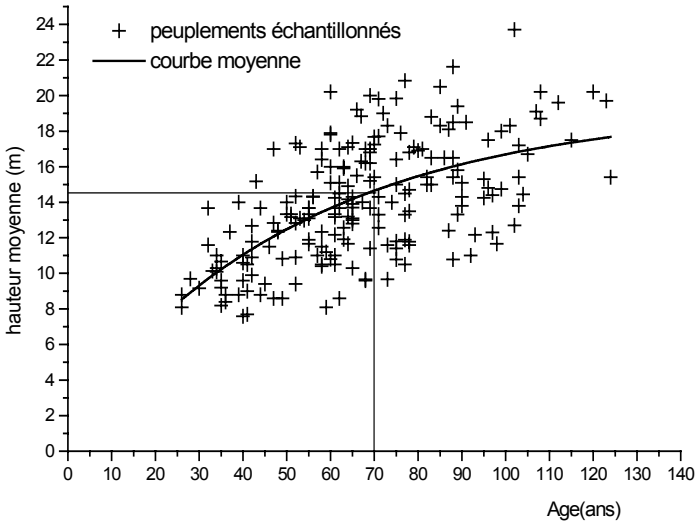


Fig 7.6 : Evolution de la hauteur moyenne des peuplements en fonction de l'âge

L'âge d'exploitabilité sera choisi en fonction de la qualité de la station. Il est compris entre 70 et 90 ans ce qui correspondra à un diamètre d'exploitabilité de 35 à 45 cm (fig 7.7) pour un nombre acceptable de 200 à 260 tiges à l'hectare du peuplement principal des 4 classes de productivité définies.(fig 7.8) Pour une zone de fertilité moyenne , le diamètre de 40 cm correspond à un âge de 80 ans (NEVEUX et al,1986).

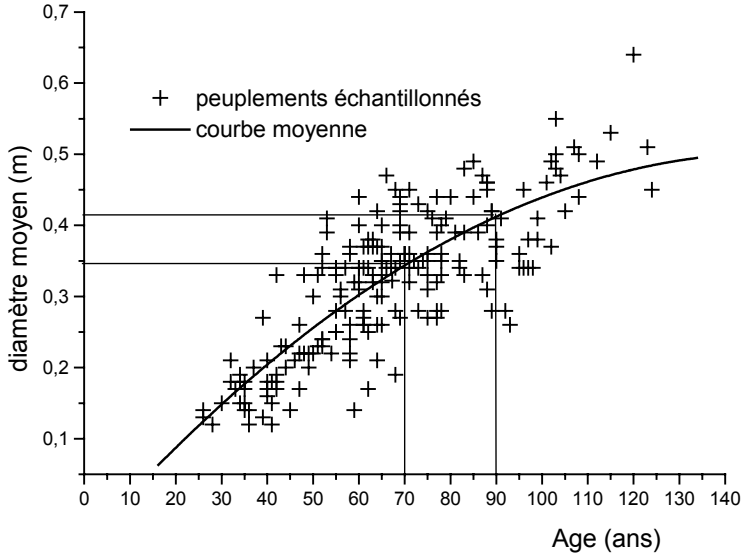


Fig 7.7 : Evolution du diamètre moyen des peuplements en fonction de l'âge

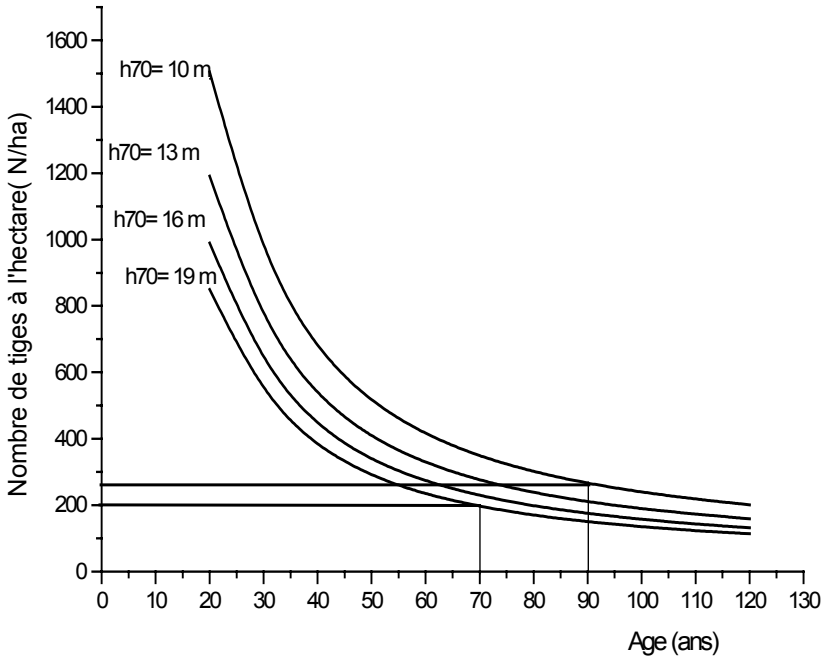


Fig 7.8: Evolution du nombre d'arbres par hectare en fonction de l'âge: peuplements principaux

En conséquence et compte tenu du régime de sylviculture retenu, nous préconisons pour un peuplement de classe moyenne un suivi des éclaircies selon le calendrier suivant :

Ages	30	50	70	90
Nombre d'arbres/ha	700	380	260	200

A titre de comparaison et pour la même espèce, PARDE (1957) constate pour une éclaircie forte, la progression suivante du nombre de tiges en fonction de l'âge.

Ages	20	30	40	50	60	70	80
Nombre d'arbres/ha	700	500	390	310	240	190	150

L'auteur justifie ce type d'éclaircie par le tempérament du pin d'Alep dont l'installation de la régénération est facilitée par la lumière, c'est à dire par une densité des peuplements pas trop importante.

COUHERT et DUPLAT (1993) sont parvenus à des résultats proches de ceux de PARDE (1957) avec un nombre de tiges pour le peuplement principal de 700 par hectare à l'âge de 30 ans pour la première classe de fertilité et de 45 ans pour la seconde.

Le régime adopté dans le présent travail a aboutit à des estimations relativement supérieures aux valeurs préconisées par ces auteurs. Cet écart s'explique entre autre, par les différences constatées dans la sylviculture pratiquée et les conditions de croissance de l'espèce.

7.6 CONCLUSION

Les actions sylvicoles jugées fondamentales au maintient d'une forêt à la fois perpétuelle et également productive se résument comme suit :

Le régime de la futaie jardinée par bouquets qui compose la majeur partie de la pinède semble le traitement qui conviendrait le mieux à ce type de forêt. Ce régime contribue en effet à conserver les meilleures conditions physiques du sol et donne un abri latéral pour les jeunes semis.

La régénération est pratiquée par des coupes rases localisées dans les peuplements arrivés à maturité par groupes de petites surfaces qui s'agrandissent au fur et mesure de l'évolution du semis suivi d'une mise en défens pour une durée de 10 à 20 ans de ces zones.

Dans les parcelles trop dégradées où la régénération naturelle n'est plus possible, la reconstitution artificielle par semis- direct ou par plantation est obligatoire .

Le travail du sol par crochetage ou labour améliore la structure du sol et augmente les réserves en eau disponibles pour la survie des jeunes plants.

Pour les peuplements mûres, l'âge moyen d'exploitabilité est fixé à 80 ans. A cet âge le diamètre des arbres varie de 30 à 45 cm, et la croissance en hauteur commence à diminuer très nettement.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude sur les potentialités du pin d'Alep dans les massifs de Ouled Yagoub et des Béni- Oudjana 3 principaux aspects ont été traités :

Tout d'abord, le choix de la méthode de cubage et la précision des tarifs de calcul de volume des arbres et des peuplements, puis le régime de la croissance en hauteur et l'élaboration d'un modèle de production et enfin la gestion sylvicole des peuplements de pin d'Alep.

Pour le premier aspect, quatre méthodes ont été comparées à la modalité de référence Le traitement des données révèle que la nature de la méthode de cubage considérée est sans effet significatif sur la précision du volume estimé. Pour un volume cumulé à 17 m de hauteur, les écarts obtenus sont très faibles, de l'ordre de ± 0,14 % (Cône tronqué et Newton-Simpson) à ± 0,5 % (Huber et Smalian). Tout en restant réduits, ces écarts augmentent de la base vers le sommet de l'arbre, avec une variation moins marquée dans la moitié inférieure, traduisant ainsi une décroissance faible du diamètre du pin d'Alep.

L'erreur commise sur le volume est tributaire des modalités de la découpe prise en compte. En général, elle augmente lorsque le nombre considéré de mesures diminue. Comparativement aux méthodes utilisées, l'équation de Newton-Simpson est relativement moins influencée par la longueur du billon. Toutefois la formule de Huber simple d'utilisation est recommandée pour le cubage du pin d'Alep pour des billons ne dépassant pas 2 mètres de longueur. En effet, L'écart enregistré pour cette longueur est faible. Il présente un biais négatif de -2 % à la base de l'arbre. Cet écart se stabilise le long de l'arbre autour de –1%.

Concernant la validité du tarif de cubage, l'équation retenue satisfait les critères de précision exigés pour son application,. Le recours à la pondération n'a pas amélioré davantage sa précision. L'ajustement réalisé par la méthode classique des moindres carrés s'avère suffisant pour estimer le volume, sans biais important.

Pour le cubage des peuplements, le calcul rapide des volumes à l'hectare, basé sur des paramètres simples et facilement mesurables sur les placettes est utile, lorsqu'on souhaite avoir une estimation approchée et globale de la production forestière. Les volumes résultant des tarifs globaux choisis se rapprochent de ceux obtenus par le modèle de production établi pour le pin d'Alep de la même zone.

Le régime de croissance de la hauteur dominante a été défini à partir des analyses de tiges. L'exploitation des données recueillies a permis de tracer les courbes de croissance spécifiques au pin d'Alep de la zone et de construire un modèle de production simple reconstituant l'évolution de la hauteur dans le temps. Il ressort que la croissance de la

hauteur du pin d'Alep des Ouled yagoub et des Beni oudjana accuse un ralentissement dès l'âge de 50 ans qui s'accentue et devient importante au-delà de 80 ans.

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 qui a abouti à l'étagement de la pinède en 4 classes de productivité à l'âge de référence de 70 ans. Il a également servi à la construction des tables de production.. La confrontation des résultats obtenus avec ceux publiés sur la même espèce dans des stations différentes, indique que l'allure de la croissance en hauteur du pin d'Alep dépend beaucoup plus des conditions du milieu que du modèle d'ajustement lui-même.

Le modèle de sylviculture proposé pour la construction des tables de production, est basé sur l'état descriptif des peuplements sur pied relatifs aux placettes temporaires. Le choix de la sylviculture moyenne à éclaircie modérée proposée, repose prioritairement sur le souci d'assurer la conservation et la stabilité de la forêt.

Ainsi donc, nos résultats mettent en évidence à côté du rôle de protection dévolu pour cette espèce une production ligneuse non négligeable malgré des conditions de milieu difficiles. Ils montrent cependant que la pinède se caractérise par une productivité inférieure aux valeurs obtenues dans d'autres sites Ces résultats ne s'expliqueraient que par des conditions de croissance et une sylviculture pratiquée différentes.

Sur le plan méthodologique, la démarche adoptée met en valeur l'intérêt de l'utilisation des placettes temporaires pour la construction des tables de production. Les insuffisances qui limitent l'usage de ce dispositif résident dans les difficultés rencontrées pour caractériser la nature de l'éclaircie. Le choix d'un régime d'éclaircie ne peut être défini convenablement que par un nombre de mesures répétées ou un dispositif permanent.

La table de production établie ne peut donc être considérée comme définitive. Elle reste valable que pour la région à partir de laquelle l'échantillon à été tiré. Son extrapolation à d'autres zones ne peut être envisagée sans prendre en compte les conditions de son élaboration. (caractéristiques du milieu de croissance de l'espèce, modèle de production adopté).

Les actions sylvicoles projetées visent l'obtention d'une forêt à la fois perenne et productive. Le traitement en futaie jardinée par bouquets recommandé confirme sa supériorité par rapport à d'autres systèmes de conduite des peuplements. En zone accidentée et aride, ce type d'éducation constitue un moyen efficace pour la protection du sol et un abri pour le maintien et la survie des jeunes semis. La régénération, la croissance et la vitalité des plants peuvent s'améliorer sensiblement avec la pratique du travail du sol.

Le régime de sylviculture adopté indique que le maximum de production est atteint entre 70 et 90 ans, pour les classes de fertilités définies. L'âge moyen d'exploitabilité optimale de la forêt de Ouled yagoub et des Beni oudjana est fixé à 80 ans. A ce stade, le diamètre des tiges approche les 40 cm nécessaires au bois d'œuvre, pour un nombre compris entre 200 à 260 arbres par hectare.

Les résultats obtenus par la mesure de la productivité du pin d'Alep constituent un premier élément de base pour une meilleure connaissance de cette essence. Cependant, les potentialités de production ne peuvent êtres estimées les facteurs du milieu susceptibles d'agir sur la croissance. Ces études constituent un diagnostic permettant d'évaluer les contraintes et les aptitudes du milieu. Ainsi, on définit pour chaque région naturelle un catalogue rassemblant les éléments qui caractérisent les stations forestières. Plus généralement, une telle démarche fournit au gestionnaire un outil simple et efficace pour l'évaluation du milieu.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABBAS H. (1986) : La productivité des forêts de pin d'Alep dans le sud-est méditerranéen français. Analyses écodendrométriques. Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1, 127-156.

ABDESSEMED K (1981) : Le Cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica.Lanetti) dans les massifs de l'Aurès et du Belezma : Etude Phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement : Thèse de Docteur – ingénieur. Faculté des Sciences et Techniques Saint-Jérome .Marseille .149 pages

ALIA R. BUENO MA. AGUNDEZ A et GOMEZ A. (2000) : Adaptation and selection of Aleppe pine for sustainable afforestation of marginallandsin Spain. Conference in the European Union Programme Greece, 57-62.

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.

AMMARI Y, SGHAIER T , KHALDI A et GARCHI S (2001) : Productivité du pin d'Alep en Tunisie : Table d Production.Annales de L'INGREF N° Spécial. pp 239-246

ARAVANOPOULOS K et PANETSOS P. (2000) : A population genetic analysis of natural hybrid zone between *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus Brutia* Ten. Adaptation and selection of Mediterranean *Pinus* and *Cedrus* for Sustainable afforestation of marginal lands. Conference in the European Union Programme. Greece, 66-75.

BARBERO M et LOISEL R. (1985) : Données bioclimatiques, édaphiques et production ligneuse de quelques essences forestières méditerranéennes. Aspects méthodologiques. 15 p.

BARBERO M, LOISEL R et QUEZEL P (1984) : Rôle des facteurs anthropiques dans le maintien des forêts et de leurs stades de dégradation en région méditerranéenne. Soc.Biogéogr.59(4) 475-488

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

BECKER M. (1985) : Démarche méthodologique préconisée pour la typologie des stations forestières. Colloque phytosociologique, 300-331.

BEDEL J. (1986) : Aménagement et gestion des peuplements de pin d'Alep dans la zone méditerranéenne française. Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1, 127-156.

BELGHAZI B. EZZAHIRI M et ROMANE F. (2000) : Productivité de peuplements naturels de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans la forêt de Tamga (Haut Atlas, Maroc).Cahiers Agricultures, 9 (1), 39-46.

BNEF (1984) : Plan d'aménagement de la zône des Ouled Yakoub et des Béni-Oudjana (40.000 ha). Ministère de l'Hydraulique de l''Environnement et des Forêts. RADP. 62 pages + annexes

BENZYANE. M . M'HIRIT O. MESSAT S. EL-HASSANI M. FECHTAL M. et SAMIH A. (1992) : Conduite des plantations résineuses. Station de recherches forestières de Rabat.50 p.

BOISSEAU B. (1996) : Ecologie du pin pignon et du pin brutia : Détermination d'un indice de fertilité en fonction du milieu. Rev. For. Fr., XLVIII (4), 321-33

BOUDRU M. (1989) : Forêts et Sylviculture : Traitement des forêts. Les presses Agronomiques de Gembloux, ASBL. 343 p

BOUDY P. (1950) : Guide du forestier en Afrique du Nord .Edition la maison rustique.505p

BOUCHON J. (1974) : Les tarifs de cubage, ENGREF, 57 pages + annexes

BRETHES A. (1991) : La typologie des stations forestières et l'aménagement forestier. ONF, Bull. Tech. n°21, 99-104.

BROCHIERO F. CHANDIOUX O. RIPERT C. et VENNETIER M. (1999) **:** Autécologie et croissance du pin d'Alep en Provence calcaire. Forêt méditerranéenne, XX (2), 83-94.

CAILLIEZ F. (1980) : Mesure indirecte du volume d'un peuplement : Les tarifs de cubage. Etude FAO. 59-62

CHAKROUN M.L. (1986) : Le pin d'Alep en Tunisie. Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1, 25-27.

CHEVROU R.B. (1988):Construction et utilisation d'un tarif de cubage. Rev. For. Fr., XL (1), 69-86.

CIESZEWSKI C. J. and BELLA I. E. (1989) : Polymorphic height and site-index curves for lodgepole pine in Alberta.Can. J. For. Res., 19, 1151-1160.

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

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

C.T.G.R.E.F. (1979) : La notion d'indice de station. Informations techniques. Cahier –36 (4), 5p

DAGET P. ADHALI L. DAVID P et TAILLOLE F. (1993) : Le bioclimat et ses modalités dans les pays arabes . Repères 5. 18 p

DAGET P. (1977 a) : Le bioclimat méditerranéen : Analyse des formes climatiques par le système d'Emberger . Végétatio. Vol 34.,2 : 87-103

DAGET P (1977 b) : Le bioclimat méditerranéen : Caractères généraux, modes de caractérisation. Végétatio. Vol 34.,1 :1 20

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

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, n°1-2, 45-91.**

DAGNELIE P. (1999) :**Statistiques théorique et appliquée. Inférence statistique à une ou deux dimensions .Tome 2 Edition DCBOEK-Université, 659 p**

DECOURT N. (1964) : Les tables de production : leur limites et leur utilité. Rev. For. Fr. n° 16, 640- 657.

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.

DECOURT N. (1965) : **Remarque sur la forme et la croissance des tiges. Rev. For. Fr., extrait n°7, 512-524.**

DECOURT N. (1965) : **Le pin sylvestre et le Pin laricio. Tables de Production provisoires et méthodes utilisées pour les construire. Ann.. Sci. Forest, 22 (2), 259 – 311.**

DECOURT N. (1966) : Instructions pour l'assiette et les mensurations des placettes temporaires et semi-permanentes. Station de sylviculture et de production, 8 p.

DECOURT N. et LEMOINE B. (1969) : **Le Pin maritime dans le sud-ouest de la France. Tables de production provisoires. Ann. Sci. Forest., 26 (1), 3-44.**

DECOURT N. (1972 a) : **Méthode utilisée pour la construction rapide des tables de production provisoires en France -. Ann. Sci. Forest., 29 (1), 35-48.**

DECOURT N. (1972 b) : **Tables de production provisoire pour l'Epicéa commun dans le Nord-est de la France . Ann. Sci. Forest., 29 (1), 49-65.**

DECOURT N. (1973) : **Protocole d'installation et de mesures des placettes de production semi- permanentes. Ann. Sci. Forest., 29 (1), 49-65.**

DECOURT N. (1973 b) : **Production primaire, production utile : méthode d'évaluation, indice de productivité. Ann. Sci. forest., 30 (3), 219-238.**

D'EPENOUX F. (1994) : Influence du milieu sur la production forestière. Efficacité comparée de deux méthodes de description du milieu Informations techniques du CEMAGREF, n° 95, note 5, 8 p.

D'HANENS G. (1998) : Les peuplements mixtes de pin d'Alep et chênes en Provence. Forêt méditerranéenneT XIX, N° 3, 261-266

DOUHERET J. (1992) : Pin 'Alep ; Comment choisir une sylviculture ? Forêt méditerranéenne T XIII, N° 3

DREYFUS P. (1993) : **Sylviculture et modèle de croissance : Exemple du pin noir d'Autriche. Rencontres forestiers-chercheurs en forêt méditerranéenne. la Grande-Motte (34), 6-7 octobre 1993. Ed. INRA, Paris 1993 (les colloques n°63), 149-162.**

DROUZAS A.D. ARAVANOPOULOS F.A et PANETSOS K.P. (2000) : RAPD variation of natural hybrid population among *Pinus brutia* Ten. and *Pinus halepensis* Mill. Adaptation and selection of Mediterranean *Pinus* and *Cedrus* for Sustainable afforestation of marginal lands. Conférence in the European Union Programme Greece, 77-82.

DUPLAT P. (1978): Table de production de référence pour le sapin du Jura. Document interne, 13-25.

DUPLAT P. (1986) : Modèles de croissance en hauteur dominante pour le hêtre (*Fagus sylvatica* L.), le sapin pectiné (*Abies alba* Miller), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) dans le massif de l'Aigoual. O.N.F., Section Technique, Doc. 86.1, 34 p + annexes.

DUPLAT P. (1989) : Protocole d'analyse de tiges pour la reconstitution de la croissance en hauteur dominante. Station Forestière, Production et Qualité des Bois : Eléments méthodologiques, 71-78.

DUPLAT P et PERROTE G .(1981) : Inventaire et estimation des peuplements forestiers. ONF section technique 432 p

FONWEBAN J.N et HOULLIER F. (1995) : Modèle de croissance en hauteur à partir de placettes temporaires pour *Eucalyptus saligna* au Cameroun. Ann. Sci. Forest, 52, 513-528.
FONWEBAN J.N et HOULLIER F. (1997) : Tarif de cubage et fonctions de défilement pour *Eucalyptus saligna* au Cameroun. Ann. Sci. Forest, 54, 513-528.

FRANZ F. et FORSTER H. (1979) : Table de production de pin d'Alep pour les Aurès (Algérie). Chaire de la production forestière de l'université de Munich, 114 p.

GARBAYE J. LEROY Ph. LE TACON F et LEVY G. (1970) : Réflexions sur une méthode d'études des relations entre facteurs écologiques et caractéristiques des peuplements. Ann. Sci. Forest., 27 (3), 303-321.

GILBERT J. M. et CHEVALIER R. (1994) : Relations milieu-production du pin Laricio. Etude de la croissance en hauteur. Informations techniques du CEMAGREF, n°96, note 2, 8 p.

HUSCH B. MILLER CI. et BEERS T WN. (1972) : Forest mensuration. Second édition 410 p.

KAABACHE M. (1995) : Les forêts de pin d'Alep de l'Atals saharien (Algérie). Essai de synthèse phytosociologique par application de techniques numériques d'analyse. Docu. Phytoso. N° spé 15 235-251.Camérino, Italia

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.

KLEPAK (1986) : Le Pin d'Alep en Dalmatie. Options Méditerrané. Série Etude CIHEAM 86/1,29-42

KHERCHOUCHE D.(2003) : Typologie écologique et phytosociologique des stations et croissance des peuplements de pin d'Alep (Pïnus halepensis Mill) Dans le massif des Béni- Imloul (Aurès). Algérie. 87 pages + annexes

LAFFITTE R. (1939) : Etude géologique de l'Aurès (Algérie).Thèse de Doct. Es-Sciences Nat. Univ. Paris, 484 p + annexes.

LAPPI J and BAILEY R. L. (1988) : A height prediction model with random stand and tree parameters : An alternative to traditional site-index methods. Forest Science, 34 (4), 907-927.

LECOMPTE H et RONDEUX J. (2000) : **Les inventaires forestiers nationaux en Europe : Tentative de synthèse. Les cahiers forestiers de Gembloux n°16, 29 p.**

LEGOFF N. (1982) : **Productivité du Frêne en région Nord-Picardie : Courbes de croissance. Ann. Sci. Forest., 26 (4), 445-473.**

LEJEUNE P et VERRUE V. (2002) : **Les inventaires par échantillonnage en futaie feuillue :Une alternative aux inventaires complets. Note technique forestière de Gembloux n° 8, 10p**

LEMOINE B. (1969) : Le pin maritime dans les landes de Gasconne: Etude des relations d'allométrie concernant le volume des peuplements. Ann. Sci. Forest. 26 (4). 445-473.

LEMOINE B. (1982) : Croissance et production du pin maritime – Recherches d'un modèle et d'une méthode. Ann. Sci. Forest., 39 (4),

MEZALI M. (2003) : Rapport sur le secteur forestier en Algérie. .3ème session du forum des Nations Unis sur les forêts.. 9 pages

M'HIRIT O. (1982) : Etude écologique et forestière des cédraies du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti). Thèse de Doct. Es-sciences. Univ. Droit. Econo. et Sci. d'Aix - Marseille,
436 p + annexes.

M'HIRIT O. et POSTAIRE J.G. (1984) : Analyse de la forme des tiges pour la construction des tarifs de cubage. Application au cèdre du Maroc (*Cedrus atlantica.* Manetti). Ann. Sci. Forest., 41 (3), 303-322.

MONTERO G. CANELLAS I. et RUIS-PEINADO R. (2001) : Growth and Yield models for *Pinus halepensis* Mill. Invest. Agr. Sist. Recur. For., 10 (1), 24 p.

NAHAL B. (1986) : Taxonomie et aire géographique des pins du groupe *halepensis*. Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86 /1, 1-9.

NEVEUX M. DUHEN L, M. CORTI J,M. DEVALLOIS P. FONTANEL J,L. et BOISEAU P. (1986) : Plaidoyer pour une sylviculture du Pin d'Alep Par les techniciens du terrain . Forêt méditerranéenne t VIII N° 1 .

NICAULT A. RATHGEBERG C. TESSIER L. et THOMASD A : Observation sur la mise en place du cerne chez le pin d'Alep (Pinus halepensis MILL.) : Confrontation entre les mesures de croissance radiale, de densité et les facteurs climatiques. Ann. For. Sci. 58. 759-784

OTTORINI J.M et NYS C. (1981) : Application des données de l'inventaire forestier national à l'étude de la production du Pin sylvestre en Margeride : Etude de la croissance en hauteur. Ann. Sci. Forest., 38 (2), 223-236.

ORAZIO C. (1986) : Sylviculture du pin d'Alep. Options Méditerrané. Série Etude CIHEAM 86/1, 47-54.

PALM R. et RONDEUX J. (1976) : **A propos de deux problèmes rencontrés dans la construction des tarifs de cubage : Le choix des équations de régression et l'échantillonnage des arbres. Bull. Rech. Agron. Gembloux, 1 (1-2), 243-258.**

PALM R. (1981) : Contribution méthodologique au cubage des arbres et à la reconstitution de tables de cubage et d'assortiments. Thèse de docteur en Sciences agronomiques**.** Faculté des sciences agronomiques de l'Etat de Gembloux. Belgique. 295 pages

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.

PALM R. (1983) : Précision des valeurs estimées à l'aide de tarif de cubage d'arbres. Ann. Sci. Forest., 40 (3), 199-308.

PARDE J. (1956) : Une notion pleine d'intérêt : la hauteur dominante des peuplements forestiers. Rev. For. Fr. VIII (12), 850-856.

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.

PARDE J. (1958) : Stations écologiques et productions ligneuses. Bull. Soc. Roy. Forest de Belgique, 65 (12), 717-726.

PARDE J. (1967) : Réflexion sur la productivité des forêts françaises. Centre national de Recherches forestières, Nancy, 477-485.

PARDE J et BOUCHON J. (1988) : **Dendrométrie. 2ème édition Ecole national du génie rural des eaux et forêts . 328 p.**

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 n°23, 11 p.

POUGET M (1980) : Les relations sol- végétation dans les steppes Sud – algéroises.Travaux et documents de l'O.R.S.T.MM N°116 .Paris.

QUEZEL P. (**1976)**. Les forêts du pourtour méditerranéen. In Forêts et maquis méditerranéens*:* Ecologie, conservation et aménagement. Note technique MAB, 2: 9-33. UNESCO, Paris

QUEZEL P. (1980) : Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Actualité s d'écologie forestière. Edition Gautier-Villars. Paris, 205-255

QUEZEL P.(1986) : Les pins du groupe « *halepensis* » : Ecologie, Végétation, Ecophysiologie. Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1, 11-24.

QUEZEL P, BARBERO M et BENABID A. (1987) : Contribution à l'étude des groupements forestiers et pré-forestiers du haut Atlas oriental (Maroc).. Ecologia Mediterranea. Tome XIII Fasc. 1/2. 107-113

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

QUEZEL P. (2000) : Taxonomy and biogéography of Mediterraneens pines (Pinus halepensis and Pinus brutia) .Ecology, Biogeography and management of Pinus halepen and Pinus brutia. Forest Ecosystems in the Mesiterranean Bassin .Editted by G. Ne'eman and L. Trabaud..Backhays Publishers. Leiden,The Netherlands.pp .1-12

RONDEUX J.(1973): Principes de construction des tarifs de cubage mathématiques et de traitement automatique d'observations dendrométriques. Bulletin de la société royale de Belgique. 165-184

RONDEUX J. (1977) : Estimation de la productivité forestière : Principe et méthodes. Annales de Gembloux, 83, 5-17.

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.

RONDEUX J. HEBERT J. LECOMPTE H. et TOUSSAINT A : (1985) : Méthode d'estimation rapide des volumes par catégories de grosseurs en peuplements d'épicéa (*Picea abies* Karst.). Ann. Sci. Forest., 42 (2), 185-192.

RONDEUX J. (1993) : La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les presses agronomiques de Gembloux.. Edition TEC ð DOC. 511 pages.

RONDEUX J. LAURENT C. et THIBAULT A. (2002) : Construction d'une table de production pour le Douglas (Pseudotsuga menziesii Mirb) en Belgique. Les cahiers forestiers de Gembloux, n°16, 21 p.

ROUSSEL L. (1983) : Modèles de croissance : Exemple de modélisation en Sylviculture. Forêt privée, n°151, 10 p.

SCHILLER G. (2000) a: Inter and intra data specefic genetic diversity of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus Brutia* Ten. - Ecology, biogeography and management of *Pinus halepensis* and *Pinus brutia*. Forest Ecosystms in the Mediterranean basin, 13-35.

SCHILLER G. (2000) b: Ecophysiology of *Pinus halepensis* Mill. And *Pinus Brutia* Ten. - Ecology, biogeography and management of *Pinus halepensis* and *Pinus brutia*. Forest Ecosystms in the Mediterranean basin, 51-65.

SEIGUE A (1985) : La forêt circum méditérranénéenne et ses problèmes. Maison neuve et Larose Edition. Paris. 502p.

SELTZER P (1946): Le climat de l'Algérie .Inst.de météo et de physique du globe. Université d'Alger. 219 p.

SOULERES G. (1969) : Le pin d'Alep en Tunisie : Annales de l'Inst. Nat. Rech. Forest .Tunisie. Vol 2. Fasc.126 p.

SOULERES G. (1975) : Classes de fertilité et production des forêts tunisiennes de pin d'Alep. Rev. For. Fr., XXVII (1), 41-49.

SGHAIER T. AMMARI Y. GARCHE S. et KHALDI A. (2001) : Croissance en hauteur dominante et classes de fertilité du pin d'Alep . Annales de l'INRGREF N° spécial 45 –53.

SGHAIER T et PALM R (2002): Répartition des arbres et des volumes par classes de grosseurs dans les peuplements de pin d'Alep (Pinus halepensis Mill) en Tunisie. Ann. For. Sci .59 293-300

THIBAULT 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, n°16, 12 p.

THIBAULT 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, n°7.18 p.

TIMBAL J. TURREL M et DUCREY M. (1985) : Les facteurs de productivité du Pin noir d'Autriche(Pinus nigra Arnold.ssp.nigricans Host. austriaca. Hoss.Novak) dans les Alpes du sud. Ann. Sci. Forest, 42(3) 265-282

TOTH J et TURREL M. (1983): La productivité du pin noir d'Autriche dans le sud-est de la France. Rev. For. Fr., XXXV (2), 111-120.

VENNETIER M (2003) : La régénération du pin d'Alep après incendie .Info DFCI .Bulletin du centre de documentation « Forêt méditerranéenne » .N° 50. 8.

VASSEREAU A. (1988): Méthodes statistiques en biologie et agronomie. Edition Lavoisier. 538 p

WILLARD H. CARMEN and DANIEL J. LENTHALL (1989) : Height–Growth and site-index curves for jake pine in north central Ontario. Can. J. For. Res. Vol (19), School of Forestry, Lakehead University Canada, 215-224.

YI B. G. (1976) : Croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti), en relation avec quelques variables du milieu en Languedoc-Roussillon (France).Thèse de Doct. Ing., Univ. Sci. Tech. du Languedoc., 193 p + annexes.